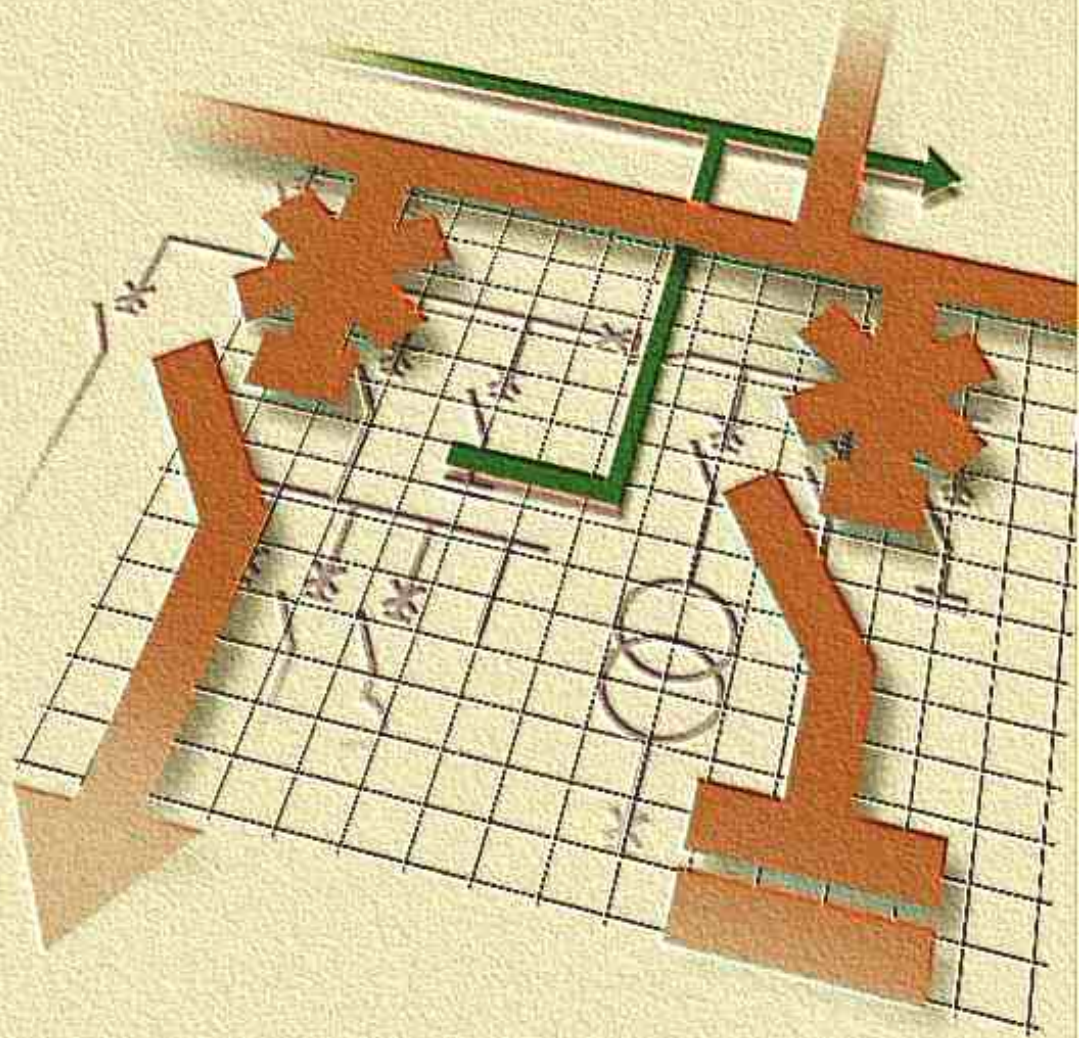


Manualul instalațiilor electrice

în conformitate cu standardele internaționale CEE



Acest ghid a fost scris pentru inginerii electricieni care trebuie să proiecteze, să realizeze, să inspecteze, sau să întrețină instalațiile electrice în conformitate cu standardele internaționale ale Comisiei Electrotehnice Internaționale (CEI).

“Care soluție tehnică va garanta că toate criteriile de siguranță sunt îndeplinite?” Această întrebare a fost un ghid permanent în elaborarea acestui manual.

Un standard internațional cum ar fi CEI 60364 “Instalații electrice din clădiri” specifică în mod extensiv regulile care trebuie aplicate încât să se realizeze siguranța și caracteristicile de funcționare preconizate pentru toate tipurile de instalații electrice. Întrucât standardul trebuie să fie extensiv, și trebuie să fie aplicabil la toate tipurile de produse și de soluții tehnice care se folosesc la nivel internațional, textul regulilor din CEI este complex și nu este prezentat în ordinea de utilizare. Standardul nu poate fi deci considerat drept un manual de lucru, ci numai un document de referință.

Scopul prezentului manual este de a pune la dispoziție o explicație clară, practică și făcută pas cu pas a studiului complet al unei instalații electrice în conformitate cu CEI 60364 și a altor standarde CEI relevante. De aceea capitolul întâi (A) prezintă metodologia care trebuie utilizată iar fiecare capitol se ocupă cu diverse etape ale studiului. Ultimele două capitole sunt destinate surselor de alimentare, sarcinilor și amplasărilor deosebite, precum și compatibilității electromagnetice.

Noi toți sperăm că tu, utilizatorul, vei considera acest manual cu adevărat util.

Schneider Electric S.A.

Manualul instalațiilor electrice este un singur document care acoperă partea tehnică, reglementările și standardele referitoare la instalațiile electrice. Este destinat profesioniștilor în domeniu din întreprinderi, birouri de proiectare, organizații de inspecție, etc.

Echipamentul electric trebuie deservit de personal de mentenanță de specialitate (electricieni calificați), iar acest document nu trebuie privit ca un ansamblu de instrucțiuni suficiente pentru cei care nu sunt calificați ca să opereze, să întrețină sau să asigure operațiile de mentenanță pentru echipamentul discutat mai sus. Deși s-a acordat o deosebită atenție pentru a asigura o informare exactă și corectă în acest document, Schneider Electric nu își asumă nici o responsabilitate pentru nici un fel de consecințe care ar decurge din utilizarea acestui material.

Această nouă ediție a fost publicată pentru a se ține seama de schimbările din tehnică, standarde și reglementări, și în special standardul CEI 60364 pentru instalații electrice.

Aducem mulțumiri tuturor cititorilor ediției anterioare a acestui manual pentru comentariile lor care ne-au ajutat să îmbunătățim prezenta ediție. Mulțumim de asemenea multor persoane și organizații, prea numeroase ca să fie enumerate aici, care au contribuit într-un fel sau altul la pregătirea acestui manual.

Ediția în limba română a acestui manual este rezultatul unui efort colectiv.

Consultant tehnic:	Victor Ionescu
Responsabil ediție:	Cristian Voicu
Producție:	Tangent Prodimpex SRL
Ediția Mai 2007	

Preț manual: **120 RON**
Ediția de lux: **150 RON**

**Schneider Electric
România S.R.L.**

Bd. Ficusului nr.40, Clădirea "Apimondia", Sector 1, București
Tel : (40) 21 203.06.60
Fax : (40) 21 232.15.98
www.schneider-electric.ro
Centrul Suport Clienți
Tel : (40) 21 203.06.06
csc-ro@ro.schneider-electric.com

În conformitate cu evoluția normelor și a produselor, datele indicate în textul și imaginile din acest material nu ne angajează decât după consultarea agenților Schneider Electric.

Capitolul A

Reguli generale pentru proiectarea instalațiilor electrice

A1

Cuprins		
1	Metodologie	A2
2	Reguli și norme statutare	A4
	2.1 Definirea treptelor de tensiuni	A4
	2.2 Reguli	A5
	2.3 Standarde	A5
	2.4 Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice	A6
	2.5 Verificarea inițială a unei instalații electrice	A6
	2.6 Verificarea și testarea periodică a unei instalații electrice	A7
	2.7 Conformitatea cu standardele și specificațiile tehnice a echipamentelor utilizate într-o instalație electrică	A7
	2.8 Condiții de mediu	A8
3	Tipuri de sarcini - Caracteristici	A10
	3.1 Motoare asincrone	A10
	3.2 Sarcini de tip rezistiv: sisteme de încălzire și lămpi cu incandescență (convenționale sau cu halogen)	A12
4	Puterea cerută de o instalație electrică	A15
	4.1 Puterea instalată (kW)	A15
	4.2 Puterea aparentă instalată (kVA)	A15
	4.3 Estimarea cererii maxime de putere aparentă	A16
	4.4 Exemple de aplicare a coeficientului de utilizare (k_u) și de simultaneitate (k_s)	A18
	4.5 Coeficientul de diversitate	A18
	4.6 Alegerea puterii nominale a transformatorului	A19
	4.7 Alegerea surselor de alimentare	A20

A - Reguli generale pentru proiectarea instalațiilor electrice

B - Conectarea la rețeaua de distribuție de medie tensiune

C - Conectarea la rețeaua de distribuție de joasă tensiune

D - Ghid de selecție a arhitecturilor de joasă și medie tensiune

E - Distribuția de joasă tensiune

F - Protecția împotriva șocului electric

G - Dimensionarea și protecția conductoarelor

H - Aparate de comutație de joasă tensiune: funcții și selecție

Pentru cele mai bune rezultate legate de proiectarea instalațiilor electrice se recomandă studierea tuturor capitolelor, în ordinea în care acestea sunt prezentate.

Lista cererilor de putere

Studierea unei instalații electrice necesită o înțelegere adecvată a tuturor regulilor și normativelor ce o guvernează.

Cererea totală de putere poate fi calculată pornind de la date legate de amplasarea și puterea fiecărui receptor și, de asemenea, înțelegându-i modul de funcționare (ex: cererea în regim permanent, condiții de pornire sau legate de simultaneitate, etc).

Pornind de la aceste date rezultă cu ușurință puterea cerută de la sursa de alimentare sau (acolo unde este cazul) numărul de surse necesare pentru o alimentare corespunzătoare cu energie electrică.

Informații locale referitoare la modalitățile de tarifare sunt necesare de asemenea, pentru a permite cea mai bună alegere a conexiunilor cu rețelele de alimentare cu energie electrică de joasă sau medie tensiune.

Conectarea la rețea

Conectarea poate fi făcută în rețeaua de:

■ **Medie Tensiune**⁽¹⁾

Un post de transformare tip consumator (abonat) va fi deci de proiectat, construit și echipat. Acest post de transformare poate fi o instalație exterioră sau interioară în conformitate cu standardele și normele în vigoare corespunzătoare (partea de joasă tensiune poate fi studiată separat, la nevoie). În acest caz, contorizarea este posibilă atât pe medie cât și pe joasă tensiune.

■ **Joasă Tensiune**

Instalația va fi conectată la rețeaua locală de energie electrică și va fi contorizată (dacă este necesar) în conformitate cu tarifele pe joasă tensiune.

Arhitectura distribuției electrice

Întreaga instalație de distribuție este studiată ca un sistem complet.

Pentru alegerea celei mai potrivite arhitecturi este propus un ghid de selecție.

Acesta acoperă distribuția principală MT/JT și nivelele de distribuție de putere pe JT.

Sistemul de tratare al neutrlui este ales în conformitate cu regulile locale, cu restricțiile în funcție de sursele de alimentare și tipurile de sarcini.

Echipamentele de distribuție (tablourile electrice, aparatul de comutație, conectarea circuitelor, etc.) sunt determinate de planurile de construcție ale clădirii, de amplasarea și de modul de grupare a consumatorilor.

Amplasarea și tipul acestor echipamente determină comportarea lor la diverse influențe externe.

Protecția împotriva șocului electric

În funcție de sistemul de tratare a neutrlui utilizat, (TT, IT, TN), se vor implementa măsuri adecvate de protecție împotriva pericolului de atingere accidentală directă sau indirectă.

Circuite și aparate de comutație

Fiecare circuit se studiază apoi în detaliu. Cunoscându-se curentul nominal al sarcinii, valorile curenților de scurtcircuit, tipul de protecție și, ținând cont de tipul de cablu și de modul său de pozare (care influențează curentul admis de conductor), se poate determina secțiunea cablului.

Înainte de a se adopta secțiunea cablului în conformitate cu cele menționate mai sus se vor verifica următoarele cerințe:

■ căderea de tensiune să corespundă standardelor în vigoare;

■ pornirea motorului să fie posibilă;

■ protecția împotriva șocului electric să fie asigurată.

Se determină apoi curentul de scurtcircuit I_{sc} și se verifică comportarea circuitului la solicitările termice și electrodinamice.

Aceste calcule pot impune utilizarea unui cablu de secțiune mai mare decât cea aleasă inițial.

Cerințele impuse aparatelor de comutație vor determina tipul și caracteristicile acestora.

La alegerea fuzibilelor și a dispozitivelor de declanșare ale întreruptoarelor se vor utiliza tehnicile de filiație și selectivitate.

(1) În România, tensiunile cuprinse între 1 și 35 kV sunt denumite *Medie Tensiune*.

J - Protecția împotriva supratensiunilor în distribuția electrică de JT

Protecția împotriva supratensiunilor

Loviturile de trăsnet directe sau indirecte pot avaria echipamentele electrice la distanță de câțiva kilometri. Supratensiunile interne de comutație și cele tranzitorii de frecvență industrială pot conduce, de asemenea, la aceleași consecințe. Sunt analizate efectele și sunt propuse soluții.

K - Eficiența energetică în distribuția electrică

Eficiența energetică în distribuția energiei

Implementarea în instalațiile electrice a dispozitivelor de măsurare având sisteme de comunicație adecvate poate avea avantaje majore pentru utilizatorul sau proprietarul acestora: reducerea consumului de putere, reducerea costurilor legate de energie, utilizarea eficientă a echipamentelor electrice.

L - Compensarea energiei reactive și filtrarea armonicilor

Energia reactivă

Compensarea factorului de putere al unei instalații electrice se realizează local, global sau printr-o combinație a celor două metode.

M - Detecția și filtrarea armonicilor

Armonicile

Armonicile din rețea afectează calitatea energiei și determină numeroase efecte negative precum suprasarcini, vibrații, îmbătrânirea echipamentelor, perturbații ale echipamentelor sensibile în rețelele de calculatoare și telefonice. Acest capitol se referă la originea și efectele armonicilor, explică modul cum acestea pot fi măsurate și prezintă soluții.

N - Surse și sarcini particulare

Surse de alimentare și sarcini particulare

Sunt studiate cazuri și/sau echipamente particulare:

- surse particulare precum generatoare sincrone sau invertoare;
- sarcini particulare având caracteristici speciale, precum motoare asincrone, circuite de iluminat sau transformatoare de separație JT/JT;
- sisteme speciale, precum rețele de curent continuu.

P - Zone de locuit sau similare și spații speciale

Aplicații diverse

Anumite aplicații sunt supuse unor norme particulare mai stricte: un exemplu comun este cel al construcțiilor tip locuințe.

Q - Compatibilitatea electromagnetică EMC

Linii directe privind EMC

Pentru a se asigura compatibilitatea electromagnetică trebuie luate în considerare anumite reguli. Nerespectarea acestora poate avea consecințe serioase pentru funcționarea instalației electrice: perturbații în sistemele de comunicație, declanșarea intempestivă a dispozitivelor de protecție și chiar distrugerea echipamentelor sensibile.

Programul de calcul Ecodial

Programul de calcul ECODIAL⁽¹⁾ reprezintă un instrument de proiectare pentru instalațiile electrice de joasă tensiune, în conformitate cu standardele și recomandările CEI.

Programul realizează următoarele:

- construiește schemele monofilare;
- calculează curenții de scurtcircuit;
- calculează căderile de tensiune;
- optimizează secțiunile cablurilor;
- stabilește calibrele aparatelor de comutație și a siguranțelor fuzibile;
- evidențiază gradul de selectivitate a protecțiilor;
- utilizează tehnicile de filiație ale aparatelor;
- verifică condițiile de protecție a persoanelor;
- prezintă într-o manieră coerentă și completă calculele și rezultatele obținute.

⁽¹⁾ Programul de calcul ECODIAL este un produs Merlin Gerin și este disponibil în limbile engleză și franceză.

Instalațiile de joasă tensiune se vor conforma unor reguli și recomandări care se clasifică precum urmează:

- Norme statutare (decrete, etc.);
- Reguli de instalare, norme elaborate de instituții profesionale;
- Standarde naționale și internaționale pentru instalații;
- Standarde naționale și internaționale de produs.

2.1 Definirea treptelor de tensiuni

Tensiuni nominale standardizate și recomandări, conform CEI

Sistem trifazat cu patru sau trei conductoare Tensiune nominală (V)		Sistem monofazat cu trei conductoare Tensiune nominală (V)
50 Hz	60 Hz	60 Hz
-	120/208	120/240
-	240	-
230/400 ⁽¹⁾	277/480	-
400/690 ⁽¹⁾	480	-
-	347/600	-
1000	600	-

(1) Sistemele având tensiunea nominală de 220/380 V și 240/415 V vor evolua către valorile recomandate de 230/400 V. Perioada de tranziție va fi cât se poate de scurtă și nu va depăși anul 2008. În această perioadă, ca etapă, autoritățile naționale cu răspundere în ceea ce privește furnizarea de energie electrică din țările cu sisteme 220/380 V trebuie să aducă tensiunea în limitele 230/400 V (+6, -10)%, iar cele din țările cu sisteme 240/415 V, în limitele 230/400 V (+10, -6)%. La capătul acestei perioade de tranziție trebuie obținută toleranța de 230/400 V ±10%; apoi se va avea în vedere reducerea acestei limite de toleranță. Toate aceste considerente se aplică, de asemenea, în legătură cu sistemele existente de 380/660 V în vederea trecerii la sistemul recomandat de 400/690 V.

Tab. A1: Tensiuni standardizate cuprinse între 100 și 1000 V (CEI 60038, Ediția 6.2 2002-07).

Seria I Tensiune max. ptr. echipamente (kV)	Sistem nominal de tensiune (kV)		Seria II Tensiune max. ptr. echipamente (kV)	Sistem nominal de tensiune (kV)
3,6 ⁽¹⁾	3,3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾	4,40 ⁽¹⁾	4,16 ⁽¹⁾
7,2 ⁽¹⁾	6,6 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	-	-
12	11	10	-	-
-	-	-	13,2 ⁽²⁾	12,47 ⁽²⁾
-	-	-	13,97 ⁽²⁾	13,2 ⁽²⁾
-	-	-	14,52 ⁽¹⁾	13,8 ⁽¹⁾
(17,5)	-	(15)	-	-
24	22	20	-	-
-	-	-	26,4 ⁽²⁾	24,94 ⁽²⁾
36 ⁽³⁾	33 ⁽³⁾	-	-	-
-	-	-	36,5	34,5
40,5 ⁽³⁾	-	35 ⁽³⁾	-	-

Aceste sisteme sunt în general cu trei conductoare, dacă nu se indică altfel.

Valorile de tensiune menționate sunt tensiuni între faze.

Valorile indicate în paranteze vor fi considerate nerecomandate.

Este recomandat ca aceste valori să nu fie utilizate pentru sistemele ce urmează a fi construite în viitor.

Nota 1: Pentru orice țară este recomandat ca raportul dintre două tensiuni nominale adiacente să nu fie mai mic decât 2.

Nota 2: În sistemele normale din Seria I tensiunile maximă și minimă nu vor diferi cu mai mult decât ±10% față de tensiunea nominală a sistemului. În sistemele normale din Seria II tensiunea maximă nu va diferi cu mai mult de +5%, iar cea minimă cu mai mult de -10% în raport cu tensiunea nominală a sistemului.

(1) Aceste valori nu vor fi utilizate pentru sistemele de distribuție publică.

(2) Aceste sisteme sunt, în general cu 4 conductoare.

(3) Se are în vedere unificarea acestor valori.

Tab. A2: Tensiuni standardizate peste 1 kV, dar nu mai mari de 35 kV (CEI 60038, Ediția 6.2 2002-07).

2.2 Reguli

În cele mai multe țări, instalațiile electrice trebuie să fie în conformitate cu mai mult decât un set de norme elaborate de către Autoritățile Naționale sau de către organisme private recunoscute. Este important de avut în vedere toate aceste prevederi înainte de începerea activității de proiectare.

2.3 Standarde

Acest Ghid are la bază standardele CEI în vigoare, în mod special CEI 60364. CEI 60364 a fost elaborat de către un colectiv de experți din domeniul medical și cel al ingineriei din întreaga lume, pe baza experienței împărtășite la nivel internațional. În mod curent, principiile de siguranță ale CEI 60364 și CEI 60479.1 reprezintă fundamentele pentru majoritatea standardelor din domeniu din întreaga lume (a se vedea tabelul de mai jos).

CEI 60038	Tensiuni standardizate
CEI 60076-2	Transformatoare de putere - Creșterea temperaturii
CEI 60076-3	Transformatoare de putere - Nivele de izolare, încercări dielectrice și distanțe de izolare
CEI 60076-5	Transformatoare de putere - Capacitatea de ținere la scurtcircuit
CEI 60076-10	Transformatoare de putere - Determinarea nivelului de zgomot
CEI 60146	Convertoare cu semiconductoare - Condiții generale și convertoare cu comutație de la rețea
CEI 60255	Relee electrice
CEI 60265-1	Înteruptoare de înaltă tensiune - Înteruptoare de înaltă tensiune pentru tensiuni peste 1 kV și sub 52 kV
CEI 60269-1	Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Condiții generale
CEI 60269-2	Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Condiții suplimentare pentru siguranțe fuzibile în cazul utilizării lor de către persoane neautorizate (siguranțe fuzibile pentru întrebuințări casnice sau similare)
CEI 60282-1	Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Siguranțe limitatoare de curent
CEI 60287-1-1	Cabluri electrice - Calculul curentului nominal - Ecuațiile curentului nominal (coeficient de încărcare 100%) și calculul pierderilor - Generalități
CEI 60364	Instalații electrice pentru clădiri
CEI 60364-1	Instalații electrice pentru clădiri - Principii fundamentale
CEI 60364-4-41	Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva șocului electric
CEI 60364-4-42	Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva efectelor termice
CEI 60364-4-43	Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva supracurenților
CEI 60364-4-44	Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva perturbatiilor electromagnetice și de tensiune
CEI 60364-5-51	Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Reguli generale
CEI 60364-5-52	Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Cablajul electric
CEI 60364-5-53	Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Aparate de comutație și comandă
CEI 60364-5-54	Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Sisteme de tratare a neutrilor
CEI 60364-5-55	Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Alte echipamente
CEI 60364-5-61	Instalații electrice pentru clădiri - Verificări și testări - Verificarea inițială
CEI 60364-7-701	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Băi sau dușuri
CEI 60364-7-702	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Bazine de înot sau alte bazine
CEI 60364-7-703	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Saune
CEI 60364-7-704	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Organizări de șantier
CEI 60364-7-705	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice pentru agricultură și horticultură
CEI 60364-7-706	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Zone cu restricții
CEI 60364-7-707	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Cerințe de legare la pământ în instalații cuprinzând sisteme de date
CEI 60364-7-708	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice pentru parcuri de rulote și rulote
CEI 60364-7-709	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Zone marine și aparate de zbor de agrement
CEI 60364-7-710	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice în mediul medical
CEI 60364-7-711	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Expoziții, spectacole
CEI 60364-7-712	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Sisteme solare - fotovoltaice (PV) de alimentare cu energie
CEI 60364-7-713	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Mobilă
CEI 60364-7-714	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Sisteme de iluminat exterior
CEI 60364-7-715	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații de iluminat de joasă tensiune
CEI 60364-7-717	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Unități mobile sau transportabile
CEI 60364-7-740	Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice temporare pentru amenajări de târguri, parcuri de distracții, circuri
CEI 60427	Înteruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune (circuit-breaker)
CEI 60439-1	Ansambluri de aparat de comutație și comandă de joasă tensiune. Ansambluri prefabricate - Testate de tip, total sau parțial
CEI 60439-2	Ansambluri de aparat de joasă tensiune. Condiții speciale pentru sistemele de bare capsulate
CEI 60439-3	Ansambluri de aparat de joasă tensiune. Condiții speciale pentru ansambluri prefabricate de aparat de joasă tensiune care urmează a fi instalate în locuri în care persoane neautorizate au acces spre a le utiliza - Tablouri de distribuție
CEI 60439-4	Ansambluri de aparat de joasă tensiune. Cerințe speciale pentru ansambluri de aparat de joasă tensiune utilizate pentru organizări de șantier
CEI 60439-5	Ansambluri de aparat de joasă tensiune. Condiții speciale pentru ansambluri prefabricate de aparat de joasă tensiune care urmează a fi instalate în exterior, în locuri publice - Dulapuri de distribuție (cable distribution cabinets)
CEI 60446	Principii de siguranță ale interfeței om-mașină, marcare și identificare - Identificarea conductoarelor prin culori sau numeric
CEI 60479-1	Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Aspecte generale
CEI 60479-2	Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Aspecte particulare
CEI 60479-3	Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Efectele trecerii curentului electric prin organismele vii

(Continuare pe pagina următoare)

A6

CEI 60529	Gradele de protecție conferite de carcase (codul IP)
CEI 60644	Specificații pentru siguranțele fuzibile de înaltă tensiune destinate aplicațiilor de tip motor
CEI 60664	Coordonarea izolației pentru echipamente în sistemele de joasă tensiune
CEI 60715	Dimensiuni ale aparatelor de control și comutație. Montare standardizată pe șină a aparatelor de control și comutație în instalații
CEI 60724	Limitele de temperatură la scurtcircuit pentru cabluri având tensiuni nominale de 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) și 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)
CEI 60755	Condiții generale pentru dispozitivele de protecție contra curentului rezidual
CEI 60787	Ghid pentru alegerea siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune pentru protecția transformatoarelor
CEI 60831	Condensatoare autoregeneratoare pentru instalațiile de curent alternativ având tensiuni de până la 1000 V inclusiv - Condiții generale - Performanțe, teste, calibre - Condiții de siguranță - Ghid de instalare și utilizare
CEI 60947-1	Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Condiții generale
CEI 60947-2	Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Întreruptoare automate
CEI 60947-3	Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Întreruptoare, separatoare, separatoare de sarcină și întreruptoare cu siguranțe fuzibile
CEI 60947-4-1	Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Contactoare și startere de motoare - Contactoare electromecanice și startere de motor
CEI 60947-6-1	Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Echipamente multifuncționale - Aparate pentru comutare automată (ATS)
CEI 61000	Compatibilitatea electromagnetică (EMC)
CEI 61140	Protecția împotriva șocurilor electrice - Aspecte comune pentru echipamente și instalații
CEI 61557-1	Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru testarea, măsurarea și monitorizarea măsurilor de protecție - Condiții generale
CEI 61557-8	Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru testarea, măsurarea și monitorizarea măsurilor de protecție
CEI 61557-9	Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru localizarea defectelor de izolație în rețelele IT
CEI 61558-2-6	Siguranța transformatoarelor de putere, surselor de alimentare și similar - Condiții speciale de siguranță pentru transformatoarele de izolație pentru uz general
CEI 62271-1	Specificații comune pentru standardele aparatelor de comutație și comandă de înaltă tensiune
CEI 62271-100	Aparate de comutație și control de înaltă tensiune - Întreruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune
CEI 62271-102	Aparate de comutație și control de înaltă tensiune - Separatoare de sarcină și separatoare de punere la pământ
CEI 62271-105	Aparate de comutație și control de înaltă tensiune - Separatoare cu fuzibile
CEI 62271-200	Aparate de comutație și control de înaltă tensiune - Aparataj de comutație și de comandă în carcasă metalică pentru tensiuni de peste 1 kV până la 52 kV inclusiv
CEI 62271-202	Posturi de transformare de medie tensiune/joasă tensiune prefabricate

(Sfârșit)

2.4 Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice

Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice poate fi asigurată doar în condițiile în care:

- este asigurată conformitatea instalației electrice cu standardele și normele în vigoare, printr-o verificare inițială;
- echipamentele electrice sunt în conformitate cu standardele;
- se realizează verificări periodice ale instalației electrice.

2.5 Verificarea inițială a unei instalații electrice

Înainte de conectarea unei instalații electrice noi la rețeaua de alimentare trebuie realizate teste preliminare și inspecții vizuale de către furnizorul de energie electrică sau de către agenții săi autorizați.

Aceste teste se fac în conformitate cu reglementările locale (guvernamentale și/sau instituționale) care pot diferi în mare măsură de la o țară la alta. Totuși, principiile tuturor acestor reglementări sunt comune și se bazează pe îndeplinirea riguroasă a condițiilor de siguranță în proiectarea și realizarea instalațiilor electrice.

CEI 60364-6-61 și celelalte standarde asociate incluse în acest ghid se bazează pe consensul internațional legat de aceste teste care trebuie să acopere toate măsurile de siguranță și modul de funcționare impus, în mod normal, de clădirile rezidențiale, social-culturale, administrative și (în mare parte) cele industriale. Multe ramuri industriale au, totuși, reglementări particulare, proprii, legate de un produs particular (petrol, cărbune, gaz natural, etc.). Aceste reglementări particulare nu sunt incluse în acest ghid.

Testele electrice preliminare și inspecțiile vizuale ale instalațiilor electrice din clădiri includ, în mod normal, următoarele:

- verificarea rezistenței de izolației ale tuturor cablurilor și conductoarelor din instalația permanentă, între faze și între faze și pământ;
- verificarea continuității circuitelor de protecție, a conductivității electrice a conductoarelor, a legăturilor echipotențiale;
- verificarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ;
- verificarea funcționării corecte a interblocajelor (dacă există);

- verificarea numărului recomandat de prize pe un circuit;
- verificarea secțiunii tuturor conductoarelor cunoscându-se valorile curenților de scurtcircuit și ținând cont de dispozitivele de protecție asociate, materialele și modul de pozare (în aer, în tub, etc.);
- verificarea modului de legare la pământ a tuturor părților metalice expuse;
- verificarea distanțelor de izolare în băi, etc.

Aceste teste și verificări sunt de bază (dar nu exhaustive) pentru majoritatea instalațiilor electrice, în timp ce numeroase alte teste și reguli sunt incluse în regulamentele ce se referă la cazurile particulare, de exemplu: sistemele de tratare a neutrlui TN-, TT-, sau IT, instalații având clasa 2 de izolație, circuitele de siguranță cu tensiune foarte joasă, zonele speciale, etc.

Scopul acestui ghid este să atragă atenția asupra unor caracteristici principale ale diferitelor tipuri de instalații și să indice regulile esențiale care trebuie respectate în scopul obținerii unui nivel satisfăcător de calitate, ceea ce înseamnă siguranța și continuitatea în funcționare. Metodele recomandate în acest ghid, modificate, dacă este necesar pentru a corespunde oricăror cerințe impuse de către autoritatea locală furnizoare de energie electrică urmăresc satisfacerea tuturor verificărilor și inspecțiilor preliminare.

2.6 Verificarea și testarea periodică a unei instalații

În multe țări instalațiile aferente tuturor clădirilor industriale, socio-administrative și comerciale, împreună cu cele publice trebuie verificate periodic de către agenți autorizați.

Tabelul A3 arată frecvența recomandată a verificărilor, în conformitate cu tipul de instalație în cauză.

Tip de instalație	Frecvența verificărilor
Instalații care necesită protecția angajaților <ul style="list-style-type: none"> ■ zone în care există risc de degradare, de incendiu sau de explozie ■ instalații provizorii sau organizări de șantier ■ zone în care există instalații de MT ■ zone restricționate unde se folosește echipament mobil 	anual
Instalații în clădiri publice unde este necesară protecția împotriva incendiilor sau a riscului de panică	la fiecare 3 ani de la 1 la 3 ani
Instalații în clădiri rezidențiale	în conformitate cu reglementările locale

Tab. A3: Frecvența recomandată a verificărilor pentru o instalație electrică.

Conformitatea echipamentelor cu standardele asociate în vigoare poate fi certificată în mai multe moduri

2.7 Conformitatea cu standardele și specificațiile tehnice a echipamentelor utilizate într-o instalație electrică

Certificarea conformității

Conformitatea unui echipament cu standardele asociate poate fi certificată astfel:

- printr-un marcaj de conformitate oficial acordat de către organismul de certificare implicat;
- printr-un certificat de conformitate eliberat de un organism de certificare, sau
- printr-o declarație de conformitate a producătorului.

Primele două modalități nu pot fi aplicate pentru echipamentele de medie tensiune.

Declarația de conformitate

În cazul în care echipamentele în cauză vor fi utilizate de către personal autorizat sau instruit, declarația de conformitate a producătorului (care este inclusă în documentația tehnică) este, de obicei recunoscută ca un atestat valid. Acolo unde, însă, competența producătorului este pusă la îndoială, va fi elaborat un certificat de conformitate pentru a susține declarația producătorului.

Note: Marcajul CЄ

Directivele Europene cer producătorilor sau reprezentanțelor autorizate să atașeze marcajul CЄ pe produse, pe răspunderea lor. Aceasta înseamnă că:

- produsele îndeplinesc condițiile legale;
- se presupune că pot fi comercializate în Europa.

Marcajul CЄ nu reprezintă nici o garanție a originii și nici o marcă de conformitate.

Marca de conformitate

Marca de conformitate se atașează aparatelor și echipamentelor utilizate, în general de persoane neautorizate și neinstruite (ex.: în cazul aparatelor pentru uz casnic). Marca de conformitate este eliberată de un organism de certificare dacă echipamentul îndeplinește condițiile unui standard aplicabil și după verificarea sistemului de management de calitate al producătorului.

Certificatul de calitate

Standardele definesc câteva metode pentru asigurarea calității care corespund mai curând câtorva situații, decât diferitelor nivele de calitate.

Garanția

Un laborator de testare a unor mostre nu poate certifica conformitatea unui întreg lot de fabricație: aceste teste se numesc teste de tip. În cazul anumitor teste care să ateste conformitatea cu standardele, mostrele sunt distruse (ex.: cazul fuzibilelor). Doar producătorul poate certifica faptul că produsele au, de fapt, caracteristicile specificate.

Certificatul de asigurare a calității are ca scop să completeze declarația inițială sau certificatul de conformitate.

Ca o dovadă a faptului că toate măsurile necesare asigurării calității fabricației au fost luate, producătorul obține certificarea sistemului de control a calității care monitorizează fabricația produsului în cauză. Aceste certificate sunt elaborate de organisme specializate în controlul calității și au la bază standardul internațional ISO 9000.

Aceste standarde definesc trei modele de bază de control a asigurării calității corespunzând mai curând unor situații diferite decât unor nivele diferite de calitate:

- Modelul 3 definește asigurarea calității prin inspectarea și verificarea produsului finit;
- Modelul 2 include suplimentar inspectării și verificării produsului finit, verificarea procesului de fabricație. De exemplu, această metodă se aplică producătorilor de fuzibile întrucât, în acest caz, nu poate fi verificată calitatea produsului fără distrugerea sa;
- Modelul 1 corespunde modelului 2, dar cu cerința suplimentară ca și calitatea procesului de proiectare să fie riguros urmărită; de exemplu, acolo unde nu se intenționează să se fabrice și să se testeze prototipuri (cazul execuției unui produs la cererea beneficiarului, în conformitate cu cerințele acestuia).

2.8 Condiții de mediu

Sistemele de management al mediului pot fi certificate de către un organism independent dacă acestea corespund cerințelor stipulate în ISO 14001. Acest tip de certificare se referă, în special, la locațiile industriale dar pot fi, de asemenea, acordate mediilor unde produsele sunt proiectate.

Un “eco-design” este o abordare de dezvoltare durabilă cu obiective ca proiectarea produselor/serviciilor să corespundă cât mai bine cerințelor clienților, în același timp reducându-li-se impactul asupra mediului în timpul întregului lor ciclu de viață. Metodologiile utilizate în acest scop conduc la alegerea arhitecturii echipamentelor împreună cu componentele și materialele ținând cont de influența produsului asupra mediului pe parcursul întregii sale durate de viață (ex.: producție, transport, distribuție, după perioada de utilizare, etc.).

În Europa au fost publicate două directive:

- Directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances, restricții ale substanțelor periculoase), care se aplică începând cu 01 iulie 2006 (intrarea în vigoare a fost 13 februarie 2003, dar data de aplicare a fost 01 iulie 2006), are ca scop eliminarea a șase substanțe periculoase: plumbul, mercurul, cadmiul, crom hexavalent, bifeniluri polybrominate (PBB) sau eteruri difenil polybrominate (PBDE).

2 Reguli și norme statutare

A9

■ Directiva WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment - deșeuri ale echipamentelor electrice și electronice), care se aplică începând cu august 2005 (intrarea în vigoare a fost 13 februarie 2003, dar data de aplicare a fost 13 august 2005), are ca scop urmărirea deșeurilor la scoaterea din uz a echipamentelor de uz casnic și nu numai.

În alte părți ale lumii, noi inițiative legislative urmăresc aceleași obiective. Împreună cu acțiunile producătorilor orientate în favoarea fabricației unor produse “eco-design” contribuția întregii instalații electrice la o dezvoltare durabilă poate fi semnificativ mărită prin modul de proiectare a instalației. Astfel, s-a arătat că o concepție optimă a instalației electrice care ține cont de condițiile de funcționare, de amplasare a posturilor de transformare MT/JT și de sistemul de distribuție (tablouri electrice, bare capsulate, cabluri) poate conduce la o reducere substanțială a impactului asupra mediului (reducerea consumurilor de materii prime, de energie, etc.).

A se vedea capitolul D în legătură cu amplasarea postului de transformare și a tabloului general de distribuție de joasă tensiune.

3 Tipuri de sarcini - Caracteristici

A10

Examinarea cererilor de putere aparentă a diferitelor tipuri de sarcini: un pas preliminar necesar în proiectarea unei instalații de joasă tensiune.

Puterea nominală a unui motor, exprimată în kW (P_n) este o măsură a puterii sale mecanice echivalente la ieșire. Puterea aparentă, exprimată în kVA, (P_a) furnizată motorului este funcție de puterea nominală a motorului, de randamentul și de factorul de putere al motorului.

$$P_a = \frac{P_n}{\eta \cos \varphi}$$

Analiza valorii puterii aparente absorbite de fiecare receptor permite stabilirea:

- cererii declarate de putere care determină contractul de furnizare de energie electrică;
- puterii nominale a transformatorului MT/JT, acolo unde este necesar (permițând eventuale creșteri de consum);
- valorile curentului de sarcină la nivelul fiecărui tablou de distribuție.

3.1 Motoare asincrone

Curent absorbit

Curentul nominal la al unui motor se calculează cu următoarele formule:

- motor trifazat: $I_a = P_n \times 1.000 / (\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos \varphi)$
- motor monofazat: $I_a = P_n \times 1.000 / (U \times \eta \times \cos \varphi)$,

unde:

I_a : curentul nominal al motorului (A)

P_n : puterea nominală a motorului (kW)

U : tensiunea de linie, în cazul motorului trifazat, respectiv tensiunea la borne, în cazul motorului monofazat (V). Un motor monofazat poate fi conectat între o fază și nul sau între două faze

η : randamentul motorului, exprimat ca kW ieșire/kW intrare

$\cos \varphi$: factorul de putere al motorului, exprimat ca: kW intrare/kVA intrare

Curentul la conectare și reglajul protecțiilor

■ Valoarea de vârf a curentului la conectare al unui motor poate fi foarte mare: valorile tipice sunt între 12 la 15 ori curentul efectiv al valorii nominale I_{nm} . Uneori această valoare poate ajunge la de 25 de ori I_{nm} .

■ Întreruptoarele automate Merlin Gerin, contactoarele Telemecanique și releele termice sunt proiectate astfel încât să suporte porniri de motoare având curenți de pornire de valori foarte mari (curenți de pornire de vârf de până la 19 ori I_{nm}).

■ Declanșările intempestive ale protecțiilor la supracurenți în cazul pornirii motoarelor semnifică existența unor curenți la pornire mai mari decât limitele normale. Ca urmare, anumite aparate de comutație pot fi intens solicitate, prin urmare durata lor de viață se va reduce sau chiar se pot distruge. Pentru a evita aceste lucruri se poate avea în vedere o supradimensionare a aparatelor de comutație.

■ Aparatele de comutație Merlin Gerin și Telemecanique sunt proiectate pentru a asigura protecția starterelor de motoare împotriva curenților de scurtcircuit. În funcție de riscul de defect, există tabele care arată combinația de întreruptor automat, releu termic și contactor care trebuie utilizată în funcție de puterea motorului, pentru a obține coordonare tip 1 sau 2 (vezi capitolul N).

Curentul de pornire al motorului

Deși pe piața pot fi găsite motoare cu randament ridicat, curenții de pornire ai motoarelor performante au valori la fel de mari ca cei ai motoarelor standard. Prin utilizarea pornirilor stea-triunghi, a soft-starterelor sau a variatoarelor de turație se pot reduce semnificativ valorile acestor curenți de pornire (exemplu: 4 I_a în loc de 7,5 I_a).

Compensarea puterii reactive furnizate motoarelor asincrone

Este, în general, avantajos din motive tehnice și financiare să se reducă curentul furnizat motoarelor. Aceasta poate fi realizată utilizând condensatoare, fără consecințe asupra puterii mecanice a motoarelor.

Aplicarea acestui principiu în funcționarea motoarelor asincrone este cunoscută, în general în termeni de "compensarea energiei reactive" sau "corecția factorului de putere".

Așa cum se prezintă în capitolul L, puterea aparentă exprimată în kVA care se furnizează motorului asincron poate fi semnificativ redusă prin utilizarea unor condensatoare conectate în paralel. Reducerea puterii aparente (kVA) furnizate înseamnă, în mod corespunzător și reducerea curentului de lucru (atât timp cât tensiunea de alimentare rămâne aceeași).

Compensarea puterii reactive este, în mod special, recomandată pentru motoarele care funcționează la putere redusă perioade lungi de timp.

Cum s-a menționat mai sus, $\cos \varphi = \frac{\text{kW intrare}}{\text{kVA intrare}}$ deci o reducere a puterii aparente

la intrare va conduce la creșterea (îmbunătățirea) valorii $\cos \varphi$.

3 Tipuri de sarcini - Caracteristici

A11

Curentul furnizat motorului după corecția factorului de putere, I'_a , este dat de:

$$I'_a = I_a \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

unde $\cos \varphi$ este factorul de putere înainte de compensare, iar $\cos \varphi'$ este factorul de putere după compensare, I_a fiind curentul inițial, înainte de compensare.

De menționat faptul că variatoarele de viteză realizează și compensarea energiei reactive.

Tabelul A4 de mai jos indică, în funcție de puterea motorului, curenții standard nominali ai motorului, la diferite valori ale tensiunii de alimentare.

kW	CP	230 V	380 - 415 V	400 V	440 - 480 V	500 V	690 V
		A	A	A	A	A	A
0,18	-	1,0	-	0,6	-	0,48	0,35
0,25	-	1,5	-	0,85	-	0,68	0,49
0,37	-	1,9	-	1,1	-	0,88	0,64
-	1/2	-	1,3	-	1,1	-	-
0,55	-	2,6	-	1,5	-	1,2	0,87
-	3/4	-	1,8	-	1,6	-	-
-	1	-	2,3	-	2,1	-	-
0,75	-	3,3	-	1,9	-	1,5	1,1
1,1	-	4,7	-	2,7	-	2,2	1,6
-	1-1/2	-	3,3	-	3,0	-	-
-	2	-	4,3	-	3,4	-	-
1,5	-	6,3	-	3,6	-	2,9	2,1
2,2	-	8,5	-	4,9	-	3,9	2,8
-	3	-	6,1	-	4,8	-	-
3,0	-	11,3	-	6,5	-	5,2	3,8
3,7	-	-	-	-	-	-	-
4	-	15	9,7	8,5	7,6	6,8	4,9
5,5	-	20	-	11,5	-	9,2	6,7
-	7-1/2	-	14,0	-	11,0	-	-
-	10	-	18,0	-	14,0	-	-
7,5	-	27	-	15,5	-	12,4	8,9
11	-	38,0	-	22,0	-	17,6	12,8
-	15	-	27,0	-	21,0	-	-
-	20	-	34,0	-	27,0	-	-
15	-	51	-	29	-	23	17
18,5	-	61	-	35	-	28	21
-	25	-	44	-	34	-	-
22	-	72	-	41	-	33	24
-	30	-	51	-	40	-	-
-	40	-	66	-	52	-	-
30	-	96	-	55	-	44	32
37	-	115	-	66	-	53	39
-	50	-	83	-	65	-	-
-	60	-	103	-	77	-	-
45	-	140	-	80	-	64	47
55	-	169	-	97	-	78	57
-	75	-	128	-	96	-	-
-	100	-	165	-	124	-	-
75	-	230	-	132	-	106	77
90	-	278	-	160	-	128	93
-	125	-	208	-	156	-	-
110	-	340	-	195	-	156	113
-	150	-	240	-	180	-	-
132	-	400	-	230	-	184	134
-	200	-	320	-	240	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-
160	-	487	-	280	-	224	162
185	-	-	-	-	-	-	-
-	250	-	403	-	302	-	-
200	-	609	-	350	-	280	203
220	-	-	-	-	-	-	-
-	300	-	482	-	361	-	-
250	-	748	-	430	-	344	250
280	-	-	-	-	-	-	-
-	350	-	560	-	414	-	-
-	400	-	636	-	474	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A4: Puteri și curenți nominali pentru motoare asincrone (continuare pe pagina următoare).

3 Tipuri de sarcini - Caracteristici

A12

kW	CP	230 V	380 - 415 V	400 V	440 - 480 V	500 V	690 V
		A	A	A	A	A	A
315	-	940	-	540	-	432	313
-	540	-	-	-	515	-	-
335	-	-	-	-	-	-	-
355	-	1061	-	610	-	488	354
-	500	-	786	-	590	-	-
375	-	-	-	-	-	-	-
400	-	1200	-	690	-	552	400
425	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-
475	-	-	-	-	-	-	-
500	-	1478	-	850	-	680	493
530	-	-	-	-	-	-	-
560	-	1652	-	950	-	760	551
600	-	-	-	-	-	-	-
630	-	1844	-	1060	-	848	615
670	-	-	-	-	-	-	-
710	-	2070	-	1190	-	952	690
750	-	-	-	-	-	-	-
800	-	2340	-	1346	-	1076	780
850	-	-	-	-	-	-	-
900	-	2640	-	1518	-	1214	880
950	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	2910	-	1673	-	1339	970

Tab. A4: Puteri și curenți nominali pentru motoare asincrone (sfârșit).

3.2 Sarcini de tip rezistiv: sisteme de încălzire și lămpi cu incandescență (convenționale sau cu halogen)

Curentul absorbit de sarcini tip aparate de încălzire sau lămpi cu incandescență se calculează rapid în funcție de puterea nominală dată de producător ($\cos \varphi = 1$) (vezi Tab. A5).

Putere nominală (kW)	Curent nominal (A)			
	monofazat 127 V	monofazat 230 V	trifazat 230 V	trifazat 400 V
0,1	0,79	0,43	0,25	0,14
0,2	1,58	0,87	0,50	0,29
0,5	3,94	2,17	1,26	0,72
1	7,9	4,35	2,51	1,44
1,5	11,8	6,52	3,77	2,17
2	15,8	8,70	5,02	2,89
2,5	19,7	10,9	6,28	3,61
3	23,6	13	7,53	4,33
3,5	27,6	15,2	8,72	5,05
4	31,5	17,4	10	5,77
4,5	35,4	19,6	11,3	6,5
5	39,4	21,7	12,6	7,22
6	47,2	26,1	15,1	8,66
7	55,1	30,4	17,6	10,1
8	63	34,8	20,1	11,5
9	71	39,1	22,6	13
10	79	43,5	25,1	14,4

Tab. A5: Curentul nominal al sistemelor de încălzire rezistive și al lămpilor cu incandescență (convenționale sau cu halogen).

3 Tipuri de sarcini - Caracteristici

A13

Curentul nominal se calculează cu relațiile:

- pentru un sistem trifazat: $I_a = \frac{P_n^{(1)}}{\sqrt{3} U}$
- pentru un sistem monofazat: $I_a = \frac{P_n^{(1)}}{U}$

unde U este tensiunea de alimentare la bornele echipamentului.
Pentru lămpile cu incandescență, utilizarea halogenului crează o sursă de lumină mult mai concentrată. Fluxul luminos este superior iar durata de viață a lămpii se dublează.

Notă: La conectare, filamentul rece crează un vârf de curent de valoare foarte mare dar de durată foarte mică.

Lămpi fluorescente și echipamentul aferent

Puterea P_n (W) indicată pe lampa fluorescentă nu include și puterea disipată în balast. Curentul absorbit este dat de:

$$I_a = \frac{P_{\text{balast}} + P_n}{U \cos \varphi}$$

unde U este tensiunea de alimentare la bornele echipamentului.
Dacă nu este indicată valoarea pierderilor în balast, aceasta se va considera 25% din P_n .

Lămpi fluorescente tubulare standard

Având (dacă nu este indicat altfel):

- $\cos \varphi = 0,6$ fără condensator pentru compensarea⁽²⁾ factorului de putere (FP);
- $\cos \varphi = 0,86$ cu compensarea⁽²⁾ factorului de putere (FP) (unul sau două tuburi);
- $\cos \varphi = 0,96$ pentru balast electronic.

Dacă nu sunt indicate pierderi de putere pentru balast, o valoare de 25% din P_n poate fi luată în considerare.

Tabelul A6 indică aceste valori pentru diferite tipuri de balast.

Aranjamentul lămpilor, starterelor și balastului	Putere lămpă (W) ⁽³⁾	Curent (A) la 230 V			Lung. tub (cm)
		Balast electromagnetice		Balast electronic	
		Fără condens. pentru compensare	Cu condens. pentru compensare		
Un singur tub	18	0,20	0,14	0,10	60
	36	0,33	0,23	0,18	120
	58	0,50	0,36	0,28	150
Două tuburi	2 x 18		0,28	0,18	60
	2 x 36		0,46	0,35	120
	2 x 58		0,72	0,52	150

(3) Puterea în W indicată pe lămpă.

Tab. A6: Curentul nominal și puterea consumată de către lămpile fluorescente uzuale (la 230 V, 50 Hz).

Lămpi fluorescente compacte

Lămpile fluorescente compacte au aceleași caracteristici în ce privește durata de viață și economia de energie ca și lămpile fluorescente clasice.

Ele sunt utilizate în locurile publice permanent iluminate (ex.: holuri, baruri, coridoare de trecere) și pot fi montate în locuri altfel iluminate cu lămpi cu incandescență (vezi **Tab. A7** de pe pagina următoare).

(1) I_a exprimat în A, U exprimat în V, P_n exprimat în W. Dacă P_n este exprimat în kW, atunci relația se înmulțește cu 1.000.

(2) "Corecția factorului de putere" se referă adesea la "compensare" în terminologia lămpilor de iluminat cu descărcare.

$\cos \varphi$ este aproximativ 0,95 (valorile "zero" ale tensiunii și curentului sunt aproape fazate), dar factorul de putere este 0,5 datorită formei în impulsuri a curentului, al cărui vârf apare „târziu”, la fiecare jumătate de perioadă.

Tip lampă	Putere lampă (W)	Curent la 230 V (A)
Cu balast separat	10	0,080
	18	0,110
	26	0,150
Cu balast incorporat	8	0,075
	11	0,095
	16	0,125
	21	0,170

Tab. A7: Curentul absorbit și puterea consumată de către lampile fluorescente compacte (la 230 V, 50 Hz).

Puterea în W indicată pe tubul unei lampi cu descărcări nu include și puterea disipată în balast.

Lămpi cu descărcări

Tabelul A8 indică curentul nominal al unei lampi echipate cu aparatul auxiliar. Funcționarea acestor lampi depinde de descărcarea electrică luminiscentă care are loc într-un gaz sau vaporii unui compus metalic, închis ermetic într-o incintă transparentă, la o presiune prestabilită. Aceste lampi au un timp de pornire lung în timpul căruia curentul I_a este mai mare decât curentul nominal I_n . Puterea și curentul sunt date pentru diferite tipuri de lampi (valorile medii tipice pot varia ușor de la un producător la altul).

Tip lampă (W)	Putere cerută (W) la 230 V 400 V	Curent In (A) FP necomp. 230 V 400 V FP comp. 230 V 400 V		Pornire la/In	Perioadă (min.)	Eficiență luminoasă (lm/W)	Durăță medie de viață (h)	Utilizare
Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune								
50	60	0,76	0,3	1,4 la 1,6	4 la 6	80 la 120	9000	■ iluminat holuri mari ■ iluminat exterior ■ iluminat public
70	80	1	0,45					
100	115	1,2	0,65					
150	168	1,8	0,85					
250	274	3	1,4					
400	431	4,4	2,2					
1000	1055	10,45	4,9					
Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune								
26	34,5	0,45	0,17	1,1 la 1,3	7 la 15	100 la 200	8000 la 12000	■ iluminat autostrăzi ■ iluminat de siguranță ■ platforme, depozite
36	46,5		0,22					
66	80,5		0,39					
91	105,5		0,49					
131	154		0,69					
Lămpi cu descărcări în vapori de mercur + halogeni metalici								
70	80,5	1	0,40	1,7	3 la 5	70 la 90	6000	■ iluminat suprafețe foarte mari cu ajutorul proiectoarelor (ex.: stadioane, etc.)
150	172	1,80	0,88				6000	
250	276	2,10	1,35				6000	
400	425	3,40	2,15				6000	
1000	1046	8,25	5,30				6000	
2000	2092 2052	16,50 8,60	10,50 6				2000	
Lămpi cu descărcări în vapori de mercur cu substanță fluorescentă (fluorescent bulb)								
50	57	0,6	0,30	1,7 la 2	3 la 6	40 la 60	8000 la 12000	■ ateliere cu plafoane foarte înalte (ex.: holuri, hangare, etc.) ■ iluminat exterior ■ iluminat de intensitate redusă ⁽¹⁾
80	90	0,8	0,45					
125	141	1,15	0,70					
250	268	2,15	1,35					
400	421	3,25	2,15					
700	731	5,4	3,85					
1000	1046	8,25	5,30					
2000	2140 2080	15	11 6,1					

(1) Înlocuite cu lampi cu vapori de sodiu.

Notă: Aceste lampi sunt sensibile la căderile de tensiune. Ele se sting dacă tensiunea de alimentare scade sub 50% din valoarea nominală și nu se mai reaprind înainte de răcire (aprox. 4 minute).

Notă: Lampile cu vapori de sodiu de joasă presiune au o eficiență luminoasă superioară altor tipuri de lampi. Totuși, utilizarea acestui tip de lampă este restricționată întrucât datorită culorii luminii emise, galben-oranj, factorul de redare a culorii este scăzut.

Tab. A8: Curentul absorbit de diferite tipuri de lampi cu descărcări.

4 Puterea cerută de o instalație electrică

A15

Pentru a proiecta o instalație electrică, trebuie stabilită sarcina maximă, reală, posibilă, care va fi solicitată sistemului de alimentare. A proiecta o instalație electrică doar pe baza sumei aritmetice a tuturor sarcinilor existente este absolut neeconomic și dovedește o insuficiență practică inginerescă. Scopul acestui capitol este de a arăta modul în care pot fi stabiliți coeficientul de simultaneitate (funcționarea nesimultană a sarcinilor) și coeficientul de utilizare (de ex. un motor nu funcționează, de obicei, la întreaga sa capacitate de încărcare) al tuturor receptorilor existenți. Valorile recomandate se bazează pe experiență și pe înregistrări ale consumurilor unor instalații existente. Suplimentar față de datele de proiectare aferente fiecărui circuit, rezultatele vor furniza o valoare globală pentru întreaga instalație, pentru care se va solicita alimentarea cu energie electrică (din rețeaua de distribuție, transformator MT/JT sau grup electrogen).

Puterea instalată este suma puterilor nominale ale tuturor receptorilor din instalație. În practică, aceasta nu reprezintă totuși, puterea necesară a fi furnizată.

4.1 Puterea instalată (kW)

Marcajul majorității echipamentelor și aparatelor electrice indică puterea lor nominală (P_n). Puterea instalată este suma puterilor nominale ale sarcinilor din instalație. În practică, aceasta nu reprezintă totuși, puterea necesară a fi furnizată. Acesta este cazul motoarelor electrice în care puterea nominală se referă la puterea livrată la arborele mașinii. Puterea consumată de motor este, evident mai mare. Lămpile fluorescente și cu descărcări în vapori de gaze, asociate cu balasturi reprezintă alte cazuri în care puterea nominală indicată pe lămpă este mai mică decât puterea consumată de lămpă împreună cu balastul aferent. Metodele de stabilire a puterilor consumate de motoare și corpuri de iluminat au fost prezentate în secțiunea 3 a acestui capitol. Cererea de putere (kW) este necesară pentru alegerea puterii nominale a grupului electrogen sau a bateriilor. Pentru o sursă de putere provenită de la rețeaua publică de joasă tensiune sau printr-un transformator MT/JT, se vorbește despre puterea aparentă, în kVA.

Puterea aparentă instalată se presupune a fi suma aritmetică a puterilor aparente a sarcinilor. Puterea maximă estimată, în kVA, necesară a fi furnizată nu este egală, totuși cu puterea totală instalată, în kVA.

4.2 Puterea aparentă instalată (kVA)

Puterea aparentă instalată se presupune a fi suma aritmetică a puterilor aparente a sarcinilor. Puterea maximă estimată, în kVA, necesară a fi furnizată nu este egală, totuși cu puterea totală instalată, în kVA. Puterea aparentă a unei sarcini (care poate fi un singur aparat) se obține din puterea sa nominală corectată, dacă este necesar, așa cum s-a menționat în cazul motoarelor, etc.), prin aplicarea următorilor coeficienți:

η = randament = kW ieșire/kW intrare

$\cos \varphi$ = factor de putere = kW/kVA

Puterea aparentă kVA cerută de sarcină va fi:

$P_a = P_n / (\eta \times \cos \varphi)$

Pornind de la această valoare, curentul nominal I_a (A)⁽¹⁾ absorbit de sarcină va fi:

$$\blacksquare I_a = \frac{P_a \times 10^3}{V}$$

pentru o sarcină monofazată conectată între fază și neutru

$$\blacksquare I_a = \frac{P_a \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$$

pentru o sarcină trifazată echilibrată, unde:

V = tensiunea de fază între fază și neutru (V)

U = tensiunea dintre faze (V)

Se menționează totuși că, teoretic, totalul puterii aparente, kVA nu este suma aritmetică a puterilor individuale calculate, kVA (dacă nu toate sarcinile au același factor de putere).

Este o practică comună de a face o simplă sumă aritmetică; rezultatul va da o valoare în kVA care este superioară valorii reale, reprezentând o "marjă de proiectare". Când nu se cunosc, parțial sau total caracteristicile sarcinilor, valorile indicate în **Tab. A9** pot fi utilizate pentru a da o valoare estimată aproximativă a puterii aparente cerute, VA (sarcinile individuale sunt, în general, prea mici pentru a fi exprimate în kVA sau kW). Estimările sarcinilor de iluminat se fac pe baza unității de suprafață de 500 m².

(1) Pentru o mai bună precizie trebuie să se țină seama de coeficientul de maximă utilizare, așa cum va fi explicat pe pagina următoare, în 4.3.

4 Puterea cerută de o instalație electrică

A16

Lămpi fluorescente (corectate la $\cos \varphi = 0,86$)

Tip de aplicație	Putere aparentă estimată (VA/m ²) pentru o lampă fluorescentă cu reflector industrial ⁽¹⁾	Nivel mediu de iluminare (lux = lm/m ²)
Drumuri și autostrăzi, suprafețe de depozitare, lucrări intermitente	7	150
Condiții de lucru speciale: fabricarea și asamblarea pieselor foarte grele	14	300
Activitate de zi cu zi: birouri	24	500
Ateliere de asamblare de înaltă precizie	41	800

Circuite de putere

Tip de aplicație	Putere estimată (VA/m ²)
Aer comprimat pentru stații de pompare	3 la 6
Ventilarea spațiilor	23
Radiatoare prin convecție:	
■ case	115 la 146
■ apartamente	90
Birouri	25
Dispecerate	50
Ateliere de asamblare	70
Ateliere de service auto	300
Ateliere de pictură	350
Instalații de tratamente termice	700

(1) Ex.: Pentru o lampă de 65 W (fără balast), fluxul luminos este de 5100 l_m , eficiența luminoasă a lămpii = 78,5 l_m/W .

Tab. A9: Estimarea puterii aparente instalate.

4.3 Estimarea cererii maxime de putere aparentă

Nu toate sarcinile individuale funcționează neapărat la puterea nominală totală și nici în același timp. Coeficienții k_u și k_s permit determinarea cererii reale de putere și putere aparentă în vederea dimensionării instalației.

Coeficientul de utilizare (k_u)

În condiții normale de funcționare, puterea consumată de sarcină este, uneori, mai mică decât cea indicată ca fiind puterea nominală ceea ce justifică aplicarea unui coeficient de utilizare (k_u) pentru estimarea valorii reale. Acest coeficient trebuie aplicat pentru fiecare sarcină, cu o atenție specială în ceea ce privește motoarele electrice care funcționează foarte rar la capacitatea nominală. În instalațiile industriale acest coeficient poate fi estimat, pentru motoare, la cca. 0,75. Pentru lămpile cu incandescență, acest coeficient este totdeauna egal cu 1. Pentru circuitele de priză, acest coeficient depinde în totalitate de tipul de echipament ce este conectat la priză.

Coeficientul de simultaneitate (k_s)

Este cunoscut din practică faptul că sarcinile electrice ale unei instalații electrice nu funcționează niciodată simultan; de aceea, în scop de estimare, este luat totdeauna în calcul un coeficient de simultaneitate (k_s).

Coeficientul de simultaneitate se aplică pentru un grup de sarcini (ex.: alimentate de la aceeași bară de tablou general sau secundar). Valoarea acestui factor este responsabilitatea proiectantului, deoarece impune cunoașterea detaliată a instalației și a condițiilor în care fiecare circuit funcționează. Din acest motiv nu este posibil să se recomande anumite valori pentru aplicații generale.

Coeficientul de simultaneitate pentru un bloc de apartamente

Câteva valori tipice aplicabile pentru consumatori casnici alimentați la 230/400 V (trifazat, 4 conductoare) sunt prezentate în **Tab. A10**. În cazul consumatorilor utilizând instalații electrice de încălzit cu acumularea căldurii pentru încălzirea spațiilor, se recomandă un coeficient de simultaneitate de 0,8 indiferent de numărul de consumatori.

4 Puterea cerută de o instalație electrică

A17

Număr de consumatori	Coeficient de simultaneitate (k_s)
2 la 4	1
5 la 9	0,78
10 la 14	0,63
15 la 19	0,53
20 la 24	0,49
25 la 29	0,46
30 la 34	0,44
35 la 39	0,42
40 la 49	0,41
Peste 50	0,40

Tab. A10: Coeficienți de simultaneitate într-un bloc de apartamente.

Exemplu (vezi Fig. A11):

Pentru un bloc de apartamente de 5 nivele, cu 25 de apartamente, fiecare având o putere instalată de 6 kVA. Puterea instalată totală a clădirii este:

$$36 + 24 + 30 + 36 + 24 = 150 \text{ kVA.}$$

Puterea aparentă necesară clădirii este: $150 \times 0,46 = 69 \text{ kVA}$.

Din Fig. A10 este posibil să se determine valoarea absolută a curentului în diferite secțiuni ale tabloului general care alimentează toate etajele. Referitor la coloanele electrice verticale alimentate de la parter, secțiunea acestora poate fi, evident, redusă de la etajele inferioare către cele superioare.

Aceste schimbări ale secțiunii conductoarelor se realizează, în mod convențional, la un interval de 3 etaje.

În exemplu, curentul coloanei verticale, la nivelul parterului este:

$$\frac{150 \times 0,46 \times 10^3}{400 \sqrt{3}} = 100 \text{ A}$$

Curentul de intrare la nivelul etajului al treilea este:

$$\frac{(36 + 24) \times 0,63 \times 10^3}{400 \sqrt{3}} = 55 \text{ A}$$

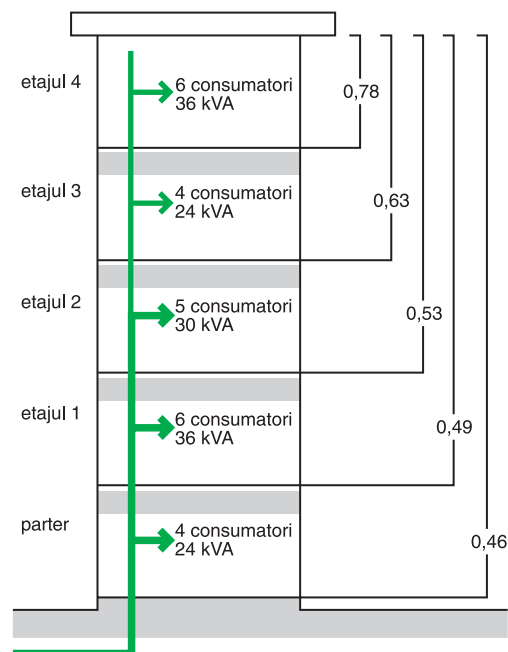


Fig. A11: Aplicarea coeficientului de simultaneitate (k_s) unui bloc de apartamente cu 5 nivele.

Coeficientul de simultaneitate pentru un tablou de distribuție

Tabelul A12 prezintă valorile ipotetice ale lui k_s pentru un tablou de distribuție care alimentează un număr de circuite pentru care nu există nici o indicație asupra modului în care sarcina totală se împarte între ele.

Dacă circuitele sunt preponderent circuite de iluminat este prudent să se adopte valori ale k_s apropiate de 1.

Număr de circuite	Coeficient de simultaneitate (k_s)
Ansambluri testate în totalitate	0,9
2 și 3	
4 și 5	0,8
6 la 9	0,7
Peste 10	0,6
Ansambluri testate parțial	1,0

Tab. A12: Coeficienți de simultaneitate pentru tablourile de distribuție (CEI 60439).

Coeficientul de simultaneitate în funcție de destinația circuitului

Tabelul A13 prezintă factorii de simultaneitate utilizați pentru circuite care alimentează sarcini uzuale.

Destinație circuit	Coeficient de simultaneitate (k_s)
Iluminat	1
Încălzire și aer condiționat	1
Prize	0,1 la 0,2 ⁽¹⁾
Lifturi și echipament de ridicat ⁽²⁾	<div> <div>■ pentru motorul cu puterea cea mai mare</div> <div>■ pentru motorul cu puterea următoare</div> <div>■ pentru toate motoarele</div> </div>
	1
	0,75
	0,60

(1) În anumite cazuri, în special în instalațiile industriale, acest coeficient poate fi mai mare.

(2) Curentul de calcul este egal cu valoarea curentului nominal al motorului majorat cu o treime din valoarea curentului de pornire.

Tab. A13: Coeficientul de simultaneitate în funcție de destinația circuitului.

4.4 Exemple de aplicare a coeficienților de utilizare (k_u) și de simultaneitate (k_s)

Tabelul A14 prezintă un exemplu de estimare a cererii maxime de putere aparentă kVA la toate nivelele unei instalații, pornind de la fiecare sarcină și până la punctul de alimentare.

În acest exemplu, puterea aparentă totală instalată este 126,6 kVA ceea ce corespunde unei valori maxime reale, estimate la bornele de joasă tensiune ale unui transformator MT/JT de doar 65 kVA.

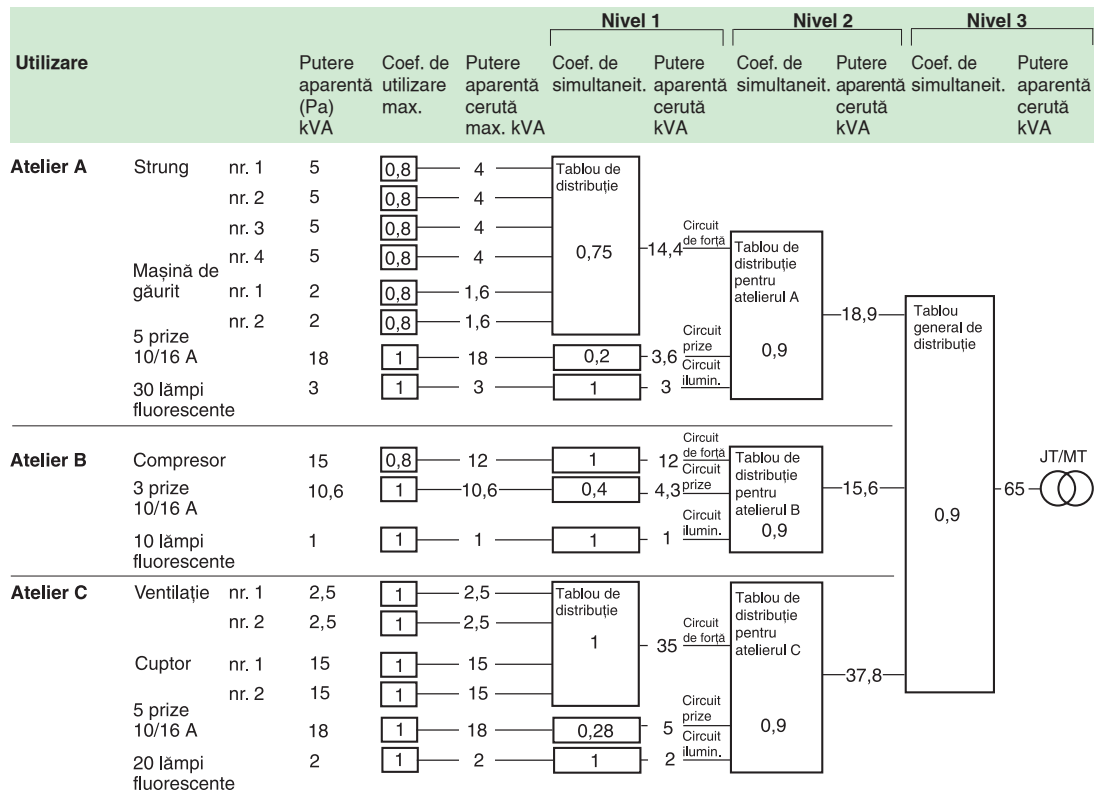
Notă: Pentru a alege secțiunea cablurilor pentru circuitele de distribuție ale instalației, curentul I (în A) prin circuit se determină din relația:

$$I = \frac{kVA \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

unde kVA este valoarea puterii maxime aparente aferentă circuitului respectiv, iar U este tensiunea de linie (între faze) (în V).

4.5 Coeficientul de diversitate

Termenul de “diversity factor” așa cum este definit în standardele CEI are aceeași semnificație cu k_s din prezentul ghid, secțiunea 4.3. În anumite țări de limbă engleză, “diversity factor” este inversul lui k_s , deci este supraunitar.



Tab A14: Exemplu de estimare a puterii maxime pentru o instalație (valorile utilizate pentru coeficienți sunt doar demonstrative).

4.6 Alegerea puterii nominale a transformatorului

În cazul în care o instalație electrică este alimentată direct dintr-un transformator MT/JT și puterea aparentă maximă a acesteia a fost determinată, parametri nominali ai transformatorului se pot alege luând în considerare următoarele (vezi Tab. A15):

- posibilitatea de îmbunătățire a factorului de putere ($\cos \varphi$) al instalației (a se vedea capitolul L);
- extinderile anticipate ale instalației;
- constrângerile impuse instalației (temperatură, etc.);
- puterile nominale standard ale transformatoarelor.

Putere aparentă kVA	I _n (A)	
	237 V	410 V
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

Tab. A15: Puteri aparente și curenți nominali standard pentru un transformator MT/JT.

Curentul nominal I_n la bornele de joasă tensiune ale unui transformator trifazat este dat de următoarea relație:

$$I_n = \frac{P_a \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

unde:

P_a = puterea aparentă nominală, în kVA, a transformatorului

U = tensiunea între faze, în V (237 V sau 410 V) în gol

I_n este exprimat în A.

Pentru un transformator monofazat:

$$I_n = \frac{P_a \times 10^3}{V}$$

unde:

V = tensiunea de la bornele transformatorului, în gol.

Relația simplificată pentru 400 V (sarcină trifazată):

$$I_n = \text{kVA} \times 1,4$$

Standardul internațional pentru transformatoare de putere este CEI 60076.

4.7 Alegerea surselor de alimentare

Importanța menținerii neîntrerupte a alimentării cu energie electrică conduce la necesitatea utilizării unei surse de alimentare de rezervă. Alegerea și caracteristicile acestei surse alternative depind de arhitectura aleasă așa cum este descris în capitolul D.

Pentru sursele de alimentare normale alegerea se face, în general, între conectarea la o rețea publică existentă de medie sau joasă tensiune.

În practică, conectarea la o rețea publică de medie tensiune poate fi necesară acolo unde sarcinile depășesc (sau se preconizează că vor depăși) un anumit nivel - în general de ordinul a 250 kVA, sau în condițiile în care calitatea serviciului cerut este mai mare decât cea normală disponibilă într-o rețea de joasă tensiune.

Mai mult, dacă instalația conectată la rețeaua de joasă tensiune este posibil să cauzeze perturbații consumatorilor învecinați, autoritatea furnizoare poate propune alimentarea din rețeaua de medie tensiune.

Alimentarea din rețeaua de medie tensiune poate avea câteva avantaje importante; de fapt, un consumator pe medie tensiune:

- nu va fi afectat de posibile perturbații produse de alți consumatori, așa cum se întâmplă în cazul consumatorilor pe joasă tensiune;
- poate alege orice sistem de tratare a neutrului pe partea de joasă tensiune;
- are o gamă mai largă de alegere a tarifelor;
- poate suporta creșteri masive de putere.

Trebuie menționat totuși faptul că:

■ consumatorul este proprietarul stației MT/JT și, în unele țări, acesta trebuie să suporte cheltuielile de construcție și echipare. Autoritatea furnizoare poate, în anumite cazuri să participe la această investiție, relativ la linia de medie tensiune, de exemplu;

■ o parte din costurile de conectare pot fi recuperate, de exemplu de la un alt consumator care se va conecta ulterior la respectiva stație;

■ consumatorul are acces doar la partea de joasă tensiune a instalației, accesul la partea de medie tensiune fiind rezervat doar personalului calificat al autorității furnizoare (citirea contoarelor, diverse manevre, etc.). Totuși, în anumite țări întreruptorul de medie tensiune (sau separatorul cu fuzibile) poate fi manevrat de consumator;

■ tipul și amplasarea postului de transformare se vor decide de comun acord între consumator și autoritatea furnizoare.

Capitolul B

Conectarea la rețeaua de distribuție de medie tensiune

Cuprins

1	Alimentarea cu energie la medie tensiune	B2
	1.1 Caracteristicile alimentării cu energie din rețeaua de distribuție de medie tensiune	B2
	1.2 Diferite tipuri de alimentări la medie tensiune	B11
	1.3 Aspecte operaționale ale rețelelor de distribuție de medie tensiune	B12
2	Procedura de instalare a unui post de transformare	B14
	2.1 Informații preliminare	B14
	2.2 Studiu de soluție	B15
	2.3 Aplicare	B15
	2.4 Punerea în funcțiune	B15
3	Aspectul protecțiilor	B16
	3.1 Protecția împotriva șocurilor electrice	B16
	3.2 Protecția transformatoarelor și circuitelor	B17
	3.3 Interblocaje și operații condiționate	B19
4	Post de transformare tip abonat cu măsura pe JT	B22
	4.1 General	B22
	4.2 Alegerea celulelor	B22
	4.3 Alegerea celulei pentru protecția transformatorului	B25
	4.4 Alegerea transformatorului MT/JT	B25
5	Post de transformare tip abonat cu măsura pe MT	B30
	5.1 General	B30
	5.2 Alegerea celulelor	B32
	5.3 Funcționarea în paralel a transformatoarelor	B33
6	Componenta diferitelor tipuri de posturi de transformare	B35
	6.1 Diferite tipuri de posturi de transformare	B35
	6.2 Posturi de transformare de interior	B35
	6.3 Posturi de transformare de exterior	B37

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

Până acum, nu există nici o înțelegere internațională relativ la limitele precise de definire a “mediei” tensiuni.

Nivelele de tensiune care sunt considerate ca “medii” în unele țări, sunt denumite “înalte” în altele.

În acest capitol, rețelele de distribuție ce funcționează la tensiuni de 1000 V sau mai mici sunt considerate ca sisteme de Joasă Tensiune (JT), în timp ce sistemele de distribuție a energiei electrice care necesită un nivel superior de tensiune, pentru alimentarea prin transformare a rețelilor de joasă tensiune, vor fi denumite sisteme de Medie Tensiune (MT).

Din rațiuni economice, tensiunea nominală limită a sistemelor de distribuție de MT, definite mai sus, depășește rareori valoarea de 35 kV.

În România, acest nivel de tensiune se numește Medie Tensiune - MT.

Principalii parametri care caracterizează un sistem de alimentare cu energie electrică sunt:

- Tensiunea nominală și nivelele de izolație corespunzătoare;
- Curentul de scurtcircuit;
- Curentul nominal al receptoarelor care fac parte din instalație;
- Sistemul de tratare a neutrului.

1.1 Caracteristicile alimentării cu energie din rețeaua de distribuție de medie tensiune

Tensiunea nominală și nivelele de izolație nominale

Tensiunea nominală a unui sistem sau a unui echipament este definită în CEI 60038 ca “tensiunea la care un sistem sau un echipament este proiectat și pentru care sunt definite caracteristicile funcționale sigure”. Strâns înrudită cu tensiunea nominală este “cea mai ridicată tensiune a echipamentului” care se referă la nivelul de izolație la frecvența normală de lucru și la care alte caracteristici se pot referi în recomandări relevante pentru echipament.

“Cea mai ridicată tensiune pentru echipament” este definită în CEI 60038 ca:

“valoarea maximă a tensiunii la care echipamentul poate fi utilizat, care apare în condiții normale de funcționare, oricând și în orice punct al sistemului. Ea exclude tensiunile tranzitorii, cum ar fi cele datorate proceselor de comutație și variațiilor temporare de tensiune”.

Note:

1 - Tensiunea cea mai mare pentru un echipament este indicată numai pentru tensiuni nominale ale sistemului mai mari de 1000 V. Se înțelege că, în mod particular pentru anumite tensiuni nominale ale sistemului, funcționarea normală a echipamentului nu poate fi asigurată până la valoarea celei mai înalte tensiuni a echipamentului, având în vedere caracteristicile specifice de tensiune, cum ar fi pierderile condensatoarelor, curentul de magnetizare al transformatoarelor, etc. În asemenea cazuri, recomandările standardelor CEI trebuie să specifice limita la care poate fi asigurată operarea normală a echipamentului.

2 - Se înțelege că pentru echipamentul care va fi utilizat în sisteme a căror tensiune nominală nu depășește 1000 V, referirile trebuie specificate numai la tensiunile nominale ale sistemului, atât din punct de vedere operațional, cât și pentru izolație.

3 - Definiția pentru “cea mai ridicată tensiune a echipamentului” dată în CEI 60038 este identică cu cea dată în CEI 60694 pentru “tensiunea nominală”. CEI 60694 se referă la aparate de comutație pentru tensiuni nominale mai mari de 1000 V.

Valorile din **Tabelul B1**, provenite din CEI 60038, prezintă cele mai utilizate nivele standard de distribuție la medie tensiune și arată tensiunile nominale ce corespund valorilor standard ale celei mai ridicate tensiuni a echipamentului (tensiune maximă de serviciu).

Aceste sisteme sunt în general sisteme trifazate cu trei conductoare în afara cazurilor unde este indicat altfel.

Valorile indicate în paranteze ar trebui considerate ca valori nerecomandabile (de evitat). Este de dorit ca aceste valori să nu fie utilizate pentru sisteme noi ce vor fi construite în viitor.

Seria I (pentru rețele de 50 și 60 Hz)

Tensiunea nominală a sistemului (kV)		Cea mai ridicată tensiune pentru echipament (kV)
3,3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾	3,6 ⁽¹⁾
6,6 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	7,2 ⁽¹⁾
11	10	12
-	15	17,5
22	20	24
33 ⁽²⁾	-	36 ⁽²⁾
-	35 ⁽²⁾	40,5 ⁽²⁾

(1) Aceste valori nu ar trebui utilizate pentru sisteme de distribuție publică.

(2) Este în discuție unificarea acestor valori.

Tab. B1: Relațiile între tensiunea nominală a sistemului și tensiunea maximă pentru echipament.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

Este recomandat ca în orice țară raportul dintre două tensiuni nominale adiacente să nu fie mai mic de doi.

Pentru asigurarea unei protecții adecvate a echipamentului împotriva supratensiunilor temporare și împotriva tensiunilor tranzitorii datorate loviturilor de trăsnet, proceselor de comutație și condițiilor de defect ale sistemului, etc., toate echipamentele de medie tensiune trebuie să aibă specificat nivelul nominal de izolație.

Aparate de comutație

Tabelul B2 de mai jos, este extras din CEI 60694 și prezintă valorile standard ale tensiunilor de ținere la impuls. Alegerea dintre valorile din Lista 1 și cele din Lista 2 depinde de gradul de expunere la supratensiuni atmosferice și de comutație⁽¹⁾, de tipul sistemului de tratare a neutrlui și de tipul aparatului de protecție la supratensiune, etc. (mai multe indicații sunt date în CEI 60071).

Tensiune nominală U (valoare eficace)	Tensiune nominală de ținere la impuls de trăsnet (valoare de vârf)				Tensiune nominală de ținere la impuls de scurtă durată de frecvență ind. (valoare eficace)	
	Lista 1		Lista 2		La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație (kV)	Peste distanța de izolare (kV)
	La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație (kV)	Peste distanța de izolare (kV)	La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație (kV)	Peste distanța de izolare (kV)		
(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
3,6	20	23	40	46	10	12
7,2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17,5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80
52	-	-	250	290	95	110
72,5	-	-	325	375	140	160

Notă: Tensiunile de ținere "peste distanța de izolație" sunt valabile numai pentru aparatul de comutație unde distanțele între contactele deschise trebuie să îndeplinească cerințele de securitate pentru separatoare.

Tab. B2: Niveluri de izolație nominală ale aparatului de comutație.

Ar trebui notat că, pentru valorile de tensiune citate, nu se dau valori ale supratensiunii de comutație, deoarece supratensiunile datorate proceselor de comutație sunt mai puțin periculoase la aceste valori de tensiune decât cele datorate supratensiunilor atmosferice.

Transformatoare

Tabelul B3 de mai jos, este extras din CEI 60076-3.

Semnificația listei 1 și a listei 2 este aceeași cu cea din tabelul aparatelor de comutație, de exemplu alegerea depinde de gradul de expunere la lovitura de trăsnet, etc.

Tensiunea cea mai mare pentru echipament (valoare eficace)	Tensiune nominală de ținere la impuls de scurtă durată de frecvență industrială Um (valoare eficace)	Tensiune nominală de ținere la impuls de trăsnet (valoare de vârf)	
		Lista 1 (kV)	Lista 2 (kV)
(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
≤ 1,1	3	-	-
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12	28	60	75
17,5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170
52	95	250	-
72,5	140	325	-

(1) Aceasta înseamnă că, în principiu, Lista 1 se aplică în general aparatului utilizat în rețele de cabluri subterane în timp ce Lista 2 este utilizată pentru aparatul folosit în rețelele electrice aeriene.

Tab. B3: Niveluri de izolație nominală ale transformatoarelor.

Standardele naționale ale unei anumite țări sunt în mod obișnuit elaborate să includă doar unul sau două nivele de tensiune, curent și niveluri de defect, etc.

Un întrerupător automat (sau o siguranță fuzibilă, într-un domeniu limitat al tensiunii) este singura formă de aparat de comutație capabilă de întrerupere sigură a valorilor foarte ridicate de curent în cazul defectelor de scurtcircuit ce apar într-o rețea electrică de distribuție.

Alte componente

Este evident că performanțele izolației altor componente de MT asociate cu aceste elemente majore, cum sunt de exemplu izolatoarele de sticlă sau porțelan, cablurile de MT, transformatoarele de măsură, etc, trebuie să fie compatibile cu cele ale aparatului de comutație și ale transformatoarelor menționate mai sus. Tipurile de încercări pentru aceste elemente sunt date în publicațiile CEI corespunzătoare.

Notă generală:

Standardele CEI sunt gândite în sensul unei aplicabilități universale și, în consecință, cuprind un număr mare de nivele de tensiune și de curent.

Acestea reflectă practicile diferite adoptate în țări cu diferite condiții meteorologice, geografice și economice. Standardele naționale ale unei anumite țări sunt în mod obișnuit elaborate să includă doar unul sau două valori ale tensiunii, curentului și curentului de defect, etc.

Curentul de scurtcircuit

Valorile standard ale capacității de întrerupere a curentului de scurtcircuit pentru un întrerupător sunt exprimate în mod normal în kilo-amperi (kA).

Aceste valori se referă la condiții de scurtcircuit trifazat și se exprimă ca o medie a valorilor eficace ale componentei de c.a. a curentului în fiecare din cele 3 faze.

Pentru întreruptoarele de tensiuni nominale considerate în acest capitol, **Tabelul B4** prezintă valorile standard ale curentului de rupere la scurtcircuit.

kV	3,6	7,2	12	17,5	24	36	52
kA	8	8	8	8	8	8	8
(eficace)	10	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	16	16	16	16	16	16	20
	25	25	25	25	25	25	
	40	40	40	40	40	40	
			50				

Tab. B4: Valorile standard ale curentului de rupere la scurtcircuit a întreruptoarelor.

Calculul curenților de scurtcircuit

Regulile pentru calculul curenților de scurtcircuit într-o instalație electrică sunt prezentate în standardul CEI 60909.

Calculul curenților de scurtcircuit se poate transforma într-o sarcină dificilă când instalația este complicată.

Utilizarea unor programe de calcul poate accelera acest proces.

Acest standard general, aplicabil pentru toate sistemele de alimentare, radiale sau buclate, 50 sau 60 Hz și până la 550 kV, este foarte precis și conservator.

El poate fi utilizat pentru diferitele tipuri de scurtcircuite (simetrice sau asimetrice) care pot apărea într-o instalație electrică:

- scurtcircuit trifazic (toate trei fazele), în general tipul care produce cei mai importanți curenți;
- scurtcircuit bifazic (între două faze), curenții sunt mai mici decât în cazul precedent;
- scurtcircuit bifazic cu punere la pământ (între două faze și pământ);
- punere la pământ (între o fază și pământ), cel mai frecvent tip (80% din cazuri).

La apariția unui defect, curenții tranzitorii de scurtcircuit sunt o funcție de timp și conțin două componente (vezi **Fig. B5**):

- o componentă alternativă, descrescând către o valoare stabilă, în funcție de constanta de timp a mașinilor electrice aflate în rotație;
- o componentă continuă, descrescând către zero, cauzată de creșterea bruscă de curent, care este funcție de impedanța circuitului.

Din punct de vedere practic trebuie să definim valorile curenților de scurtcircuit care se utilizează la alegerea echipamentelor și a sistemelor de protecții:

- I''_k : valoarea eficace a curentului inițial simetric;
- I''_b : valoarea eficace a curentului simetric întrerupt de aparatul de comutație când primul pol deschide la t_{min} (temporizare minimă);
- I_k : valoarea eficace a curentului stabil simetric;
- I_p : valoarea maximă instantanee a curentului la primul vârf;
- I_{DC} : valoarea instantanee a componentei continue a curentului în momentul întreruperii (la t_{min}).

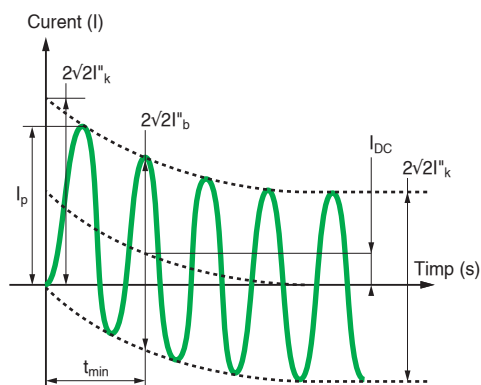


Fig. B5: Reprezentare grafică a curentului de scurtcircuit conform CEI 60909.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

B5

Curenții sunt identificați prin indicii 3, 2, 2E, 1, depinzând de tipul scurtcircuitului respectiv trifazic, bifazic, bifazic cu pământul, fază cu pământul.

Metoda, bazată pe teorema superpoziției Thevenin și descompunerea în componente simetrice, constă în aplicarea în punctul de scurtcircuit a unei surse echivalente de tensiune în vederea determinării curentului. Calculul se efectuează în trei pași.

■ Definirea sursei echivalente de tensiune de aplicat la punctul de defect.

Reprezintă tensiunea existentă înainte de defect și este definită ca și tensiunea nominală multiplicată cu un factor care ia în considerare variațiile sursei, comutatoarele de ploturi sub sarcină ale transformatoarelor și comportarea subtranzitorie a mașinilor.

■ Calcularea impedanțelor, așa cum se văd din punctul de defect, pe fiecare ramură ce ajunge în punctul de defect. Pentru sistemele de secvență pozitivă și negativă, calculul nu ia în considerare capacitățile liniei și admitanțele sarcinilor nerotative, montate în paralel.

■ Odată ce tensiunea și impedanța sursei este definită, se calculează valorile caracteristice, minime și maxime, ale curenților de scurtcircuit.

Valorile diferiților curenți în punctul de defect sunt calculate utilizând:

■ ecuațiile furnizate;

■ o sumă a curenților care circulă prin ramurile conectate la nod:

□ I''_k : (vezi Fig. B6 pentru calculul I''_k , unde factorul de tensiune c este definit de standard; sumă algebrică sau geometrică),

□ $I_p = \kappa \times 2 \times I''_k$, unde κ este mai mic decât 2 depinzând de raportul R/X al impedanței de secvență directă pentru ramura dată; suma vârfurilor,

□ $I_b = \mu \times q \times I''_k$, unde μ și q sunt mai mici decât 1, depinzând de generatoare și de motoare și de curentul minim temporizat la întrerupere; sumă algebrică,

□ $I_k = I''_k$ când defectul este departe de generator,

□ $I_k = \lambda \times I_r$, pentru un generator, unde I_r este curentul nominal al generatorului și λ este un factor depinzând de inductanța sa de saturație; sumă algebrică.

Tipul scurtcircuitului	I''_k	
	Situație generală	Defecte îndepărtate
3 faze	$\frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_1}$	$\frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_1}$
2 faze	$\frac{c U_n}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{c U_n}{2Z_1}$
2 faze și pământ	$\frac{c U_n \sqrt{3} Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{Z_1 + 2Z_0}$
Fază și pământ	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{c U_n \sqrt{3}}{2 Z_1 + Z_0}$

Tab. B6: Curentul de scurtcircuit conform CEI 60909.

Caracterizare

În sistem există două tipuri de echipamente, în funcție de reacția la apariția unui defect.

Echipamente pasive

Această categorie cuprinde toate echipamentele care, datorită funcției lor, trebuie să aibă capacitatea de transport atât a curenților normali cât și a curenților de scurtcircuit. Aceste echipamente includ cablurile, liniile aeriene, barele, separatoarele, separatoarele de sarcină, transformatoarele, reactanțele serie și condensatoarele, transformatoarele de măsură.

Pentru aceste echipamente capacitatea de a rezista distrugerilor provocate de un scurtcircuit este definită în termeni de:

■ Rezistența electrodinamică ("curent de ținere la valoarea de vârf"; valoarea de vârf a curentului exprimată în kA), caracterizând rezistența mecanică la solicitări electrodinamice

■ Rezistența termică ("curent de ținere de scurtă durată"; valoare eficace exprimată în kA pentru durate între 0,5 și 3 secunde, cu valoare mai des întâlnită de 1 secundă), caracterizând disiparea de căldură maxim admisă.

B6

Echipamente active

Această categorie cuprinde echipamentele desemnate să elimine curenții de scurtcircuit adică întreruptoarele automate și fuzibilele. Această proprietate este exprimată prin capacitatea de rupere și, dacă este nevoie, de capacitatea de închidere pe scurtcircuit la apariția unui defect.

■ Capacitatea de rupere (vezi Fig. B7)

Caracteristica de bază a unui dispozitiv destinat să întrerupă curenții de defect este curentul maxim (valoare eficace exprimată în kA) pe care este capabil să-l întrerupă în condiții specifice definite de standarde; standardul CEI se referă la valoarea eficace a componentei periodice a curentului de scurtcircuit. În alte standarde, valoarea eficace a sumei dintre componenta periodică și componenta aperiodică este specificată, caz în care este vorba de "curent asimetric". Capacitatea de rupere depinde de alți factori ca:

- tensiune,
- raportul R/X al circuitului de întrerupt,
- frecvența naturală a sistemului de alimentare,
- numărul de deschideri la curent maxim, de exemplu ciclul D - I/D - I/D (D - deschidere, I - închidere)
- starea dispozitivului după test.

Capacitatea de rupere este o caracteristică dificil de definit și, în consecință, nu trebuie să surprindă faptul că aceluiși aparat i se pot asocia diferite capacități de rupere în funcție de standardul în care sunt definite.

■ Capacitatea de închidere pe scurtcircuit

În general această caracteristică este implicit definită de capacitatea de rupere deoarece un aparat trebuie să închidă pe un curent pe care îl poate întrerupe. Câteodată capacitatea de închidere trebuie să fie mai mare, de exemplu pentru întreruptoare automate care protejează generatoare.

Capacitatea de închidere este definită în funcție de valoarea de vârf (exprimată în kA) deoarece primul vârf asimetric este cel mai solicitant din punct de vedere electrodinamic.

De exemplu, conform standardului CEI 62271-100, un întreruptor automat utilizat într-un sistem energetic cu frecvența de 50 Hz trebuie să fie capabil să închidă pe o valoare de vârf a curentului egală cu 2,5 ori valoarea eficace a curentului de rupere (2,6 ori pentru sistemele de 60 Hz).

Capacitatea de închidere mai este cerută pentru separatoare de sarcină și separatoare, chiar dacă aceste dispozitive nu sunt capabile să întrerupă curentul.

■ Curentul de rupere la scurtcircuit prezumat

Anumite dispozitive au capacitatea de a limita curentul de defect ce urmează să fie întrerupt.

Capacitatea lor de rupere este definită ca maximum curentului de scurtcircuit prezumat care s-ar fi dezvoltat în timpul unui scurtcircuit net între terminalele amonte ale dispozitivului.

Caracteristicile diferitelor dispozitive

Funcțiunile diferitelor dispozitive ce întrerup curenți și principalele lor caracterizări sunt prezentate în Tabelul B8.

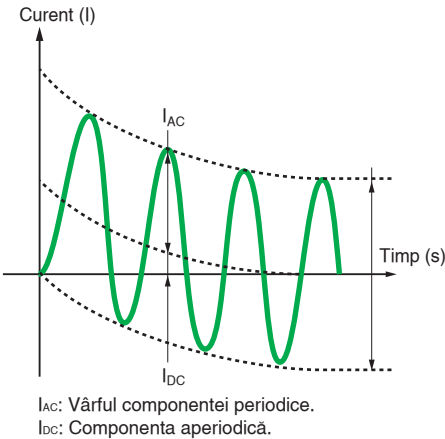


Fig. B7: Curentul de rupere nominal al unui întreruptor automat în caz de scurtcircuit, conform CEI 60056.

Dispozitiv	Separare vizibilă între două rețele sub tensiune	Condiții de manevrare		Caracteristici principale
		Normale	Defect	
Separator	Da	Nu	Nu	Separare vizibilă longitudinală
Întreruptor	Nu	Da	Nu	Capacitate de rupere și de închidere a sarcinii
Separator de sarcină	Nu	Da	Nu	Capacitate de închidere pe scurtcircuit
Contactor	Nu	Da	Nu	Capacitate de rupere și de închidere a curentului nominal Capacitate de rupere și de închidere maximă Caracteristici de durabilitate
Întreruptor automat	Nu	Da	Da	Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit Capacitate de închidere a curentului de scurtcircuit
Fuzibil	Nu	Nu	Da	Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit minimă Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit maximă

Tab. B8: Funcțiile diferitelor dispozitive de întrerupere.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

Curentul nominal cel mai utilizat pentru aparatul de comutație folosit în rețelele de distribuție de MT de uz general, este de 400 A.

În România curentul nominal cel mai utilizat este de 630 A.

Curentul nominal

Curentul nominal normal este definit ca "valoarea eficace a curentului care poate fi suportat în mod continuu la frecvența nominală cu o creștere a temperaturii ce nu o depășește pe aceea specificată de standardul specific de producție".

Curenții nominali ceruți pentru aparatul de comutație sunt stabiliți în etapa de proiectare a postului de transformare.

Curentul nominal cel mai utilizat pentru aparatul de comutație folosit în rețelele de distribuție la MT de utilitate generală, este de 400 A.

În zonele industriale și în cele urbane cu o încărcare mare, uneori sunt cerute circuite nominale la 630 A.

La stațiile de alimentare principale de MT și în posturile de transformare, valorile nominale standard pentru circuitele celulelor de sosire de la transformatoare de IT, pentru întreruptoare de putere de cuplă și de bare colectoare sunt 800 A; 1250 A; 1600 A; 2500 A și 4000 A.

La posturile de transformare de MT/JT care includ un transformator cu un curent nominal în primar mai mic de 60 A (în general când puterea transformatorului este mai mică de 1000 kVA), un separator de sarcină MT asociat cu un set de 3 siguranțe fuzibile (sau o combinație similară) este în general folosită pentru controlul și protecția transformatorului, ca o alternativă mai economică la întreruptorul de putere. Pentru curenți primari mai mari (transformatoare cu putere nominală egală sau mai mare de 1000 kVA), combinația fuzibili - separator de sarcină nu asigură performanțele cerute.

Nu există tabele de valori ale curentului normal nominal recomandate de CEI pentru combinația fuzibili - separator de sarcină. Valoarea nominală actuală va fi dată de fabricantul separatorului de sarcină cu siguranțe fuzibile, în concordanță cu caracteristicile siguranței fuzibile și a datelor transformatorului, cum ar fi:

- curentul normal la MT;
- supracurentul permis și durata sa;
- vârful maxim și durata șocului de curent de magnetizare la conectarea transformatorului;
- modul de acționare a protecției și a aparatelor de comutație pe partea de MT, etc. așa cum se arată în exemplul dat în Anexa A a CEI 62271-105.

Într-o astfel de schemă, separatorul de sarcină trebuie să fie capabil să declanșeze automat, de exemplu prin rele, la valori scăzute ale curentului de defect, care trebuie să acopere (prin valori apropiate) curentul nominal minim de întrerupere al siguranțelor fuzibile de MT. În acest fel, valorile ridicate ale curentului de defect care sunt dincolo de capacitatea de rupere a separatorului de sarcină, vor fi deconectate către siguranțele fuzibile în timp ce valorile scăzute ale curenților de defect, care nu pot fi întrerupte de către siguranțele fuzibile, vor fi eliminate de către separatorul de sarcină acționat prin releu.

Influența temperaturii mediului ambiant și a altitudinii asupra curentului nominal

Valorile curentului nominal sunt atribuite pentru toate dispozitivele electrice prin care circulă curent, iar limitele superioare ale acestora sunt stabilite de creșterea temperaturii datorată puterii I^2R (Watt) disipate în conductoare (unde I = valoarea eficace a curentului, în Amperi și R = rezistența conductorului, în Ohmi), împreună cu căldura produsă prin histerezis magnetic și pierderile prin curenți turbionari la motoare, transformatoare, etc., precum și pierderilor dielectrice în cabluri și condensatoare, acolo unde este cazul.

Creșterea de temperatură peste temperatura mediului ambiant va depinde, în principal, de modul în care căldura este disipată. De exemplu, curenți mari pot fi trecuți prin înfășurările motorului electric fără a produce supraîncălziri, deoarece un simplu ventilator de răcire fixat pe axul motorului îndepărtează căldura cu aceeași rată cu care ea este produsă și astfel temperatura atinge o valoare stabilă inferioară celei care ar putea deteriora izolația și ar conduce la "arderea" motorului.

Transformatoarele cu răcire în ulei sau în aer sunt printre cele mai cunoscute exemple de asemenea tehnici de răcire forțată.

Valorile curenților nominali recomandate de CEI sunt bazate pe temperaturi normale ale aerului în climă temperată și la altitudini ce nu depășesc 1000 m, astfel încât echipamentele care depind de răcirea naturală prin radiație și convecție a aerului se vor încălzi dacă funcționează la curentul nominal la climă tropicală și/sau la altitudini ce depășesc 1000 m. În astfel de situații, echipamentele trebuiesc declassate la o valoare nominală a curentului mai mică decât cea nominală descrisă în caracteristici.

Situația transformatoarelor este reglementată în standardul CEI 60076-2.

În cazul transformatoarelor cu răcire forțată, în general este suficient să se furnizeze ecrane protectoare la radiația solară, să se mărească suprafețele radiatorului de ulei de răcire, să se mărească puterea pompelor de circulație a uleiului precum și dimensiunea ventilatoarelor de aer, pentru menținerea valorilor inițiale nominale conform CEI.

Pentru aparatul de comutație, fabricantul trebuie consultat asupra declassării corecte ce trebuie efectuată pentru condițiile de funcționare reale.

Defectele de punere la pământ la sisteme de MT pot induce valori periculoase de tensiune pe partea de JT a instalațiilor. Consumatorii de JT (și personalul de exploatare) pot fi protejați împotriva acestui pericol prin:

- limitarea mărimii curenților de punere la pământ pe partea de MT;
- reducerea rezistenței de legare la pământ a posturilor de transformare până la cea mai mică valoare posibilă;
- crearea condițiilor de echipotențialitate între postul de transformare și instalația consumatorului.

Legarea la pământ

Sistemul de legare la pământ și echipamentul de împământare necesită o abordare atentă, în mod particular datorită siguranței consumatorului de JT în timpul unui scurtcircuit la pământ pe partea de MT.

Prizele de pământ

În general este preferabil, acolo unde este posibil din punct de vedere fizic, să se separe priza de pământ destinată pentru legarea la pământ a părților metalice aferente echipamentelor de MT de priza de pământ a sistemului de legare la pământ a conductorului de nul la JT. Aceasta este practica comună în sistemele de distribuție rurale, unde electrozii prizei de pământ a rețelei de JT sunt instalați la distanță de una sau două deschideri față de postul de transformare.

În multe cazuri spațiul limitat disponibil din posturile de transformare urbane împiedică o asemenea practică; de exemplu, nu există posibilitatea separării conductorului de protecție la MT de cel de JT pentru evitarea transferurilor de tensiune (posibil periculoase) în sistemul de JT.

Curentul de punere la pământ

Valorile curentului de punere la pământ la MT sunt în general (mai puțin acolo unde există restricții speciale în acest sens) comparabile cu acelea ale scurtcircuitului trifazat.

Acești curenți trecând prin priza de pământ vor ridica tensiunea acesteia la o valoare ridicată față de potențialul de referință.

De exemplu, un curent de punere la pământ de 10000 A ce trece printr-un electrod de împământare cu o rezistență de 0,5 Ω (rezistență deosebit de mică) îi va mări tensiunea la 5000 V.

Dacă toate părțile metalice expuse din postul de transformare sunt conectate împreună și apoi legate la priza de pământ iar electrodul (platbandă, priză de pământ) este în forma de (sau este conectat la) o plasă de conductoare situate sub podeaua postului de transformare, atunci nu este nici un pericol pentru personalul de exploatare, de vreme ce această configurație formează o cușcă echipotențială în care toate materialele conductoare de electricitate inclusiv personalul, sunt ridicate la același potențial.

Potențial transferat

De remarcat că un pericol există totuși datorită problemei cunoscute sub numele de "potențial transferat". Se va vedea în **Figura B9** că punctul neutru al înfășurării de JT a transformatorului de MT/JT este, de asemenea, conectat la priza de pământ comună a postului de transformare, astfel încât conductorul neutru, înfășurările fazelor de JT și toate conductoarele de fază sunt, de asemenea, ridicate la potențialul prizei de pământ.

Cablurile de distribuție la JT ce părăsesc postul de transformare vor transfera acest potențial instalațiilor consumatorilor. Se poate observa că nu va exista nici un defect de izolare pe partea de JT, între faze sau între o fază și conductorul de nul din moment ce toate sunt la același potențial. Totuși, este probabil ca izolația dintre faze și pământ a cablului sau a unei părți a instalației va ceda.

Soluții posibile

Primul pas pentru minimizarea pericolelor evidente ale potențialelor transferate este să se reducă mărimea curenților de punere la pământ pe partea de MT. Acestea se realizează în mod normal prin legarea la pământ a sistemelor de MT prin intermediul rezistențelor sau bobinelor de reactanță legate la conexiunile tip stea ale câtorva transformatoare⁽¹⁾, amplasate în posturile de transformare principale sau în stațiile de alimentare cu energie electrică.

Un potențial transferat relativ important nu poate fi complet evitat prin aceste mijloace, totuși o astfel de strategie a fost adoptată în câteva țări.

Instalația echipotențială de legare la pământ în spațiile corespunzătoare consumatorilor poate fi considerată la potențial zero. Totuși, dacă această instalație de legare la pământ ar fi conectată la priza de pământ a postului de transformare printr-un conductor cu impedanță mică, atunci condițiile echipotențiale existente în postul de transformare vor exista, de asemenea, la instalațiile consumatorului.

Legarea la pământ printr-o impedanță redusă

Această legătură cu impedanță de valoare scăzută este obținută prin conectarea conductorului neutru la instalația echipotențială a consumatorului și rezultatul este cunoscut ca schema TN (CEI 60364), după cum se arată în diagrama A din **Figura B10**.

Schema TN este asociată, în general, cu o schemă de protecție cu conectare la pământ multiplă, în care conductorul de nul este conectat la pământ de-a lungul lungimii sale (la fiecare al treilea sau al patrulea stâlp al liniei aeriene de distribuție, la JT) și în fiecare loc de conectare al consumatorilor.

Se poate observa, că o rețea de conductoare de nul plecând dintr-un post de transformare, fiecare din acestea fiind conectat la pământ la intervale regulate constituie, împreună cu conectarea la pământ a postului de transformare, o foarte eficientă priză de pământ, de rezistență scăzută.

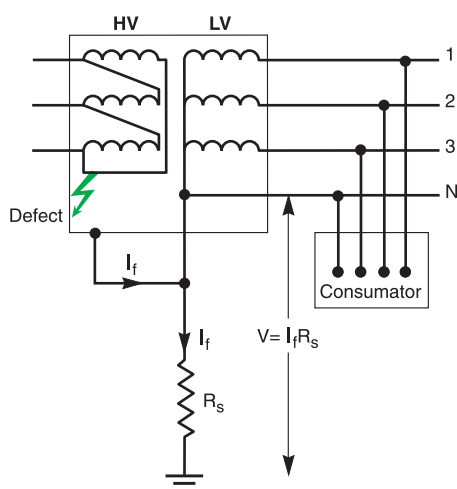
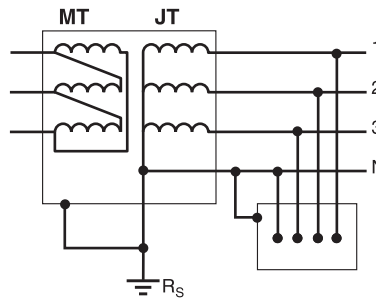
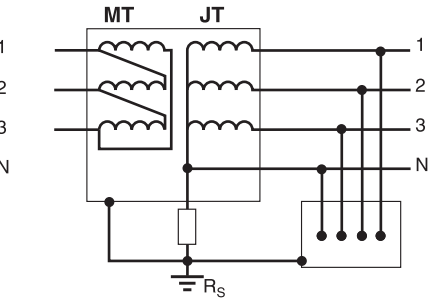
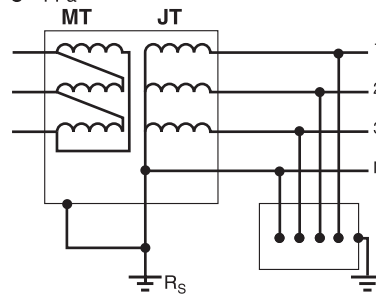
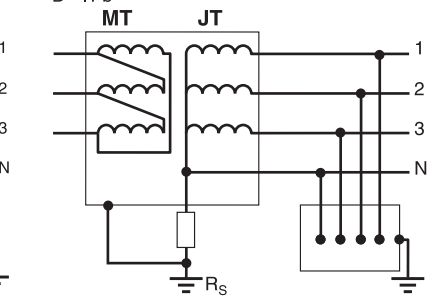
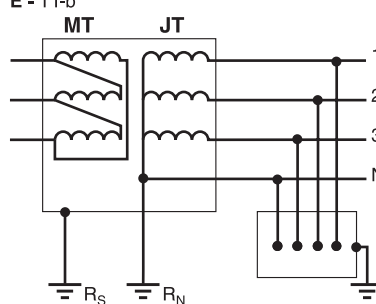
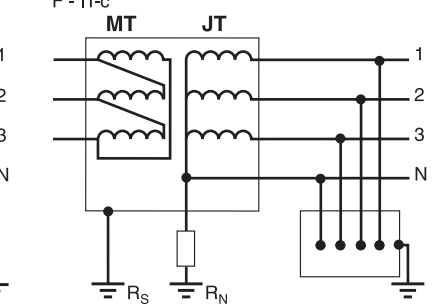


Fig. B9: Potențial transferat pe JT.

(1) Celelalte transformatoare nefiind legate la pământ. Un caz particular al limitării curentului de punere la pământ este prin intermediul bobinei Petersen.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

B9

Diagramă	Valoare R_s
<p>A - TN-a</p>  <p>B - IT-a</p> 	<p>Cazurile A și B În aceste cazuri nu este impusă o valoare particulară a rezistenței</p>
<p>C - TT-a</p>  <p>D - IT-b</p> 	<p>Cazurile C și D $R_s \leq \frac{U_w - U_o}{I_m}$ Unde U_w = tensiunea nominală de ținere la frecvență industrială pentru echipament de joasă tensiune în instalațiile consumatorului U_o = tensiunea fază-neutru în instalațiile consumatorului I_m = valoarea maximă a curentului de punere la pământ pe partea de medie tensiune</p>
<p>E - TT-b</p>  <p>F - IT-c</p> 	<p>Cazurile E și F $R_s \leq \frac{U_{ws} - U}{I_m}$ Unde U_{ws} = tensiunea nominală de ținere la frecvență industrială pentru echipament de joasă tensiune în postul de transformare U = tensiunea fază-neutru în postul de transformare pentru sistemul TT și tensiunea fază-fază în postul de transformare pentru sistemul IT I_m = valoarea maximă a curentului de punere la pământ pe partea de medie tensiune</p>

În cazurile E și F conductorul de protecție de joasă tensiune (legat împreună cu celelalte părți conductoare expuse) din postul de transformare este legat la prizele de pământ a postului de transformare și de aceea echipamentul de joasă tensiune din postul de transformare poate fi supus unei supratensiuni.

Note:

- Pentru TN-a și IT-a, părți conductoare expuse de joasă și medie tensiune din postul de transformare și cele din instalația consumatorului împreună cu noul transformatorului sunt legate împreună la prizele de pământ a postului de transformare.
 - Pentru TT-a și IT-b, părți conductoare expuse de joasă și medie tensiune din postul de transformare împreună cu noul transformatorului sunt legate la prizele de pământ a postului de transformare.
 - Pentru TT-b și IT-c, noul transformatorului este legat la pământ, separat, în afara zonei de influență a prizei de pământ a postului de transformare.
- U_w și U_{ws} sunt ambele date în CEI 60364-4-44 la valoarea de $U_o + 1200$ V, unde U_o este tensiunea nominală fază-neutru a sistemului JT.

Fig. B10: Valoarea maximă a rezistenței de dispersie a prizei de pământ într-un post de transformare MT/JT pentru asigurarea securității în timpul unui scurtcircuit cu punere la pământ pe partea de medie tensiune, pentru diferite sisteme de tratare a neutrului.

Combinarea dintre limitarea curentilor de defect la punerea la pământ, legăturile echipotențiale și sistemul de legare la pământ de rezistență redusă al postului de transformare are ca rezultat o reducere importantă a valorilor supratensiunilor și o limitare a solicitărilor pe care trebuie să le suporte izolația dintre fază și pământ pe perioada punerilor la pământ pe partea de MT, descrise mai sus.

Limitarea curentului de punere la pământ la MT și rezistența prizei de pământ a postului de transformare

Un alt sistem de legare la pământ, larg utilizat, este arătat în diagrama C a Fig. B10. Se observă că în sistemul TT, instalația de legare la pământ a consumatorului (fiind izolată față de cea a postului de transformare), constituie un potențial de referință. Asta înseamnă că, deși potențialul transferat nu va solicita suplimentar izolația dintre faze a echipamentului consumatorului, izolația dintre fază și pământ a tuturor celor trei faze va fi supusă unei supratensiuni.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

B10

Strategia în această situație este reducerea rezistenței de dispersie a prizei de pământ a postului de transformare, astfel încât valoarea standard a tensiunii de ținere timp de 5 secunde, între fază și pământ, pentru aparatele și echipamentele de JT, nu va fi depășită.

Valorile practice adoptate de o autoritate națională de furnizare a energiei electrice, la sistemele de distribuție de 20 kV, sunt următoarele:

■ curentul maxim de punere la pământ la sistemele de distribuție cu linii electrice aeriene sau combinate (linii electrice aeriene și linii electrice subterane LEA și LES) este 300 A;

■ curentul maxim de defect la pământ la sistemele subterane (LES) este 1000 A.

Relația necesară pentru determinarea valorii maxime a rezistenței prizei de legare la pământ R_s a postului de transformare, pentru a fi siguri ca tensiunea de ținere la JT nu va fi depășită, este:

$$R_s = \frac{U_w - U_o}{I_m} \text{ în Ohmi (vezi cazurile C și D din Figura B10).}$$

unde:

U_w = cea mai mică valoare standardizată (în Volți) a tensiunii de ținere de scurtă durată (5 s) pentru instalațiile și echipamentele consumatorului = $U_o + 1200 \text{ V}$ (CEI 60364-4-44)

U_o = tensiunea fază-nul (în Volți) corespunzătoare locului de conectare a consumatorului de JT

I_m = curentul maxim de defect la pământ pe partea de MT a sistemului (în Amperi). Curentul maxim de defect la pământ I_m este suma vectorială dintre curentul maxim de defect la pământ în conexiunea neutrului și curentul capacitiv nesimetric al întregii rețele.

A treia modalitate de legare la pământ, denumită în CEI 60364 ca schema "IT", este utilizată în mod obișnuit acolo unde continuitatea în alimentare cu energie electrică este esențială, de exemplu în spitale, fabrici cu proces de fabricație continuu, etc.

Principiul constă în alimentarea de la o sursă nelegată la pământ, de regulă un transformator, la care înfășurarea secundară nu este legată la pământ sau legată la pământ printr-o impedanță de valoare mare ($\geq 1000 \Omega$). În aceste cazuri, un defect de izolație, de punere la pământ, în circuitele de joasă tensiune alimentate de la înfășurările secundare va avea ca rezultat un curent de defect practic zero, sau de valoare neglijabilă, care poate să fie tolerat până când este posibil tehnologic să fie întrerupt circuitul afectat, pentru executarea reparației.

Diagramele B, D și F (Figura B10)

Arată sistemele IT în care rezistențe (de aproximativ 1000 Ω) sunt incluse în circuitul de punere la pământ a neutrului. Dacă aceste rezistențe ar fi înlăturate, astfel încât sistemul nu ar fi legat la pământ, se aplică următoarele observații.

Diagrama B (Figura B10)

Toate conductoarele de fază și neutru sunt în echilibru față de pământ la care sunt conectate prin (normal foarte mari) rezistențe de izolație și (normal foarte mici) capacități între conductoare și părțile metalice puse la pământ.

Considerând izolația ca fiind perfectă, potențialele tuturor conductoarelor de fază și neutru vor fi ridicate prin influența electrostatică până la un potențial apropiat de cel al conductoarelor echipotențiale.

În practică, din cauza numeroaselor scurgeri spre pământ ale tuturor conductoarelor active într-un număr de circuite funcționând în paralel, sistemul se comportă în mod similar cu cazul în care este prezentă o rezistență de legare la pământ a nulului; de exemplu toate conductoarele vor fi ridicate la potențialul prizei de pământ a postului de transformare.

În acest caz solicitările de supratensiune asupra izolației la JT sunt mici sau nu există.

Diagramele D și F (Figura B10)

În aceste cazuri, potențialul ridicat al sistemului de legare la pământ al postului de transformare acționează asupra izolației fazelor de JT și pe conductoarele neutre:

■ prin capacitatea dintre înfășurările de JT ale transformatorului și cuva transformatorului;

■ prin capacitatea dintre conductoarele echipotențiale din postul de transformare și conductorul cablurilor de distribuție de JT ce părăsesc postul de transformare;

■ prin căile de scurgere a curentului în izolație, în fiecare caz.

În spațiile din afara zonei de influență a sistemului de legare la pământ al postului de transformare, prezintă importanță capacitățile între conductoare și pământ la potențial zero (capacitățile dintre miezuri nu sunt relevante - toate miezurile sunt la același potențial).

Rezultatul este în sine un divizor de tensiune capacitiv, unde fiecare "condensator" este șuntat prin căile de scurgere rezistive.

În general, capacitățile față de pământ ale cablurilor și conductoarelor din instalațiile de JT sunt mult mai mari, iar rezistențele izolației la pământ sunt mult mai mici decât acelea ale parametrilor corespunzători la posturile de transformare, astfel încât solicitările dielectrice importante care apar în postul de transformare, sunt între cuva transformatorului și înfășurarea de JT.

Creșterea de potențial în instalațiile consumatorului nu constituie o problemă acolo unde nivelul curentului de punere la pământ pe partea de MT este limitat, așa cum a fost menționat anterior.

Toate transformatoarele conectate în sistem IT, chiar dacă punctul neutru este izolat sau conectat la pământ printr-o impedanță de valoare mare, sunt în practică prevăzute cu un aparat de limitare a supratensiunii care va conecta în mod automat punctul neutru direct la pământ dacă o supratensiune se apropie de tensiunea de ținare a izolației sistemului de JT.

În completarea elementelor menționate mai sus, sunt prezentate în subparagraful 3.1 mai multe moduri în care pot apare aceste supratensiuni.

Acest tip de defect de punere la pământ este destul de rar și atunci când apare este repede detectat și eliminat de către sistemul de declanșare automată a întreruptorului dintr-o instalație proiectată și construită corespunzător.

Siguranța în exploatare în situațiile de potențial ridicat depinde în întregime de dispunerea zonelor echipotențiale ce trebuie stabilite în mod corespunzător. Acestea se bazează în principal pe utilizarea unor conductoare de cupru în formă de grilaj, conectate la bare de oțel cuprat, dispuse vertical.

Criteriul echipotențialității ce trebuie respectat este cel menționat în capitolul F referitor la protecția împotriva șocului electric prin contact indirect, definit astfel: potențialul dintre două părți metalice expuse care pot fi atinse simultan de orice parte a corpului uman nu trebuie, în nici o circumstanță, să depășească 50 V în condiții uscate sau 25 V în condiții de umiditate.

Măsuri speciale ar trebui luate la limita zonelor echipotențiale, pentru a evita diferențe mari de potențial pe suprafața solului, care pot ajunge la valori periculoase ale "tensiunii de pas".

Problema este în strânsă legătură cu legarea la pământ de protecție a gardurilor de împrejurire și este prezentată în detaliu în subcapitolul 3.1.

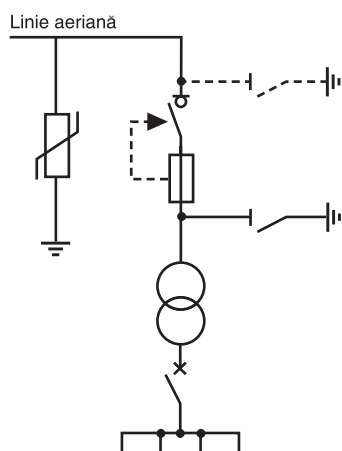


Fig. B11: Rețea radială.

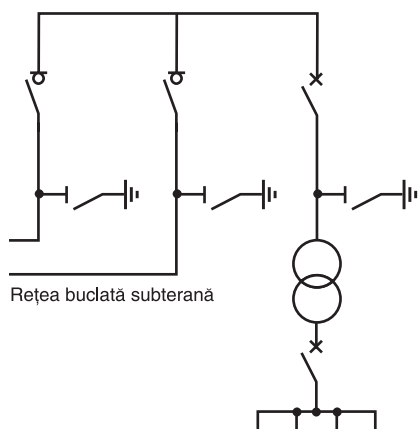


Fig. B12: Rețea buclată.

(1) Cuprul este electronegativ față de majoritatea celorlalte metale și astfel rezistă la coroziune.

(2) O rețea buclată este un distribuitor continuu în formă de buclă închisă la ambele capete, care începe și se termină pe aceleași bare. Fiecare capăt al buclei este controlat de către un întreruptor. Pentru a îmbunătăți flexibilitatea operațională adeseori barele sunt divizate în două secțiuni de un întreruptor în poziție normal deschis și fiecare capăt al buclei este conectat la o secțiune diferită.

Un interconector este un circuit continuu care conectează barele colectoare din două posturi de transformare. Fiecare capăt al unui interconector este controlat de obicei de un întreruptor.

Un interconector-distribuitor este un interconector care alimentează unul sau mai multe posturi de transformare de-a lungul traseului.

1.2 Diferite tipuri de alimentări la medie tensiune

Următoarele scheme de alimentare cu energie electrică sunt adoptate în mod obișnuit în concordanță cu tipul rețelei de medie tensiune.

Alimentarea în vârf (radială)

Postul de transformare este alimentat de un singur circuit de la un distribuitor de MT (cablu sau linie). În general partea de MT este conectată într-o celulă conținând un separator de sarcină cu siguranțe fuzibile de protecție și separator de punere la pământ, după cum se observă în Fig. B11.

În unele țări un transformator montat pe un stâlp fără aparate de comutație sau siguranțe fuzibile la MT constituie "postul de transformare". Acest tip de instalație de MT este foarte comun în zonele rurale.

Aparatul de protecție și de comutație este plasat la mare distanță față de transformator și controlează în general o linie electrică aeriană principală, de la care un număr de astfel de linii secundare sunt conectate în derivație.

Alimentarea în buclă

Echipamentele de rețea de tip "inel principal" (Ring Main Units - RMU) sunt în mod normal conectate să formeze un inel principal la MT⁽²⁾ sau un distribuitor-interconector⁽²⁾ astfel încât barele colectoare aferente RMU transportă tot curentul inelului principal sau al interconectorului (Fig. B12).

Tipul RMU constă din trei compartimente integrate astfel încât să formeze un singur ansamblu.

Acestea sunt:

- 2 celule de intrare, fiecare conținând câte un separator de sarcină și un separator de punere la pământ;
- o celulă de ieșire și protecție conținând separator de sarcină plus siguranțe fuzibile sau o combinație separator de sarcină echipat cu siguranțe fuzibile sau un întreruptor de putere și un separator de linie, împreună cu un separator de punere la pământ.

Toate dispozitivele de manevrare în sarcină și separatoarele de punere la pământ sunt dimensionate să reziste la solicitările produse de curentul de scurtcircuit.

Această schemă de funcționare pune la dispoziția utilizatorului două surse de alimentare cu energie electrică, în felul acesta reducându-se în mod considerabil probabilitatea de întrerupere a alimentării, datorată defectelor din sistem sau unor manevre greșite din partea furnizorului de energie, etc.

Schemele în inel au ca principal domeniu de aplicație distribuția publică, prin rețelele de cabluri subterane, din zonele urbane.

Dublă alimentare

Acolo unde este posibil ca alimentarea pe partea de MT să fie făcută prin două linii sau cabluri de la același sistem de bare colectoare ale unui post de transformare, se utilizează în mod obișnuit o schemă similară cu cea a RMU (vezi Fig. B13). Principala diferență operațională dintre această schemă și cea a RMU este că cele două căi de intrare sunt interblocați, astfel încât doar o cale de intrare poate fi conectată la un moment dat (adică conectarea unei căi împiedică conectarea celeilalte).

La întreruperea alimentării cu energie electrică, calea de intrare care era în funcțiune trebuie să fie deconectată și celălalt separator de sarcină (anterior în poziția "deschis") poate fi conectat.

Această secvență poate fi executată manual sau automat.

Acest tip de schemă de conexiune este folosită în mod particular în rețelele cu o densitate mare a consumatorilor și în zonele urbane cu o rapidă extindere, alimentate de către sisteme de cabluri subterane de MT.

1.3 Aspecte operaționale ale rețelilor de distribuție de medie tensiune

Linii electrice aeriene (LEA)

Vânturile puternice, formarea chiciurii, etc., pot provoca atingerea între ele a conductoarelor liniilor aeriene (LEA), având ca efect producerea unui scurtcircuit momentan (nepermanent).

Defectele de izolație datorate spargerii izolatoarelor de sticlă sau porțelan din cauza unor particule purtate de vânt sau a utilizării neglijente a armamentului, etc., precum și poluarea masivă a suprafețelor izolatoarelor, pot avea ca efect un scurtcircuit la pământ (monofazat).

Multe din aceste avarii dispar în mod spontan. De exemplu, în condiții uscate, izolatoarele sparte pot rămâne adeseori în serviciu fără a fi detectate, dar este posibil să contorneze (ex. către o structură de fixare metalică) pe durata unei ploi torențiale. Mai mult, suprafețele poluate produc în general conturnări doar în condiții de umiditate.

Trecerea curentului de defect ia aproape în mod invariabil forma unui arc electric, a cărui căldură intensă usucă calea de curent și, într-o anumită măsură, restabilește proprietățile izolatoare. În acest timp, de obicei, aparatura de protecție acționează pentru a îndepărta defectul, de ex. siguranțele fuzibile s-au ars sau întreruptorul a declanșat.

Experiența arată că, în marea majoritate a cazurilor, realimentarea circuitului, prin înlocuirea siguranțelor fuzibile sau prin închiderea întreruptorului, va avea succes. Din acest motiv, a fost posibil să se îmbunătățească considerabil continuitatea serviciului în cazul rețelilor de distribuție de MT care conțin linii electrice aeriene prin aplicarea unei scheme de reanclanșare automată rapidă (RAR) a întreruptorului care comandă un astfel de circuit.

Aceste scheme automate permit un număr de operații de reanclanșare, dacă prima încercare eșuează, cu un timp reglabil de întârziere între încercările succesive (pentru a permite deionizarea aerului la locul de defect), înainte ca întreruptorul să fie definitiv deconectat după toate încercările nereușite (în general 3).

Alte îmbunătățiri în continuitatea alimentării sunt obținute prin utilizarea separatoarelor de linie acționate de la distanță și prin utilizarea unor separatoare de izolare automată, ce funcționează împreună cu un întreruptor cu reanclanșare automată rapidă (în pauză de RAR).

Această ultimă schemă este exemplificată prin ultima parte a Figurii B14 (pagina următoare).

Principiul este următorul:

Dacă după două încercări de reanclanșare circuitul nu se restabilește și defectul se dovedește a fi permanent separatorul se va deschide (în a doua pauză de RAR) și va izola o secțiune a rețelei, înainte ca a treia (și ultima) încercare de reanclanșare să aibă loc.

Există, deci, două posibilități:

- defectul este în secțiunea care a fost izolată de separatorul automat de linie (ALS, Automatic Line Switch) și alimentarea este restabilită pentru ceilalți consumatori conectați la celelalte secțiuni, sau
- defectul este într-o secțiune în amonte de separator (ALS) și întreruptorul va deconecta definitiv.

O schemă prevăzută cu un astfel de separator automat (ALS) permite astfel, în eventualitatea unui defect permanent, posibilitatea restabilirii alimentării pentru o parte din consumatori.

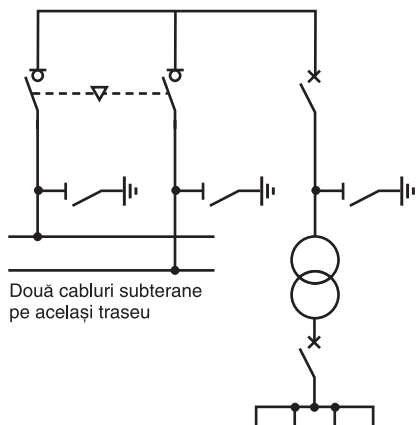


Fig. B13: Dublă alimentare.

1 Alimentarea cu energie la medie tensiune

B13

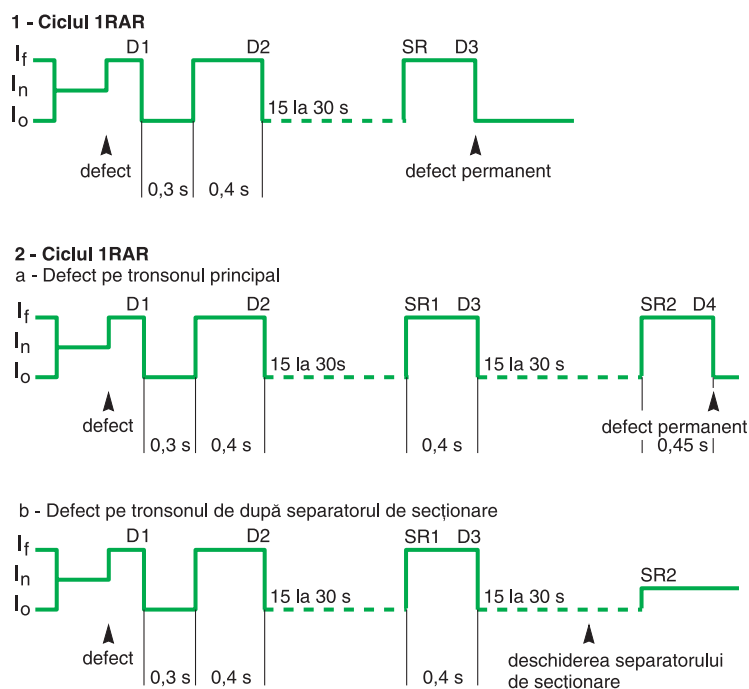


Fig. B14: Ciclu de RAR al unui întreruptor controlând o rețea aeriană radială de MT și corelat cu un separator de secționare.

În timp ce aceste măsuri au îmbunătățit considerabil fiabilitatea alimentării sistemelor cu linii electrice aeriene de MT, acolo unde se consideră necesar, consumatorii trebuie să-și ia propriile măsuri pentru a evita efectele întreruperii momentane a alimentării (între reanclanșări), cum ar fi:

- surse de energie neîntreruptibile pentru cazurile de urgență;
- sisteme de iluminat care nu necesită să fie răcite înaintea reamorsării.

Rețelele de cabluri subterane

Defectele pe rețelele de cabluri subterane sunt uneori rezultatul executării neîngrijite a lucrărilor de manșonare a cablurilor, sau de pozare a acestora, etc. dar cele mai uzuale sunt datorate deteriorărilor produse de bare metalice, ciocane pneumatice, excavatoare și așa mai departe, folosite la executarea diferitelor lucrări.

Uneori defectele de izolație apar în capetele terminale ale cablurilor datorită supratensiunii, în particular în punctele sistemului de MT în care o linie electrică aeriană este conectată cu un cablu subteran. Supratensiunea într-un asemenea caz este în general de origine atmosferică și efectele de reflexie a unei electromagnetice la cutia de joncțiune (unde impedanța circuitului se schimbă brusc) pot avea ca rezultat o supratensiune în izolația cablului, la punctul de defect. Aparatele de protecție la supratensiune, cum sunt descărcătoarele, sunt în mod frecvent instalate în astfel de puncte.

Defectele ce apar în rețelele de cabluri sunt mai puțin frecvente decât cele ce apar la sistemele de linii electrice aeriene (LEA), dar sunt aproape invariabil defecte permanente care necesită mai mult timp pentru localizare și reparare decât cele de pe LEA.

Atunci când un defect în cablu apare pe un "inel principal", alimentările pot fi repede refăcute pentru toți consumatorii, atunci când secțiunea defectă a cablului a fost determinată.

Atunci când defectul apare pe un distribuitor radial, întârzierea în localizarea defectului și realizarea reparației poate dura câteva ore și va afecta toți consumatorii situați în aval de poziția defectului.

În orice caz, dacă continuitatea în alimentare este esențială pentru toată instalația sau pentru o parte a ei, atunci trebuie prevăzută o sursă de alimentare de rezervă.

Comanda de la distanță a rețelilor de MT

Controlul de la distanță a liniilor de MT este util pentru reducerea timpilor de întrerupere în cazul unor defecte în cabluri prin reconfigurarea rapidă a rețelei. Pentru aceasta este nevoie de separatoare de sarcină motorizate, telecomandate, în anumite puncte ale rețelei. Posturile de transformare comandate de la distanță vor putea fi realimentate rapid în timp ce pentru celelalte trebuie deplasată echipa de intervenție.

Controlul centralizat bazat pe sistemele SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - Supraveghere Control și Achiziție de Date) și pe recente dezvoltări ale tehnicilor IT (Information Technology - Tehnologia informației) devine din ce în ce mai folosit în țările unde complexitatea rețelelor interconectate justifică cheltuielile.

2 Procedura de instalare a unui post de transformare

B14

Marii consumatori de electricitate sunt în mod invariabil alimentați la MT. În sistemele de JT, funcționând la 120/208 V (3 faze, 4 conductoare), o sarcină de 50 kVA poate fi considerată ca fiind "mare", în timp ce în sistemele trifazate la 240/415 V un consumator "mare" poate avea o sarcină de 100 kVA. Ambele sisteme de distribuție la JT sunt obișnuite în multe părți ale lumii. Este de semnalat faptul că CEI recomandă un standard "mondial" de 230/400 V pentru sistemele trifazate cu 4 conductoare. Acesta reprezintă un nivel de compromis și va permite sistemelor existente care funcționează la 220/380 V și la 240/415 V (sau la alte valori apropiate acestora) să se pună de acord cu standardul propus, prin ajustarea dispozitivelor de reglaj de tensiune ale transformatoarelor de distribuție standard.

Distanța până la care energia trebuie să fie transportată este un factor suplimentar pentru alegerea alimentării la JT sau MT. Instalațiile pentru consumatorii rurali mici dar izolați sunt exemple evidente în acest sens.

Decizia asupra alimentării la JT sau la MT va depinde de circumstanțele locale și de o serie de considerații în sensul celor menționate mai sus și va fi impusă, în general, de către autoritatea de alimentare cu energie electrică a zonei respective.

Atunci când a fost luată decizia de alimentare cu energie electrică la MT, există două soluții constructive realizabile conform următoarelor proceduri:

(1) Furnizorul de energie electrică construiește un post de transformare standard în apropiere de zona consumatorului dar transformatorul este situat într-o cameră din incinta consumatorului, în apropiere de centrul de greutate al sarcinii electrice.

(2) Consumatorul își construiește și își echipează propriul post de transformare, pe domeniu privat, la care se conectează furnizorul de energie electrică cu partea de MT.

În metoda (1) furnizorul de electricitate deține postul de transformare, cablul către transformator, transformatorul precum și camera transformatorului, la care are un acces nelimitat. Camera transformatorului este construită de către consumator (pe baza planurilor și regulilor puse la dispoziție de către furnizor) și include socluri, baze pentru scurgeri de ulei, pereți și celule antifoc, plafoane, ventilație, sistem de iluminat și sistem de legare la pământ, toate trebuind să fie aprobate de către autoritatea de furnizare a energiei electrice.

Structura tarifului poate acoperi, conform unei înțelegeri, o parte a cheltuielilor necesare pentru asigurarea alimentării cu energie electrică.

În marea majoritate a situațiilor, aceleași principii se aplică în concepția și realizarea unui astfel de proiect. Următoarele note se referă la procedura nr. (2).

Încă de la primele faze ale proiectului consumatorul trebuie să pună la dispoziția furnizorului de energie electrică informații generale asupra necesităților sale.

2.1 Informații preliminare

Înainte ca orice negocieri sau discuții să poată fi inițiate cu autoritățile de furnizare a energiei electrice, următoarele elemente de bază trebuie stabilite:

Puterea maximă prezumată (kVA)

Determinarea acestui parametru este descrisă în capitolul A, și trebuie să ia în considerare posibilitatea unei cereri de introducere a unor sarcini suplimentare în viitor. Factorii care trebuie estimați în această etapă sunt:

- coeficientul de utilizare (k_u);
- coeficientul de simultaneitate (k_s).

Planurile de ansamblu și de detaliu arătând amplasarea postului de transformare propus

Planurile ar trebui să indice clar căile de acces la postul de transformare, cu posibilele restricții, de ex. coridoarele de intrare și înălțimea plafonului, împreună cu limitele posibile locale de greutate, având în vedere de asemenea că:

- personalul furnizorului de energie electrică trebuie să aibă oricând acces liber și nerestricționat la echipamentele de MT din postul de transformare;
- numai personalului autorizat și calificat al consumatorului îi este permis accesul la postul de transformare;
- există furnizori de energie electrică care cer ca partea de instalație exploatată de către ei să fie situată într-o cameră (incintă) separată față de partea de instalație exploatată de către consumator.

Gradul de continuitate în alimentare cerut

Consumatorul trebuie să estimeze consecințele unei întreruperi în alimentare, în funcție de durata sa:

- pierderi de producție;
- siguranța personalului și a echipamentului.

2 Procedura de instalare a unui post de transformare

Furnizorul de energie electrică trebuie să dea informații specifice viitorului consumator.

Furnizorul de energie electrică trebuie să aprobe oficial atât echipamentul ce va fi instalat în postul de transformare cât și metodele propuse de instalare.

După testarea și verificarea instalației de către o autoritate (în unele țări, independentă) din acest domeniu, se acordă un certificat care permite postului de transformare să fie pus în funcțiune.

2.2 Studiu de soluție

În urma informațiilor puse la dispoziție de către consumator, furnizorul de energie electrică trebuie să specifice:

Tipul alimentării cu energie electrică propus și să specifice:

- felul sistemului de alimentare: rețea cu linii electrice aeriene sau cabluri subterane;
- detalii despre schema de legături: alimentare în vârf, alimentare în buclă, alimentare dublă, etc.;
- limita de putere (kVA) și nivelul curentului de defect.

Tensiunea nominală de alimentare și a echipamentului

(Tensiunea maximă a echipamentului) existent sau viitor, depinzând de dezvoltarea sistemului.

Detalii de măsură care definesc:

- costul conectării la rețeaua de energie electrică;
- detalii tarifare (taxele fixe și tarifele de consum).

2.3 Aplicare

Înainte de începerea oricărei activități de instalare trebuie obținută o aprobare oficială de la furnizorul de energie electrică. Cererea de aprobare trebuie să includă următoarele informații:

- localizarea postului de transformare propus;
- schema monofilară a circuitelor de putere și a conexiunilor aferente, împreună cu propuneri asupra circuitelor de legare la pământ;
- detalii complete despre echipamentul electric ce va fi instalat, incluzând caracteristicile de performanță;
- dispunerea echipamentului și asigurarea componentelor de măsură;
- măsuri de îmbunătățire a factorului de putere dacă acest lucru este necesar;
- facilități pentru instalarea unor surse de alimentare de rezervă, în caz de urgență, dacă acest lucru este solicitat.

2.4 Punerea în funcțiune

Testele premergătoare punerii sub tensiune trebuie să fie trecute cu succes înainte ca autoritatea să conecteze postul de transformare la sistemul energetic. Testele de verificare includ:

- măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ;
- continuitatea tuturor conductoarelor de conectare echipotențială la pământ și de siguranță;
- inspectarea și testarea tuturor componentelor de MT;
- verificarea izolației echipamentului de MT;
- testarea rezistenței dielectrice a transformatorului în ulei (și a rigidității dielectrice a uleiului dacă este cazul);
- inspectarea și testarea instalației de JT din postul de transformare;
- verificarea tuturor interblocajelor (mecanice sau electrice) și a tuturor secvențelor de lucru automat;
- verificarea funcționării corecte a releelor de protecție și a reglajelor aferente.

Este, de asemenea, imperativ necesar să se verifice dacă tot echipamentul este furnizat astfel încât orice manevră operațională să poate fi executată în condiții sigure. La primirea certificatului de conformitate:

- personalul autorității furnizoare de electricitate va alimenta cu energie electrică echipamentul de MT și va verifica funcționarea corectă a aparaturii de măsură;
- contractorul instalației este responsabil de testarea și conectarea instalației de JT.

Când în final postul de transformare este funcțional:

- postul de transformare și tot echipamentul aparțin consumatorului;
- autoritatea furnizoare de electricitate are "controlul funcțional asupra tuturor aparatelor de comutație la MT din postul de transformare", de ex. cele două separatoare de sacină de intrare și cel corespunzător transformatorului, pe partea de MT, (sau a întreruptorului) în cazul unei scheme în inel principal, împreună cu toate separatoarele de punere la pământ aferente părții de MT;
- personalul furnizorului de electricitate are acces liber la echipamentul de MT;
- consumatorul are acces independent numai asupra separatorului de MT (sau întreruptorului de MT) corespunzător transformatorului;
- consumatorul este responsabil pentru întreținerea tuturor echipamentelor din postul de transformare și trebuie să ceară autorității furnizoare de electricitate să izoleze și să conecteze la pământ aparatajul de comutație pentru a permite desfășurarea lucrărilor de întreținere. Furnizorul de electricitate trebuie să înmâneze un permis de lucru semnat pentru personalul de întreținere al consumatorului, împreună cu informații asupra modului de realizare a distanțelor de izolare și asupra nivelului de izolație la care a fost realizată instalația.

Protecția împotriva șocurilor electrice și la supratensiuni este strâns legată de obținerea unui sistem eficient de legare la pământ (rezistență de dispersie mică) și aplicarea efectivă a principiului echipotențializării mediilor.

Subiectul relativ la protecția instalațiilor electrice industriale este foarte vast; acesta acoperă toate aspectele de siguranță a personalului și protecția împotriva deteriorării parametrilor funcționali ai echipamentului electric și ai construcțiilor aferente.

Aceste aspecte diferite ale protecției pot fi în general clasificate în concordanță cu următoarele obiective:

- protecția utilizatorilor și a animalelor împotriva pericolelor de supratensiuni și șoc electric, foc, explozii, gaze toxice, etc.;

- protecția instalațiilor, a echipamentului și componentelor sistemului electroenergetic împotriva solicitărilor datorate curenților de scurtcircuit, a supratensiunilor atmosferice (trăsnetelor) și a instabilității sistemului energetic (ieșirea din sincronism), etc.;

- protecția personalului și a echipamentului electric împotriva pericolelor de manevrare incorectă a sistemului energetic, prin folosirea interblocajelor electrice și mecanice. Toate tipurile de aparate de comutație (incluzând, de ex. comutatoarele de ploturi ale transformatoarelor și altele) trebuie să aibă definite limitele de funcționare. Aceasta înseamnă că ordinea în care diferitele tipuri de aparate de comutație pot fi închise sau deschise în condiții de siguranță, este o chestiune de importanță vitală. Dispozitivele de interblocare și circuitele de control electric analogice sunt în mod frecvent utilizate pentru a asigura concordanța strictă cu succesiunea corectă de operare.

Descrierea tehnică detaliată a numeroaselor scheme de protecție disponibile inginerilor energeticieni depășește scopul acestei lucrări, dar se speră că următoarele secțiuni se vor dovedi utile, printr-o prezentare a principiilor generale. În timp ce câteva din dispozitivele de protecție menționate au o aplicare universală, descrierile generale se vor limita doar la acelea utilizate în mod obișnuit la sistemele de MT și JT, cum au fost ele definite în subparagraful 1.1 al acestui capitol.

3.1 Protecția împotriva șocurilor electrice

Măsurile de protecție împotriva șocurilor electrice se referă la două pericole obișnuite:

- atingerea de un conductor activ, adică care este la un potențial diferit de cel al pământului în condiții normale. Aceasta se consideră riscul de “atingere directă”;
- atingerea de o parte conductoare a unui aparat care în mod normal nu este sub tensiune, dar care poate avea un potențial periculos datorită degradării izolației aparatului respectiv. Este ceea ce numim risc de “atingere indirectă”.

Ar putea fi de notat că un al treilea tip de risc de șoc electric poate să existe în apropierea prizelor de pământ la MT sau JT (sau combinate) care sunt traversate de curenți de punere la pământ. Acest risc se datorează gradientilor de potențial pe suprafața solului și este denumit risc al “tensiunii de pas”; curentul de șoc intră printr-un picior și se scurge prin celălalt, fiind periculos în mod particular pentru animalele cu patru picioare. O variantă a acestui pericol, cunoscut ca un risc al “tensiunii de atingere” poate să apară, de exemplu, acolo unde o parte metalică conectată la pământ este situată într-o zonă în care există gradienti de potențial. Atingerea acesteia ar putea provoca un șoc de curent ce va trece prin mână și prin ambele picioare.

Animalele cu o lungime relativ mare a deschiderii dintre picioarele din față și cele din spate sunt în mod particular sensibile la riscul tensiunii de pas și au fost cazuri în care vitele au fost omorâte de către gradienti de potențial cauzati de o tensiune joasă (240/415 V) la care priza de pământ era de o rezistență insuficient de mică. Problemele gradientilor de potențial de tipul celor menționate mai sus nu sunt în mod normal întâlnite la instalațiile electrice ale clădirilor. În acest caz se prevăd conductoare de egalizare a potențialelor care leagă în mod corespunzător părțile metalice ale echipamentelor și structurilor metalice exterioare la conductorul de protecție de legare la pământ.

Protecția la atingerea directă sau protecția de bază

Principala formă de protecție împotriva riscurilor de atingere directă se face prin introducerea tuturor părților active în materiale izolante sau prin introducerea lor în carcase metalice legate la pământ, prin plasarea acestora în afara posibilității de atingere (în spatele barierelor izolatoare, în vârful unor stâlpi) sau prin obstacole specifice.

Acolo unde părțile active izolate sunt introduse într-o carcasă metalică, de exemplu transformatoare, motoare și multe alte aparate casnice, carcasa metalică este legată la sistemul de legare la pământ.

Pentru echipamentele de MT, standardul CEI 62271-200 (Aparataj de comutație în anvelopă metalică până la 52 kV) specifică un index de protecție minim (sistem IP) de IP2X pentru a fi asigurată protecția împotriva contactului direct. Mai mult, anvelopa metalică trebuie să prezinte continuitate electrică și o bună separare între interior și exterior. Împământarea corespunzătoare a carcasei contribuie la protecția operatorilor în condiții normale de funcționare.

Pentru echipamentele de JT aceasta se obține prin intermediul contactului lateral al prizei și ștecherului.

Deteriorarea totală sau parțială a izolației poate (depinzând de gradul de rezistență al căii de scurgere prin izolație, de rezistența dintre carcasa metalică și pământ) să mărească tensiunea carcasei până la un nivel periculos.

Protecția la atingerea indirectă sau protecția în caz de defect

O persoană care atinge carcasa metalică a unui aparat a cărui izolație este defectă așa cum s-a descris anterior se află în situația de “atingere indirectă”.

O situație de atingere indirectă este caracterizată de faptul că o cale de curent către pământ există (prin conductorul de protecție la pământ PE) în paralel cu curentul de șoc prin persoana respectivă.

Cazul defectului în sistemele de JT

Teste multiple au arătat că, în condițiile în care potențialul carcasei metalice față de pământ nu este mai mare de 50 V⁽¹⁾ sau se asigură distanța de protecție la orice parte conductoare din punct de vedere electric, nu există nici un pericol.

Riscul atingerii indirecte în cazul unui defect la MT

Dacă pierderea izolației într-un aparat este între un conductor de MT și carcasa metalică nu va fi în general posibil să se limiteze creșterea de tensiune a carcasei la 50 V într-un mod simplu, prin reducerea rezistenței de dispersie a prizei de pământ. Soluția în acest caz este să se creeze o legătură de egalizare a potențialelor, ca cea descrisă în subcapitolul 1.1 “scheme de legare la pământ”.

3.2 Protecția transformatoarelor și circuitelor

Generalități

Circuitele și echipamentul dintr-un post de transformare trebuie să fie protejate astfel încât curenții și/sau tensiunile excesive să fie rapid eliminate din sistem înainte de a genera pericole, daune sau distrugeri. Toate echipamentele utilizate în mod normal în instalațiile de putere au valori (standardizate) admisibile, de scurtă durată, pentru funcționarea în condiții de supracurent și supratensiune, iar rolul schemelor de protecție este să asigure ca aceste limite nu vor fi depășite. În general asta înseamnă că situațiile de defect trebuie să fie îndepărtate cât mai rapid posibil, fără a omite să se asigure coordonarea între dispozitivele montate în amonte și aval. Aceasta înseamnă că la un defect în rețea doar un singur dispozitiv trebuie să acționeze, deși curentul de defect este simțit de mai multe aparate.

Aceste dispozitive pot fi:

- fuzibile care elimină defectul direct sau asociate cu un separator de sarcină printr-un dispozitiv mecanic, care deschide toate cele trei faze;
- releee care acționează asupra bobinei de declanșare a unui întreruptor.

Protecția transformatorului

Solicitări datorate rețelei de alimentare

Anumite supratensiuni tranzitorii pot apărea în rețea:

- supratensiuni tranzitorii atmosferice. Supratensiunile tranzitorii atmosferice provin dintr-o lovitură de trăsnet în apropiere de o linie electrică aeriană;
- supratensiuni tranzitorii de comutație.

O schimbare bruscă în condițiile de funcționare ale unei rețele electrice produce fenomene tranzitorii.

Pentru ambele tipuri de supratensiuni, dispozitivul de protecție utilizat este un varistor (descărcător cu oxid de zinc, ZnO).

În cele mai multe cazuri protecția la supratensiuni nu influențează aparatul de comutație.

Solicitări datorate sarcinii

Fenomenul de suprasarcină este datorat în mod frecvent cererii concomitente de energie în cazul unui număr mare de mici consumatori sau este datorată creșterii cererii de putere aparentă (kVA) a unei instalații din cauza extinderii unei fabrici, sau ca urmare a extinderii clădirilor, etc. Apariția suprasarcinilor ridică temperatura conductoarelor din circuitele afectate, precum și pe cea a materialelor izolatoare. Când temperatura depășește limitele normale de proiectare ale echipamentului implicat rata de deteriorare (îmbătrânirea materialelor izolante) crește și durata de viață a echipamentului este redusă în mod corespunzător.

Dispozitivele de protecție împotriva suprasarcinilor pot fi amplasate în partea primară sau secundară a transformatorului.

Protecția împotriva suprasarcinii a unui transformator este asigurată de către un releu digital care determină deconectarea întreruptorului din secundarul transformatorului. Timpul de întârziere intrinsec realizat de acest releu determină ca transformatorul să nu fie în mod necesar deconectat din cauza unor suprasarcini de scurtă durată. Așa numitele releee cu “imagine termică” simulează temperatura ținând cont de constanta transformatorului. Alte releee pot lua în considerare și efectele curenților armonici datorati sarcinilor neliniare (redresoare, echipament de calcul, variatoare de viteză, etc.). Releeele pot, de asemenea, să dea predicții ale timpului rămas până la declanșare precum și a timpului de așteptare înainte de reconectare. Aceste informații sunt de un real folos în exploatarea echipamentului.

(1) În zone uscate, 25 V în locuri umede (săli de baie, etc.).

B18



Fig. B15: Transformator cu conservator de ulei.

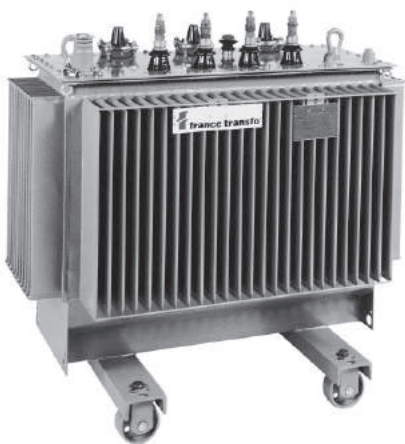


Fig. B16: Transformator cu umplere totală (etanș).

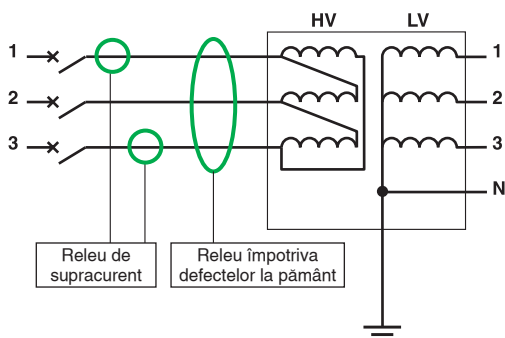


Fig. B17: Protecția împotriva punerii la pământ a înfășurării de medie tensiune.

În completare, transformatoarele mari cu înfășurările imersate în ulei au în mod frecvent termostate cu două nivele, unul pentru alarme și celălalt pentru declanșare. Transformatoarele uscate folosesc senzori de temperatură înglobați în partea cea mai caldă a izolației înfășurărilor, pentru alarme și/sau deconectare.

Defecte interne

Protecția transformatoarelor împotriva defectelor interne, prin dispozitive montate pe transformator este asigurată la transformatoarele care sunt prevăzute cu conservator cu aer la presiunea atmosferică (vezi **Figura B15**), prin relee mecanice clasice Buchholz. Aceste relee pot detecta o ușoară acumulare de gaze care rezultă din disocierea uleiului sub acțiunea arcului electric la defectele incipiente din izolația înfășurărilor sau din intrarea aerului datorită unei scurgeri de ulei. Primul nivel de detectare dă în general alarma, dar dacă condițiile de avarie persistă, al doilea nivel de detectare va determina deconectarea întreruptorului din amonte.

O detectare a unui val de ulei de către releul Buchholz va deconecta instantaneu întreruptorul din amonte, dacă valul de ulei apare în conducta de legătură dintre rezervorul principal și conservator.

Un asemenea val poate să apară doar datorită deplasării uleiului, deplasare cauzată de o formare rapidă a bulelor de gaz generate de către un arc electric în ulei, datorat unui curent de scurtcircuit.

Toate transformatoarele sunt prevăzute cu câteva tipuri de dispozitive de suprapresiune, care limitează presiunea maximă la o valoare mult sub cea la care rezervorul transformatorului cedează din punct de vedere mecanic.

Printr-o proiectare specială a elementelor radiatorului de răcire a uleiului, tipuri de transformatoare cu "umplere totală" din gama de putere până la 10 MVA sunt acum fabricate în mod curent.

Dilatarea uleiului nu are ca efect o creștere excesivă a presiunii, datorită efectului "de burduf" al elementelor radiatorului.

O descriere completă a acestor transformatoare este dată în subcapitolul 4.4 (vezi **Figura B16**).

În mod evident aparatele Buchholz menționate mai sus nu pot fi aplicate acestui tip de transformator; totuși o alternativă modernă a fost dezvoltată. Aceasta măsoară:

- acumularea de gaz;
- suprapresiunea;
- supratemperatura.

Primele două condiții deconectează întreruptorul din amonte iar ultima deconectează întreruptorul din avalul transformatorului.

Dispozitivul este denumit DGPT (Detectie de Gaz, Presiune și Temperatură).

Scurtcircuit intern fază-fază

Scurtcircuitul intern fază-fază trebuie detectat și eliminat de către:

- cele trei fuzibile de medie tensiune din amonte de transformator;
- un releu maximal de curent care declanșează întreruptorul din amonte de transformator.

Scurtcircuit intern fază-pământ

Acesta este cel mai frecvent tip de defect intern. El trebuie detectat de un releu de detecție a punerii la pământ.

Curentul de defect la pământ este calculat ca sumă a celor trei curenți primari (dacă sunt utilizate trei transformatoare de curent) sau de către un transformator sumator (tor homopolar) specific. Dacă este necesară o sensibilitate deosebită se va utiliza un transformator sumator specific, în combinație cu două transformatoare pe două faze, pentru protecția la scurtcircuitul fază-fază.

Protecția circuitelor

Protecția circuitelor din aval de transformator trebuie să se facă în concordanță cu cerințele din standardul CEI 60364.

Selectivitatea dintre dispozitivele de protecție din amonte și din aval de transformator

Postul de transformare de tip abonat cu dispozitive de măsură la JT necesită o funcționare selectivă între siguranțele fuzibile la MT sau întreruptorul de MT și întreruptor sau siguranțele fuzibile de pe partea de JT. Siguranțele fuzibile la MT se vor alege în concordanță cu caracteristicile transformatorului.

Caracteristicile de declanșare ale întreruptorului de JT trebuie astfel alese încât pentru o suprasarcină sau un scurtcircuit din avalul său, întreruptorul să declanșeze suficient de rapid, pentru a se asigura că siguranțele fuzibile la MT nu vor fi afectate de trecerea supracurentului prin ele.

Curbele de performanță la declanșare pentru siguranțele fuzibile la MT sau întreruptorul de MT și întreruptoarele de JT sunt date prin grafice de tipul: timpul de operare funcție de curentul care le străbate. Ambele curbe au în general o formă timp/curent inversă (cu o discontinuitate abruptă pe curba întreruptorului la o valoare a curentului peste care apare declanșarea "instantanee").

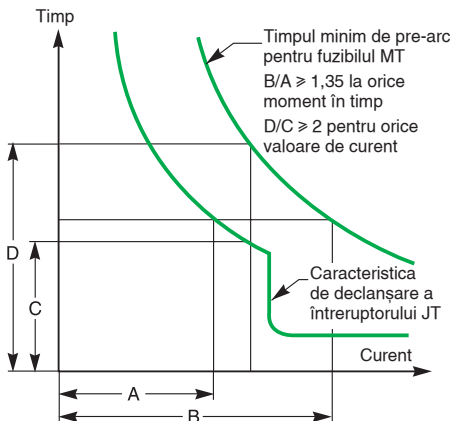


Fig. B18: Selectivitatea între fuzibilul de MT și declanșarea întreruptorului JT, pentru protecția transformatorului.



Fig. B19: Configurație cu fuzibil pe MT și întreruptor automat pe JT.

Aceste curbe tipice sunt arătate în **Figura B18**.

■ Pentru a obține selectivitatea:

Curba siguranței fuzibile de MT trebuie să fie deasupra și în dreapta curbei întreruptorului JT.

■ Pentru a nu fi afectate siguranțele fuzibile (adică nedeteriorate):

Toate părțile curbei de pre-arc a siguranței fuzibile trebuie să fie situate în dreapta curbei întreruptorului printr-un factor de 1,35 sau mai mult (de exemplu în cazul în care, la momentul T, curba întreruptorului trece printr-un punct corespunzător valorii de 100 A, curba fuzibilului la același moment de timp T trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 135 A sau mai mult) și toate segmentele curbei siguranței fuzibile trebuie să fie deasupra curbei întreruptorului printr-un factor de 2 sau mai mult (de exemplu unde la o valoare a curentului I curba întreruptorului trece printr-un punct corespunzând la 1,5 sec., curba fuzibilului, la aceeași valoare a curentului I trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 3 sec. sau mai mult etc.). Factorii 1,35 și 2 sunt bazați pe toleranțe maxime standard de fabricație pentru siguranțele fuzibile MT și întreruptoare de joasă tensiune.

Pentru a putea compara cele două curbe, curenții de MT trebuie să fie raportați în curenți de JT echivalenți, sau invers.

Când pe JT se utilizează combinația separator de sarcină cu fuzibile, trebuie respectate condiții similare de separare între caracteristicile de MT și JT ale fuzibilelor.

■ Pentru a nu declanșa întreruptorul MT:

Toate părțile curbei de pre-arc a siguranței fuzibile trebuie să fie situate în dreapta curbei întreruptorului printr-un factor de 1,35 sau mai mult (de exemplu în cazul în care, la momentul T, curba întreruptorului JT trece printr-un punct corespunzător valorii de 100 A, curba întreruptorului MT la același moment de timp T trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 135 A sau mai mult) și toate segmentele întreruptorului MT trebuie să fie deasupra curbei întreruptorului JT (timpul întreruptorului JT trebuie să fie sub timpul întreruptorului MT cu 0,3 sec.). Factorii 1,35 și 0,3 sunt bazați pe toleranțe maxime standard de fabricație pentru transformatoarele de curent, relele de protecție și întreruptoarele de JT.

Pentru a putea compara cele două curbe, curenții de MT trebuie să fie raportați în curenți de JT echivalenți, sau invers.

Unde este utilizat un întreruptor cu siguranțe fuzibile de JT, o separare similară a curbelor caracteristice ale siguranțelor de MT și JT trebuie să fie respectată.

Alegerea dispozitivelor de protecție pe partea primară a transformatorului

Așa cum s-a explicat mai sus, pentru un curent de referință mic protecția poate fi realizată cu fuzibili sau cu întreruptor. Atunci când curentul de referință este mare atunci protecția va fi realizată cu întreruptor automat. Protecția prin întreruptor automat pentru transformator este mai sensibilă în comparație cu fuzibilele. Implementarea ulterioară a unor protecții adiționale (punere la pământ, suprasarcină termică, etc.) este mai ușoară cu întreruptor automat.

3.3 Interblocaje și operații condiționate

Aparatele de comutație instalate în posturi de transformare sunt prevăzute cu interblocaje mecanice și electrice care sunt incluse în structura mecanismului și a circuitelor de comandă. Acestea constituie o măsură de protecție împotriva unor secvențe de manevră incorecte, executate de personalul de exploatare. Protecția mecanică între funcții localizate pe echipamente diferite (exemplu celula și transformator) este furnizată de un interblocaj prin cheie.

O schemă de interblocaj este creată pentru a preveni orice manevră incorectă. Manevrele incorecte pot expune personalul de exploatare unor pericole sau pot provoca incidente electrice.

Interblocaje de bază

Funcțiile de interblocaj esențiale pot fi introduse într-o unitate funcțională dată; o parte din aceste funcții sunt obligatorii conform CEI 62271-200, iar altele sunt opționale pentru utilizator.

De exemplu, accesul într-un tablou de MT implică un anumit număr de operații care trebuie efectuate într-o ordine predeterminată. Pentru a readuce sistemul la situația inițială trebuie efectuat același număr de operații, în sens invers. Fie procedurile adecvate, fie interblocajele dedicate pot asigura desfășurarea operațiilor în secvența corectă. Apoi acest tablou va fi clasificat "accesibil prin interblocaje" sau "accesibil prin procedură". Chiar și pentru utilizatorii cu proceduri corecte și riguroase, utilizarea interblocajelor poate furniza un ajutor pentru siguranța operatorilor.

Interblocajul prin cheie

Dincolo de interblocajele intrinseci ale unei unități funcționale (a se vedea subcapitolul 4.2) cea mai utilizată formă de interblocaj este în prezent principiul “interblocaj prin cheie” (transferul cheii).

Principiul se bazează pe posibilitatea de a elibera sau bloca una sau mai multe chei, în funcție de realizarea sau nu a condițiilor de asigurare a siguranței în exploatare. Aceste condiții pot fi combinate în secvențe unice și obligatorii, garantându-se în acest mod siguranța personalului, prin eliminarea posibilității de a efectua operații incorecte.

Nerespectarea secvențelor de manevră în aceste cazuri poate avea consecințe extrem de grave asupra personalului de exploatare, precum și asupra echipamentului în cauză.

Notă: Este important să se prevadă o schemă de interblocare încă din primele etape de proiectare a postului de transformare MT/JT. În acest sens aparatele de comutație vor fi echipate din fabricație, într-o manieră unitară, cu chei și dispozitive de blocare.

Continuitatea în serviciu

Pentru un tablou electric dat, definiția compartimentelor accesibile ca și condițiile de acces furnizează bazele clasificării “pierderea continuității în serviciu” așa cum este definită de standardul CEI 62271-200. Utilizarea interblocajelor sau doar a procedurilor corecte nu are influență asupra continuității în serviciu. Numai cerința de a accesa o parte dată a tabloului, în condiții normale de operare, implică condiții limitative care pot fi mai mult sau mai puțin severe din punct de vedere al continuității în alimentarea cu energie electrică.

Interblocaje în posturile de transformare

Într-un post de transformare de distribuție MT/JT care include:

- o singură celulă de intrare la MT sau două celule (două linii în paralel) sau două celule tip “inel principal” care includ circuitele de intrare și de ieșire;
- o celulă care conține echipamentul de comutație și protecție al transformatorului. Acesta poate include un separator de sarcină și siguranțe fuzibile de MT plus un separator de punere la pământ, sau un întreruptor și un separator de linie, plus un separator de punere la pământ.
- compartimentul transformatorului.

Interblocajele permit manevre și acces la diferitele celule în condițiile următoare:

Interblocaje de bază, incluse într-o singură unitate funcțională

- comanda separatorului de sarcină:
 - dacă ușa celei este închisă și separatorul de punere la pământ asociat este deschis;
 - comanda separatorului de linie din celula echipamentelor de comutație și protecție ale transformatorului:
 - dacă ușa celei este închisă, și
 - dacă întreruptorul este deschis și separatorul(oarele) de punere la pământ este (sunt) deschis(e);
 - închiderea unui separator de punere la pământ:
 - dacă separatorul(oarele) asociat(e) care asigură separarea (izolarea) liniei este (sunt) deschis(e)⁽¹⁾;
 - accesul în interiorul fiecărei celule, dacă au fost prevăzute interblocaje:
 - dacă separatorul care asigură izolarea celei este deschis și separatorul(oarele) de punere la pământ din celula este (sunt) închis(e);
 - închiderea ușii fiecărei celule sau compartiment dacă au fost prevăzute interblocaje
 - dacă separatorul(oarele) de punere la pământ este (sunt) închis(e).

Interblocaje funcționale implicând câteva unități funcționale sau echipamente separate

- accesul la terminalele unui transformator MT/JT:
 - dacă separatorul care asigură izolarea celei este deschis și separatorul de punere la pământ din celulă este închis,
 - ținând cont de posibilitatea unui retur din partea de JT, poziția deschis a întreruptorului general de JT poate fi necesară.

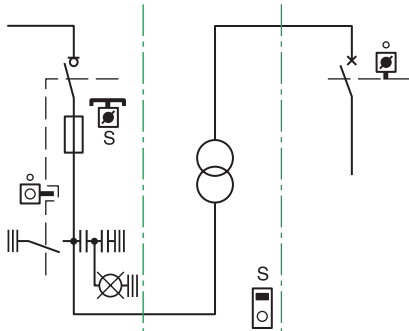
Exemplu practic

Într-un post de transformare tip abonat, cu echipament de măsură la JT, schema de interblocare cel mai des folosită este tipul MT/JT/TR (medie tensiune/joasă tensiune/transformator).

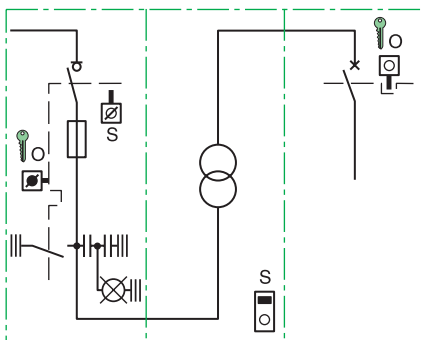
Obiectivele interblocării sunt:

- împiedicarea accesului în compartimentul transformatorului dacă separatorul de punere la pământ nu a fost închis în prealabil;
- împiedicarea închiderii separatorului de punere la pământ din celula de comandă și protecție a transformatorului, dacă întreruptorul de pe JT al transformatorului nu a fost în prealabil blocat în poziția “deschis” sau “debroșat”.

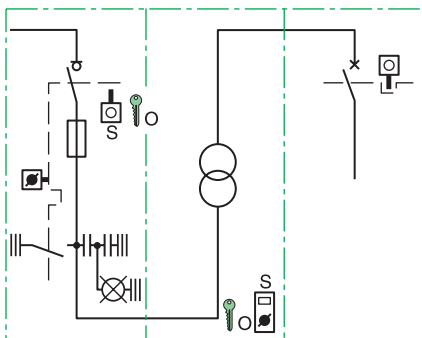
⁽¹⁾ Dacă separatorul de legare la pământ este pe un circuit de sosire, separatoarele de secționare asociate se află la ambele capete ale acestui circuit și ar trebui, deci interblocați cu acest separator; în această situație funcția de interblocaj se realizează prin cheie.



Separatorul MT și întreruptorul general JT închise



Fuzibilele MT accesibile



Terminalele transformatorului MT accesibile

- Legendă
- Cheie absentă
 - Cheie liberă
 - Cheie captivă
 - Panou (celulă) sau ușă

Fig. B20: Exemplificarea unui interblocaj MT/JT/Trafo

Accesul la bornele de MT sau de JT ale unui transformator protejat în amonte de o celulă de MT (care conține un separator de sarcină de MT, siguranțe de MT și un separator de punere la pământ) trebuie condiționat conform procedurii descrise anterior.

Acest lucru este prezentat în schemele din Fig. B20.

Notă: Transformatorul din acest exemplu are bornele de MT prevăzute cu un sistem de piese de contact tip broșă care pot fi deconectate numai prin deblocarea unui dispozitiv de reținere, comun pe cele trei faze⁽¹⁾.

Separatorul de sarcină de MT este interblocaț mecanic cu separatorul de MT de punere la pământ, astfel încât numai unul dintre ele poate fi închis, închiderea unuia blochează automat închiderea celuilalt.

Procedura de separare vizibilă și legarea la pământ a transformatorului de putere, și demontarea pieselor de contact tip broșă prevăzute cu protecție izolantă (sau carcasă izolantă de protecție).

Condiții inițiale:

- separatorul de sarcină de MT și întreruptorul de JT sunt închise;
- separatorul de punere la pământ, blocat în poziția "deschis" prin cheia "0";
- cheia "0" este captivă la întreruptorul de JT, atât timp cât acesta este închis.

Secvența 1

- se deschide întreruptorul de JT și se blochează în poziția "deschis" cu cheia "0";
- cheia "0" este eliberată.

Secvența 2

- se deschide separatorul de sarcină de MT;
- se verifică dacă indicatoarele de prezență a tensiunii s-au stins după deschiderea separatorului de MT.

Secvența 3

- se deblochează separatorul de punere la pământ de MT, prin cheia "0" și se închide;
- cheia "0" este acum captivă.

Secvența 4

Celula siguranțelor fuzibile de MT este acum accesibilă (închiderea separatorului de punere la pământ permite îndepărtarea panoului frontal). Cheia "S", care se află în această celulă, este captivă când separatorul de sarcină MT este închis.

- se acționează cheia "S" pentru a bloca separatorul de sarcină de MT în poziția "deschis";
- cheia "S" este acum eliberată.

Secvența 5

Cheia "S" permite demontarea dispozitivului comun de zăvorăre a pieselor de contact de la bornele transformatorului sau a piesei izolatoare comune de protecție. În orice situație în care bornele transformatorului ar fi direct accesibile, cheia "S" va fi captivă împiedicând manevrele prezentate anterior.

Rezultatul procedurii descrise anterior este următorul:

- separatorul de sarcină de MT este blocat în poziția deschis prin cheia "S". Cheia "S" este captivă de dispozitivul de interblocaj al terminalelor JT ale transformatorului, atât timp cât bornele acestuia sunt accesibile;
- separatorul de punere la pământ, de MT, este în poziția "închis" dar nu este blocat, adică ar putea fi închis sau deschis. Pe durata unor lucrări de întreținere se folosește de regulă blocarea acestuia în poziția închis, cu ajutorul unui lacăt. Cheia lacătului este de regulă în păstrarea inginerului care supraveghează lucrările;
- întreruptorul de joasă tensiune este blocat în poziția "deschis" prin cheia "0" care este captivă la separatorul de punere la pământ, în poziția închis. În acest mod, transformatorul este separat și conectat la pământ, în deplină siguranță.

Este de notat că bornele de intrare ale separatorului de sarcină pot rămâne sub tensiune, pe durata procedurii descrise. Acest fapt este permis pentru că separatorul cu bornele în cauză este plasat într-un compartiment separat, inaccesibil personalului neabilitat. Orice altă soluție tehnică care lasă expuse terminalele într-un compartiment accesibil va necesita scoaterea de sub tensiune și interblocarea.

(1) Sau pot fi prevăzute cu o carcasă izolantă de protecție, comună pentru cele trei faze.

4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT

4.1 General

Un post de transformare de tip abonat cu contorizare la JT este o instalație conectată la rețeaua electrică de distribuție publică având tensiunea nominală între 1 kV și 35 kV. Acesta este prevăzut cu un transformator MT/JT, care în general are o putere ce nu depășește 1250 kVA.

Funcțiuni

Postul de transformare

Toate părțile componente ale postului de transformare sunt plasate într-o cameră situată fie într-un imobil existent, fie sub forma unei construcții prefabricate exterioare.

Conectarea la rețeaua de MT

Conectarea la MT se poate realiza:

- fie printr-un singur cablu sau linie aeriană, sau
- prin două separatoare de sarcină, interblocați mecanic, care sunt conectați prin două cabluri la un sistem dublu de alimentare, sau
- prin două separatoare de sarcină care fac parte dintr-un sistem de alimentare în buclă - tip RMU (Ring Main Unit).

Transformatorul

Ținând seama că transformatoarele cu izolație conținând PCB⁽¹⁾ sunt interzise în majoritatea țărilor, soluțiile tehnologice disponibile sunt:

- transformatoare în ulei, destinate amplasării în exterior;
- transformatoare uscate, cu izolație în rășină turnată sub vid, destinată posturilor de transformare de tip interior, cum ar fi imobile cu destinație comercială, clădiri destinate publicului, etc.

Contorizare

Contorizarea la JT permite folosirea unor transformatoare de măsură de dimensiuni reduse și nu prea scumpe.

Majoritatea sistemelor de tarifyare țin seama de pierderile transformatoarelor de putere.

Echipamentul instalației de JT

Un întrerupător de putere la JT, de preferință cu element de separare vizibilă la poziția “deschis” și posibilitatea de blocare în această poziție, cu următoarele funcții:

- să alimenteze un tablou de distribuție;
- să protejeze transformatorul la suprasarcină, precum și circuitele din aval împotriva scurtcircuitelor.

Scheme monofilare

Schemele de pe pagina următoare (**Figura B21**) reprezintă cele patru metode de conectare la rețeaua de medie tensiune:

- radial;
- radial cu extensie pentru buclă;
- două cabluri în paralel;
- în buclă.

4.2 Alegerea celulelor

Standarde și specificații

Aparatele de comutație și echipamentele descrise mai jos au tensiuni nominale între 1 kV și 24 kV și sunt conforme cu următoarele standarde internaționale:

CEI 62271-200, 60265-1, 60694, 62271-102, 62271-105.

Reglementări locale pot specifica de asemenea conformitatea cu standardele naționale cum ar fi :

■ Franța	UTE
■ Marea Britanie	BS
■ Germania	VDE
■ Statele Unite ale Americii	ANSI

Tipuri de echipamente

În afara celulelor RMU prezentate mai devreme se mai utilizează celule cu compartimentare modulară, care permit montarea oricărei combinații de aparate de comutație, precum și realizarea facilă a unor extensii în viitor.

Posturile de transformare cu celule compacte se recomandă în special în următoarele cazuri:

- rețea buclată sau rețea radială.
- condiții de exploatare deosebite, cum ar fi climat sever sau grad înalt de poluare (izolație integrală).
- spațiu insuficient pentru tablouri de distribuție clasice.

Acest echipament se remarcă prin dimensiuni reduse, funcțiuni integrate unitar și flexibilitate operațională.

(1) Bifenil-policlorinat.

4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT

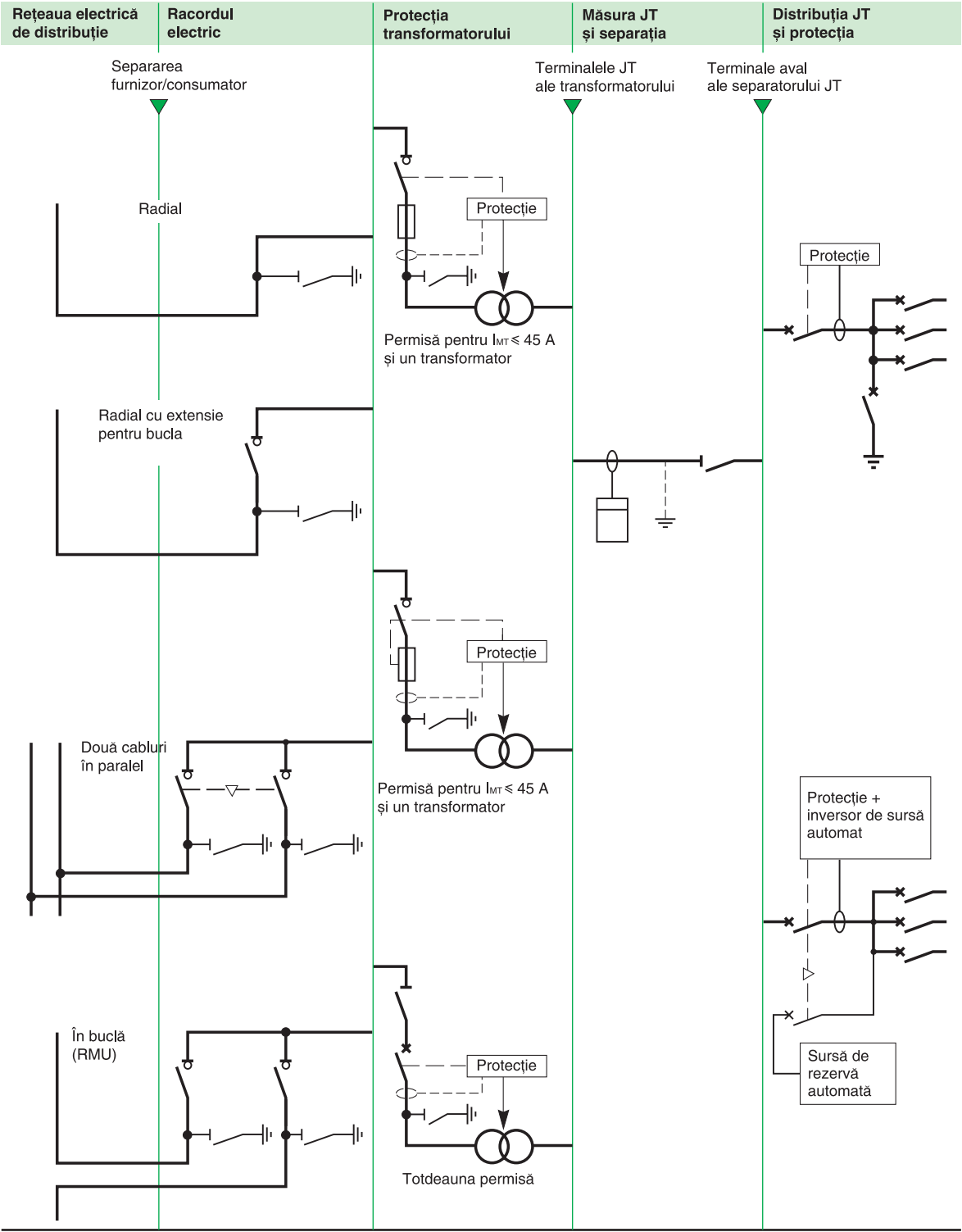


Fig. B21: Post de transformare de tip abonat cu măsură pe JT.

B24

Siguranța operațională a celulelor metalice de distribuție

Descriere

În continuare sunt descrise celulele cu compartimente și pereți metalici (Fig. B22). În această figură se prezintă o celulă tip separator de sarcină/separator de linie, proiectată conform ultimelor realizări în domeniu, care asigură:

- siguranța în exploatare;
- cerințe minime de spațiu;
- flexibilitate și posibilități de extindere;
- cerințe minime de mentenanță.

Fiecare celulă conține 3 compartimente:

- aparat de comutație: separatorul de sarcină este inclus într-o incintă turnată în rășină epoxidică, care conține SF6. Incinta este ermetic închisă și sigilată pe durata de viață a echipamentului;
- conexiuni: prin cablu la bornele separatorului de sarcină;
- sistem de bare: barele sunt în construcție modulară, astfel încât orice număr de celule pot fi asamblate împreună pentru a forma un tablou electric de distribuție unitar.

Celula poate fi prevăzută cu un compartiment în care se pot monta echipamente de măsurare, comandă automată precum și rele. Dacă este necesar, un compartiment adițional poate fi montat deasupra celui existent.

Conexiunile pentru cablu sunt prevăzute într-un compartiment terminal-cablu, situat în partea frontală a celei. Accesul la acesta se realizează prin demontarea peretelui frontal al compartimentului respectiv.

Diversele unități sunt conectate electric prin secțiuni de bare prefabricate. Montajul se realizează urmând cu strictețe instrucțiunile de asamblare.

Comanda aparatului de comutație este simplificată prin gruparea tuturor echipamentelor de măsurare, comandă și control, într-o singură incintă, situată pe partea frontală a fiecărei unități.

Tehnologia acestor echipamente de comutație este bazată pe asigurarea siguranței în exploatare, simplitate în montaj și mentenanță redusă.

Măsurile de siguranță internă a celulelor

- separatorul de sarcină/separatorul de linie realizează funcția de "separare vizibilă - indicarea poziției", conform CEI 62271-102 (separatoare și separatoare de punere la pământ);
- unitățile funcționale înglobează interblocajele de bază specificate de CEI 62271-200 (aparat de comutație în anvelopă metalică):
- închiderea separatorului de sarcină este posibilă numai dacă separatorul de punere la pământ este deschis,
- închiderea separatorului de punere la pământ este posibilă numai dacă separatorul de sarcină este deschis;
- accesul la compartimentul cablurilor, care este singurul compartiment unde utilizatorul are acces în exploatare, este securizat prin următoarele interblocaje:
- deschiderea și accesul la compartimentul terminalelor de cabluri⁽¹⁾ sunt posibile numai dacă separatorul de punere la pământ este închis,
- separatorul de sarcină/separatorul de linie se află blocat în poziția "deschis" atunci când se permite accesul menționat anterior. În această situație este posibilă comanda separatorului de punere la pământ, mai exact deschiderea pentru încercarea dielectrică a cablurilor.

Celulele dotate astfel pot fi exploatate cu barele și cablurile sub tensiune, cu excepția celulelor la care s-a realizat accesul la cabluri. Ele sunt conforme cu "pierderea continuității în serviciu" clasă LSB2A, așa cum este definită în CEI 62271-200.

În afară de interblocajele funcționale arătate mai sus, fiecare celulă include:

- elemente ce permit blocaje cu lacăt pe dispozitivele de acționare;
- 5 seturi de orificii de fixare pentru eventuale dispozitive de interblocare mecanică, prin cheie.

Executarea manevrelor

- toate manetele de acționare la închidere sunt identice pentru toate unitățile (cu excepția celor care conțin un întreruptor de putere);
- acționarea manetei de închidere necesită un efort fizic foarte redus;
- deschiderea sau închiderea unui separator de sarcină/separator de linie se poate realiza prin maneta de acționare sau prin apăsarea pe buton pentru cele prevăzute cu motorizare;
- poziția în care se află aparatele de comutație (deschis, închis, resoarte-armate) este indicată în mod clar.



Fig. B22: Celulă cu separator de sarcină/separator de linie în anvelopă metalică.

(1) Acolo unde sunt utilizate fuzibile MT, ele sunt amplasate în acest compartiment.

4.3 Alegerea celulei pentru protecția transformatorului

Există trei tipuri de celule de comutație de MT:

- celule ce conțin un separator de sarcină plus siguranțe fuzibile de MT;
- celule ce conțin un separator de sarcină combinat cu siguranțe fuzibile de MT;
- celule cu întreruptor de putere.

Alegerea optimă este influențată de șapte parametri:

- curentul primar al transformatorului;
- mediul de izolație al transformatorului;
- distanța dintre postul de transformare și centrul de greutate al sarcinii;
- puterea transformatorului (kVA);
- distanța dintre aparatele de comutație și transformator;
- utilizarea unor relee de protecție independente (spre deosebire de bobinele de declanșare directă).

Notă: Fuzibilele utilizate în combinația separator de sarcină-siguranțe fuzibile de MT au un perculator care asigură declanșarea separatorului de sarcină tripolar, la arderea unei singure siguranțe.

4.4 Alegerea transformatorului MT/JT

Parametrii caracteristici ai transformatorului

Un transformator este definit, în parte, prin parametrii săi electrici, dar și prin tehnologia utilizată și condițiile de exploatare.

Caracteristici electrice

- Puterea nominală (S_n): este puterea aparentă în kVA, pe care se bazează o serie de alți parametri de proiectare și de execuție. Încercările și probele de fabricație, precum și garanția acordată se referă la această putere;
- Frecvența: pentru sistemele de distribuție abordate în această lucrare frecvența este de 50 Hz sau 60 Hz;
- Tensiunile nominale primară și secundară: în cazul unei înfășurări primare, capabile să funcționeze la mai multe valori de tensiune, trebuie precizată puterea (kVA) corespunzătoare fiecărei valori. Tensiunea nominală secundară se definește cu înfășurarea respectivă în gol;
- Nivelele nominale de izolație: sunt definite prin încercări dielectrice la supratensiuni temporare, de frecvență industrială, precum și prin unda de impuls care simulează supratensiunile atmosferice (lovitură de trăsnet). În cazul nivelelor de tensiune considerate în această lucrare, supratensiunile de comutație, produse de aparatajul de MT sunt mult mai reduse decât cele atmosferice. Ca urmare nu se execută încercări separate relativ la supratensiunile de comutație;
- Prizele de reglaj de tensiune: acestea permit în general, variația tensiunii în trepte, până la: $\pm 2,5\%$ și $\pm 5\%$ față de tensiunea nominală a înfășurării cu tensiunea cea mai mare. Transformatorul trebuie scos de sub tensiune pe durata acestei operații;
- Conexiunile înfășurărilor: sunt indicate în scheme care utilizează simboluri standardizate pentru conexiuni în stea, triunghi, sau zig-zag. Pentru aplicații speciale se folosesc combinații ale acestora de ex.: transformatoare cu 6 faze sau cu 12 faze, pentru alimentarea redresoarelor, etc.. CEI recomandă folosirea unui cod alfanumeric care citit de la stânga la dreapta indică prin prima literă, înfășurarea cu tensiunea cea mai mare, apoi prin a doua literă înfășurarea cu tensiunea de valoare imediat inferioară, și așa mai departe:

□ literele majuscule indică înfășurarea cu tensiunea cea mai mare:

D = triunghi

Y = stea

Z = zig-zag

N = punctul de neutru, atunci când este accesibil,

□ literele mici se utilizează pentru înfășurări terțiare și secundare:

d = triunghi

y = stea

z = zig-zag

n = punctul de neutru, atunci când este accesibil,

□ un număr de la 0 la 11, urmează după cele două litere și indică dacă există schimbare de fază (defazajul). Aceste numere indică defazajul prin similitudine cu cadranul unui ceas ("0" este folosit în loc de "12"). Dacă există bornă de neutru, acest număr apare după N (sau n).

Pentru transformatoarele de distribuție este foarte uzuală configurația de tip Dyn11. Acestea au o înfășurare de MT cu conexiune în triunghi, înfășurarea secundară în stea cu neutru accesibil la o bornă specială. Defazajul este de $+30^\circ$ electrice, adică tensiunea secundară pe faza 1 aflându-se la "ora 11", tensiunea de pe faza 1 din primar este la "ora 12", conform **Figurii B31** de la pagina B34. Orice combinație de conexiuni în triunghi, stea sau zigzag, produce un defazaj care (dacă nu este zero) este fie 30° fie un multiplu de 30° . CEI 60076-4 descrie această convenție în detaliu.

4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT

B26

Caracteristici referitoare la tehnologia și utilizarea transformatorului

Lista ce urmează nu este exhaustivă:

■ tehnologia utilizată

Mediul izolant este:

□ lichid (ulei mineral) sau,

□ solid (rășină epoxidică și aer);

■ pentru instalații de interior sau exterior;

■ altitudine (≤ 1000 m este situația standard);

■ temperatură (CEI 60076-2);

■ temperatură maximă a mediului ambiant: 40°C ;

■ valoare zilnică maximă a temperaturii medii a mediului ambiant: 30°C ;

■ valoare anuală maximă a temperaturii medii a mediului ambiant: 20°C .

Pentru condiții non-standard de funcționare, a se consulta pagina B7 "influența temperaturii ambiante și a altitudinii asupra curentului nominal".

Descrierea tehnicilor de izolare

În prezent, transformatoarele de distribuție, se încadrează în două tipuri de bază:

■ uscate (turnate în rășină);

■ cu lichid (imersate în ulei).

Transformatoarele uscate

Înfășurările acestor transformatoare sunt izolate cu rășină, prin turnare sub vid (procedeu brevetat de majoritatea producătorilor importanți).

Se recomandă ca alegerea transformatorului să fie efectuată conform standardului CEI 60076-11, după cum urmează:

■ mediul ambiant clasă E2 (prezența condensului și/sau nivel înalt de poluare);

■ condiții climatice clasă C2 (utilizare transport și stocare sub -25°C);

■ rezistența la incendiu (transformatoarele expuse riscului de incendiu cu inflamabilitate redusă și autostingere într-un timp dat).

Prezentarea care urmează se referă la tehnologia utilizată de fabricantul european, lider în acest domeniu.

Înglobarea în izolația unei înfășurări implică trei componente:

■ rășină epoxy bazată pe bifenol A, cu o vâscozitate care asigură o bună impregnare a înfășurărilor;

■ întăritor anhidric modificat, pentru a asigura un grad de elasticitate în masa turnată și astfel să evite formarea de crăpături datorate variațiilor de temperatură din timpul funcționării;

■ adeziv sub formă de pulbere, compus din alumina trihidratată $\text{Al}(\text{OH})_3$ și silicagel, care îmbunătățesc proprietățile mecanice și termice. În același timp, acesta conferă proprietăți izolante excepționale în condițiile temperaturilor înalte.

Această turnare pe bază de trei componente asigură clasa de izolație F ($\Delta\theta = 100^{\circ}\text{K}$) și o foarte bună rezistență la foc cu autostingere imediată. De altfel, astfel de transformatoare sunt clasificate ca neinflamabile.

Izolația înfășurărilor nu conține componenți pe bază de halogeni (cloruri, bromuri, etc.) sau alte componente cu efecte toxice sau poluante. Acest tip de izolație asigură o deplină securitate pentru personal în situații de avarie, în special în situația unui incendiu.

Comportarea este de asemenea excepțională în medii industriale cu condiții grele de praf, umiditate, etc. (vezi Fig. B23).

Transformatoare cu lichid

Cel mai comun lichid izolant și de răcire, utilizat la transformatoarele de putere este uleiul mineral.

Uleiurile minerale sunt specificate în CEI 60296. Deoarece uleiul este inflamabil, în mai multe țări sunt obligatorii măsuri de siguranță, în special pentru posturi de transformare de interior. Transformatoarele cu ulei de tip ermetic (cu umplere totală) sunt protejate cu releul de protecție DGPT (Detecție de Gaz, Presiune și Temperatură). În cazul unei funcționări anormale, înainte ca situația să devină periculoasă, releul DGPT determină întreruperea rapidă a alimentării transformatorului, la MT.

Uleiul mineral este biodegradabil și nu conține PCB (Bifenil-Policlorinat). În trecut s-au folosit compuși acum interziși ca: Pyralene, Pyrolio, Pyroline.

La cerere, uleiul mineral poate fi înlocuit cu un alt lichid izolant prin adaptarea transformatorului și luarea unor măsuri adiționale, dacă este necesar.

Lichidul izolant acționează și ca mediu de răcire; acesta are tendința de expandare atunci când curentul de sarcină sau temperatura ambiantă se măresc. Ca urmare, transformatoarele cu lichid sunt proiectate astfel încât să se controleze volumul variabil de lichid, fără ca presiunea în cuvă să devină excesivă.

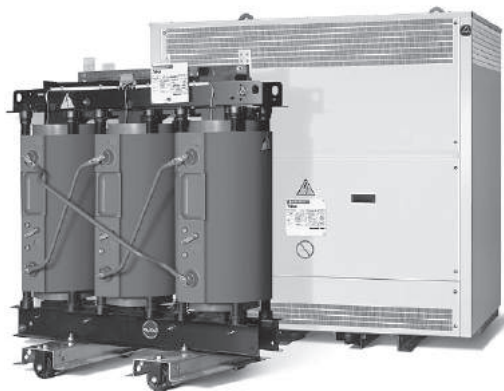


Fig. B23: Transformator de tip uscat.

4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT

B27

Există două moduri de realizare a limitării de presiune în cuvă:

■ Cuvă cu umplere totală, ermetic închisă și sigilată (până la 10 MVA, în momentul de față). Această soluție a fost dezvoltată de un fabricant francez, lider în domeniu, în anul 1963. Metoda a fost adoptată de autoritatea națională (franceză) de energie electrică în 1972, iar acum este folosită în întreaga lume (vezi **Fig. B24**).

Expansiunea lichidului este compensată prin deformarea elastică a unor căi de circulație a uleiului, care sunt cuplate la cuvă.

Tehnica “umplerii totale” are mai multe avantaje în raport cu alte metode:

- se evită complet oxidarea lichidului dielectric (contactul cu oxigenul atmosferic),
- nu este necesar un dispozitiv de uscare a aerului, deci se elimină menținerea aferentă (inspecția și schimbarea cartușului saturat de silicagel),
- se elimină necesitatea verificării rigidității dielectrice a uleiului, pe o perioadă de cel puțin 10 ani,
- protecție simplificată contra defectelor interne, realizabilă cu DGPT,
- simplitate în instalare: este mai ușor și cu gabarit mai redus (decât o cuvă cu conservator). Bornele de MT și de JT sunt ușor accesibile,
- detecție imediată a pierderilor de ulei (chiar reduse); apa nu poate pătrunde în cuvă.

■ Cuvă cu pernă de aer la presiunea atmosferică (cu conservator).

Expansiunea lichidului izolat este compensată prin schimbarea nivelului într-o încălțată situată deasupra cuvei, numită “conservator”, conform **Figurii B25**. Spațiul deasupra lichidului din conservator este ocupat de aer, care este aspirat în interior când nivelul scade și este parțial evacuat când nivelul uleiului crește. Când aerul este aspirat din mediul ambiant, acesta este trecut printr-un filtru cu ulei și cu un dispozitiv de uscare (care conține de regulă silicagel). În cazul unor transformatoare de mare putere, spațiul de deasupra uleiului este ocupat de un “air-bag”, evitându-se astfel contactul uleiului cu aerul atmosferic. Aerul din “air-bag” este trecut prin aceleași sisteme de purificare și uscare, ca în cazul precedent. Prezența conservatorului este obligatorie la transformatoarele cu puteri peste 10 MVA (care este limita superioară a transformatoarelor cu “umplere totală”).

Alegerea tehnologiei

Așa cum s-a arătat, alegerea tipului de transformator se face între cel cu lichid și cel uscat. Pentru puteri de până la 10 MVA, transformatoarele cu umplere totală reprezintă o alternativă față de cele cu conservator.

Alegerea depinde de o serie de considerațiuni, după cum urmează:

- siguranța personalului în apropierea transformatorului. Reglementările locale și recomandările oficiale în acest sens trebuie respectate;
- considerații economice, ținând cont de avantajele relative ale fiecărei soluții.

Reglementări care influențează alegerea:

- transformatoare uscate:
- în anumite țări transformatoarele uscate sunt obligatorii în imobilele înalte de locuințe,
- transformatoarele uscate nu impun restricții în funcție de locul de montaj;
- transformatoare cu izolație în lichid:
- acest tip de transformator este în general interzis în imobilele înalte de locuit,
- anumite restricții de instalare, sau măsuri minime de protecție anti-incendiu, ce variază în funcție de felul lichidului izolat utilizat și de clasa de izolație asigurată de acesta,
- în anumite țări, în care dielectricii lichizi sunt utilizați pe scară largă, se face o clasificare a lichidelor izolante în funcție de comportarea lor la incendiu. Acest lucru se realizează în funcție de două criterii: temperatura de inflamare și capacitatea calorică minimă. Aceste categorii principale sunt prezentate în **Tab. B26**, în care se indică și codul aferent.

Condițiile de instalare pentru transformatoarele cu lichid sunt stabilite în standardele naționale. Până în prezent, încă nu a fost stabilită o recomandare CEI în acest sens. Ca un exemplu standardul francez definește condițiile de instalare a transformatoarelor cu dielectric lichid. Standardele naționale, elaborate pentru a asigura siguranța personalului și a bunurilor, recomandă măsurile minime, necesare contra pericolelor de incendiu.



Fig. B24: Transformator de tip ermetic (cu umplere totală).



Fig. B25: Transformator cu conservator (tancul de ulei la presiunea atmosferică).

Cod	Fluid dielectric	Punct de aprindere (° C)	Putere calorică minimă (MJ/kg)
O1	Ulei mineral	< 300	-
K1	Hidrocarbonați cu mare densitate	> 300	48
K2	Esteri	> 300	34 - 37
K3	Silicon	> 300	27 - 28
L3	Lichide izolante cu halogeni	-	12

Tab. B26: Categorii de fluide dielectrice.

Principalele măsuri sunt prezentate în **Tab. B27**.

- pentru dielectrici lichizi de clasă L3 nu sunt necesare măsuri speciale;
- pentru dielectrici din clasele O1 și K1 măsurile indicate trebuie aplicate numai dacă transformatorul conține mai mult de 25 de litri de lichid izolan;
- pentru dielectrici din clasele K2 și K3 măsurile indicate trebuie aplicate numai dacă transformatorul conține mai mult de 50 de litri de lichid izolan

Clasa fluidului dielectric	Nr. de litri peste care trebuie luate măsuri	Locația					
		Cameră sau zonă închisă rezervată personalului calificat și autorizat, și separată de alte clădiri prin distanța D			Rezervată personalului instruit și izolată de spațiile de activități prin pereți antifoc (clasă 2 ore)		Alte camere sau locații ⁽²⁾
		D > 8 m	4 m < D < 8 m	D < 4 m ⁽¹⁾ în direcția spațiilor ocupate	Fără deschideri	Cu deschideri	
O1 K1	25	Fără măsuri speciale	Interpunerea unui ecran antifoc (clasă 1 oră)	Pereți antifoc (clasă 2 ore) către clădirea vecină	Măsurile (1 + 2) sau 3 sau 4	Măsurile (1 + 2 + 5) sau 3 sau (4 + 5)	Măsurile (1A + 2 + 4) ⁽³⁾ sau 3
K2 K3	50	Fără măsuri speciale		Interpunerea unui ecran (clasă 1 oră)	Fără măsuri speciale	Măsurile 1A sau 3 sau 4	Măsurile 1 sau 3 sau 4
L3		Fără măsuri speciale					

Măsura 1: Realizarea de amenajări prin care în cazul în care dielectricul lichid se scurge din transformator să fie absorbit complet (într-un bazin prin intermediul unor praguri din jurul transformatorului; din construcție lichidul nu trebuie să pătrundă în canalele de cabluri, conducte, etc.).

Măsura 1A: Este aditională măsurii 1 și precizează că, în eventualitatea aprinderii lichidului, nu trebuie să existe condiții de extindere a incendiului (nici un material combustibil nu trebuie plasat la o distanță mai mică de 4 m de transformator, sau la cel puțin 2 m de acesta) în cazul în care se intervine un ecran ignifug (cu rezistența la foc de 1 oră).

Măsura 2: Prevede ca lichidul aprins să fie stins rapid și în mod natural (prin plasarea unui strat de nisip sau pietris în bazinul de scurgere).

Măsura 3: Prevede existența unui dispozitiv automat (tip DGPT sau Buchholz) care să întrerupă alimentarea în primar și să dea alarma în cazul în care se produce o dezvoltare de gaze în cuva transformatorului.

Măsura 4: Prevede existența unor dispozitive de detecție a focului, plasate în imediata apropiere a transformatorului, care întrerup alimentarea primară și activează alarma.

Măsura 5: Impune închiderea automată, prin panouri ignifuge (cu rezistență la foc minim 1/2 oră) care să obtureze toate deschiderile (ventilație, etc.) din pereții sau tavanul postului de transformare.

Note:

(1) O ușă ignifugă (cu rezistență la foc de 2 ore) nu este considerată o deschidere.

(2) Camera transformatorului este vecină cu un spațiu de lucru și separată de acesta prin pereți cu rezistență la foc mai mică de 2 ore.

Arii situate în mijlocul spațiilor de lucru, materialul fiind plasat într-un container protector.

(3) Este imperios necesar ca echipamentul să fie plasat într-o cameră ai cărei pereți sunt fără goluri, singurele deschideri fiind cele de ventilație.

Tab. B27: Măsuri de securitate recomandate în instalațiile electrice la utilizarea lichidelor dielectrice de clasă O1, K1, K2, K3.

Determinarea puterii optime

Utilizarea unui transformator supradimensionat

Are drept consecințe:

- investiție excesivă și pierderi inutile la mersul în gol, dar
- pierderi mai reduse la funcționarea în sarcină.

Alegerea unui transformator subdimensionat

Determină:

- randament redus la sarcină nominală (cel mai bun randament se obține la circa 50% -70% din sarcina nominală); deci nu se poate asigura o sarcină optimă;
- în situația de suprasarcină prelungită, se produc consecințe grave asupra:
 - transformatorului: se observă o îmbătrânire prematură a înfășurărilor transformatorului, iar în caz extrem străpungerea izolației înfășurărilor și distrugerea transformatorului,
 - instalației: dacă supraîncălzirea transformatorului produce declanșarea releelor de protecție și deconectarea întreruptorului de protecție.

Definiția puterii optime

Pentru a alege puterea optimă (kVA) a unui transformator este necesar să se ia în considerare factorii următori:

- lista puterilor instalate în cazul receptorilor, conform capitolului A;
- stabilirea factorului de utilizare (sau de cerere) pentru fiecare sarcină individuală;
- determinarea ciclurilor de funcționare a instalației, cu specificarea duratelor de funcționare nominală și la suprasarcină;
- realizarea corecției factorului de putere, în cazuri justificate, cu scopul de a:
 - reduce costurile excesive, bazate în parte pe cererea maximă de putere (kVA),
 - reduce valoarea puterii aparente consumate, $S \text{ (kVA)} = P \text{ (kW)} / \cos \varphi$;
- alegerea parametrilor transformatorului, ținând seama de eventuale extinderi ale instalației.

De o mare importanță este asigurarea funcționării corecte a transformatorului, în sensul asigurării unor condiții adecvate de răcire a acestuia.

Sisteme de ventilație

În cazul general al răcirii prin circulația naturală a aerului (AN) ventilația cabinei extrage căldura (produsă datorită pierderilor în transformator) printr-un proces de convecție naturală. Un sistem de ventilație eficient permite intrarea aerului printr-o deschidere de secțiune S, practică la nivelul podelei și ieșirea acestuia printr-un orificiu de secțiune S', aflat la înălțimea H, conform **Fig. B28**.

Este important de reținut că orice restricție privind circulația liberă a fluxului de aer de răcire, se traduce printr-o reducere a puterii livrată de transformator, în condițiile de menținere a temperaturii normale de funcționare.

Ventilația naturală

Relațiile de calcul pentru secțiunile de ventilație sunt următoarele:

$$S = \frac{0,18 P}{\sqrt{H}} \text{ și } S' = 1,1 S$$

unde:

P = suma pierderilor în gol și a pierderilor în plină sarcină, exprimată în kW

S = secțiunea orificiului de intrare a aerului (aria deschiderilor sau fantelor de ventilație), exprimată în mm²

S' = secțiunea orificiului de ieșire a aerului (aria deschiderilor sau fantelor de ventilație), exprimată în mm²

H = înălțimea (între axele geometrice) măsurată între orificiul de intrare și cel de ieșire, exprimată în metri.

Relațiile sunt valabile la o temperatură ambiantă de 20° C și pentru o altitudine de până la 1000 m.

Trebuie subliniat că aceste formule ne ajută să obținem un ordin de mărime a secțiunilor S și S' care sunt considerate ca "secțiuni termice", adică complet deschise și strict necesare pentru evacuarea energiei termice generate în interiorul postului de transformare MT/JT.

În practică secțiunile sunt mai mari în funcție de soluția tehnologică adoptată.

Firește, fluxul de aer este puternic dependent de:

- forma deschiderilor și soluțiile adoptate pentru asigurarea gradului de protecție (IP);
- mărimea componentelor interne și poziția lor față de deschideri;
- diverși parametri ai mediului: temperatura exterioară, altitudinea, mărimea creșterilor de temperatură, etc.

Înțelegerea și optimizarea tuturor acestor fenomene sunt subiectul unor studii precise, bazate pe legile dinamicii fluidelor și se pot realiza cu programe de calcul.

Ventilația forțată

Ventilația forțată (prin ventilator electric) este necesară atunci când temperatura ambiantă depășește 20° C sau când cabina este slab ventilată, există suprasarcini frecvente la transformator, etc..

Ventilatorul poate fi comandat printr-un termostat.

Valorile recomandate ale fluxului de aer de răcire, în m³/sec., la 20° C sunt:

- transformatoare cu umplere totală: 0,081 x P;
- transformatoare uscate, clasă F: 0,05 x P.

unde P = pierderile totale, în kW.

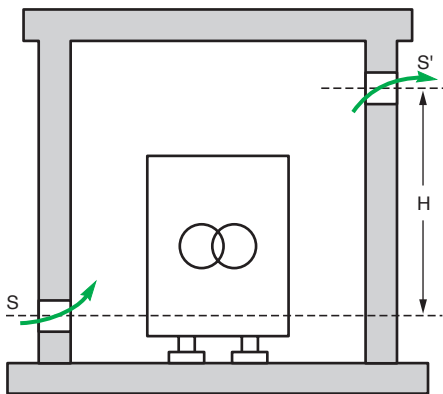


Fig. B28: Ventilație naturală.

5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT

B30

Un post de transformare tip consumator (abonat) cu măsura energiei pe partea de MT este o instalație electrică conectată la rețeaua electrică de distribuție publică, având tensiunea nominală cuprinsă între 1 și 35 kV. Acestea cuprind, în general, un singur transformator MT/JT care nu depășește puterea de 1250 kVA sau câteva transformatoare de mai mică putere. În mod normal, curentul nominal al aparatajului de comutație pe partea de MT, nu trebuie să depășească 400 A.

5.1 General

Funcții de bază

Postul de transformare

În funcție de complexitatea instalației și de numărul consumatorilor, postul de transformare trebuie să îndeplinească anumite condiții:

- poate să includă o cabină care să conțină celule cu aparatele de comutație și de măsură, precum și transformatorul împreună cu tablourile de distribuție de JT;
- poate să alimenteze una sau mai multe cabine în care se află transformatoarele împreună cu tablourile de distribuție la JT. Acestea sunt conectate la MT prin aparate de comutație plasate în postul de transformare principal, similar cu situația descrisă anterior.

Aceste posturi de transformare pot fi instalate în:

- interiorul unor clădiri, sau
- în exterior, în cabine prefabricate.

Conectarea la rețeaua de MT

Conectarea la MT poate fi:

- printr-un singur cablu sau linie aeriană, sau
- prin două separatoare de sarcină, interblocați mecanic, cu două cabluri, în cazul dublei alimentări, sau
- prin două separatoare de sarcină din componența unei "bucle" RMU (Ring Main Unit).

Măsura energiei

Înainte de începerea proiectării instalației este necesar să se realizeze un acord cu autoritatea furnizoare de energie, relativ la modul de realizare a măsurii energiei pentru decontare.

O celulă de măsură va fi încorporată în tabloul general de MT. Transformatoarele de tensiune și de curent, având precizia necesară, pot fi instalate în celula întreruptorului de intrare sau (este cazul transformatoarelor de tensiune) pot fi instalate separat, într-o celulă de măsură.

Boxele transformatoarelor

Dacă în instalație există mai multe boxe ale transformatoarelor, alimentate la MT din postul de transformare principal, se poate realiza prin câte un singur circuit, conectat fie direct la fiecare transformator, fie prin circuit dublu sau prin circuite "în buclă", în funcție de gradul de siguranță dorit.

În ultimele două cazuri, pentru fiecare boxă de transformator sunt necesare câte trei celule "bucă principală" RMU.

Generatoare locale de urgență

În cazul întreruperii sistemului de alimentare cu energie electrică, generatoarele locale de urgență au rolul de a asigura alimentarea unor receptori importanți.

Condensatoare

Condensatoarele vor fi instalate, în modul următor:

- în postul de transformare principal sub formă de baterii reglabile de condensatoare de MT, sau
- în cabina transformatorului, pe partea de JT.

Transformatoare

Din motive de siguranță suplimentară a alimentării, transformatoarele pot funcționa pe două sisteme de bare cu cuplă longitudinală deschisă dotată cu sistem automat de inversare a sursei sau pot funcționa în paralel.

Scheme monofilare

Schemele din **Figura B29** reprezintă:

- diferitele modalități de conectare la MT, care se încadrează în patru tipuri:
 - un singur circuit,
 - un singur circuit (pentru schimbare ulterioară în tipul "bucă principală"),
 - circuit dublu (interblocați mecanic),
 - circuit tip "bucă principală" RMU;
- protecția generală pe partea de MT și funcțiile de măsură la MT;
- protecția circuitelor de plecare de MT;
- protecția circuitelor de distribuție de JT.

5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT

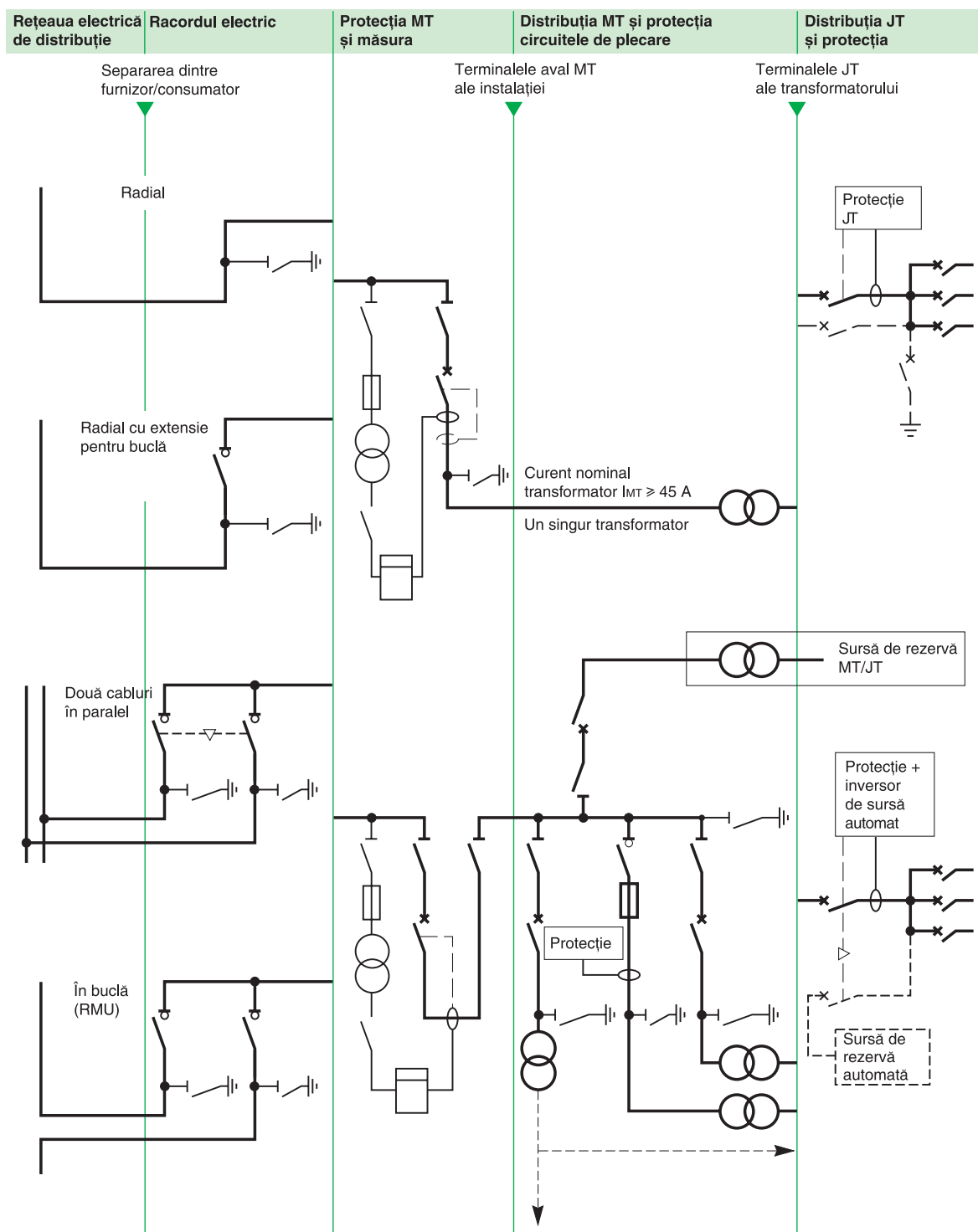


Fig. B29: Scheme de post trafa tip abonat cu celulă de măsură pe MT.

5.2 Alegerea celulelor

Un post de transformare cu măsurare pe partea de MT va cuprinde, pe lângă celule descrise la 4.2, celule special destinate măsurătorii energiei și, dacă se cere, celule dedicate pentru comutare manuală sau automată de la o sursă la alta.

Măsură și protecție generală

Aceste două funcții sunt îndeplinite prin asocierea a două celule:

- celula care conține transformatoarele de tensiune;
- celula întreruptorului principal de MT, care conține transformatoarele de curent destinate măsurii energiei și protecției.

Protecția generală se folosește în mod uzual împotriva supracurenților (suprasarcină și scurtcircuit) și a punerii la pământ. Ambele scheme folosesc relee de protecție care sunt sigilate de furnizorul de energie electrică.

Posturi de transformare conținând generatoare

Generator operând independent

Dacă instalația necesită o disponibilitate deosebită a energiei electrice poate fi prevăzut un grup generator operând pe bara de MT. În acest caz instalația trebuie să includă un sistem de comutare automată a alimentării pe sursa de rezervă. Pentru a evita posibilitatea punerii în paralel a generatorului cu rețeaua este nevoie de o celulă dedicată de comutare automată a alimentării (vezi Fig. B30).

Protecția

Dispozitive speciale de protecție sunt montate pentru a proteja generatorul. Trebuie reținut că trebuie acordată o atenție deosebită selectivității protecțiilor distribuției din aval, datorită puterii mici de scurtcircuit a generatorului în comparație cu cea a rețelei de alimentare.

Comanda

Un regulator de tensiune ce comandă un alternator este în general reglat încât să răspundă la o reducere a tensiunii la terminalele sale printr-o creștere automată a curentului de excitație al alternatorului, până când tensiunea ajunge la normal. Când acest alternator trebuie să opereze în paralel cu altele, dispozitivul AVR (Automatic Voltage Regulation, Regulator Automat de Tensiune) este comutat pe modul "operare în paralel" în care AVR funcționează ușor modificat pentru a asigura împărțirea puterii reactive cu celelalte mașini.

Când un număr de alternatoare funcționează în paralel, având reglaj prin AVR, creșterea curentului de excitație al unuia dintre ele (de exemplu prin comanda manuală, după trecerea AVR pe "comandă manuală") nu are, practic, nici un efect asupra valorii tensiunii. De fapt, generatorul în cauză va funcționa la un factor de putere mai mic (putere mai mare și deci curent mărit). Factorul de putere al celorlalte mașini va crește automat, astfel încât factorul de putere impus de receptor se va menține la valoarea inițială.

Generatoare funcționând în paralel cu rețeaua electrică de distribuție publică

Pentru a conecta un generator la rețeaua electrică de distribuție publică este nevoie de obicei de acordul furnizorului de energie electrică. În general totalitatea echipamentului (celule, relee de protecție, etc.) trebuie aprobate de către furnizorul de energie.

În continuare se prezintă câteva considerații de bază de care trebuie să se țină cont în privința protecției și comenzilor.

Protecția

Pentru a studia conectarea unui grup-generator furnizorul de energie are nevoie de următoarele date:

- puterea injectată în rețea,
- modul de conectare,
- curentul de scurtcircuit al generatorului,
- dezechilibrul de tensiune al generatorului,
- și altele.

În funcție de modul de conectare sunt cerute funcții de deconectare:

- protecție la minimă tensiune și la supratensiune,
- protecție la minimă frecvență și maximă frecvență,
- protecție la supratensiune homopolară,
- timpul maxim de conectare (pentru o cuplare trecătoare),
- puterea aparentă inversă.

Din motive de securitate celula folosită la deconectare trebuie să aibă caracteristicile unui separator (adică izolare totală a tuturor conductoarelor active între generator și rețeaua electrică).

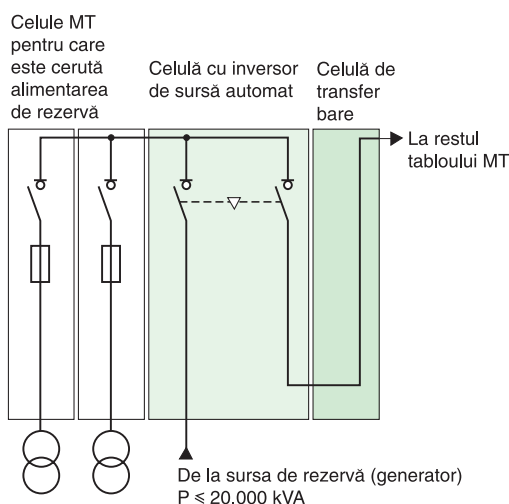


Fig. B30: Secție de tablou MT incluzând o celulă a alimentării de rezervă.

5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT

■ Comanda

Să considerăm cazul unui generator de intervenție dintr-un post de transformare, care funcționează în paralel cu rețeaua publică de alimentare, deci cu toate celelalte generatoare ale furnizorului.

Presupunem că, din motive operaționale (este uzual în rețeaua de MT a se executa reglaje de $\pm 5\%$ din tensiunea nominală sau chiar mai mult atunci când cerințele de exploatare o impun) se produce o scădere a tensiunii din sistem. Un AVR, reglat să mențină tensiunea în marja de $\pm 3\%$ (de exemplu), va acționa imediat în sensul creșterii tensiunii prin mărirea curentului de excitație al alternatorului. În loc de a se produce o creștere de tensiune, alternatorul va funcționa la un factor de putere mai mic, deci își va mări curentul debitat. Situația va continua până la o eventuală declanșare datorată releelor de suprasarcină. Aceasta este o problemă cunoscută care se rezolvă prin plasarea unui circuit de comandă al factorului de putere în componența AVR, care asigură funcția "factor de putere constant". Prin acesta, AVR va regla curentul de excitație pentru a-l pune în acord cu orice valoare de tensiune din sistem, menținând factorul de putere la o valoare reglată anterior (prin comanda AVR).

În cazul în care alternatorul se decuplează de la rețeaua de energie, releul AVR trebuie să comute automat și rapid pe poziția "tensiune constantă".

B33

5.3 Funcționarea în paralel a transformatoarelor

Necesitatea ca două sau mai multe transformatoare să funcționeze în paralel este des întâlnită și este datorată:

- mărimii curentului de sarcină, care depășește posibilitățile unui transformator existent;
- lipsei de spațiu (înălțime) pentru un transformator de mare putere;
- unei măsuri de siguranță (probabilitatea ca două transformatoare să se defecteze simultan este foarte mică);
- adoptării unui model standard de transformator pentru întreaga instalație.

Puterea totală (kVA)

Atunci când două sau mai multe transformatoare, de aceeași putere, sunt conectate în paralel, puterea totală este egală cu suma puterilor fiecăruia. Aceasta este valabil dacă impedențele sunt egale între ele și tensiunile sunt identice. Transformatoarele cu puteri diferite vor debita curenți de sarcină proporțional cu puterile lor (în mod aproximativ), admițând că tensiunile lor sunt identice iar impedențele procentuale (în raport cu puterea) sunt egale sau aproximativ egale. În aceste cazuri, puterea disponibilă este mai mult de 90% din suma celor două puteri unitare. Se recomandă ca două transformatoare cu puteri nominale aflate în raport de mai mult de 2:1, să nu fie utilizate la funcționare în paralel în regim de durată.

Condiții de funcționare în paralel

Toate transformatoarele operând în paralel trebuie să fie alimentate de la aceeași rețea.

Curenții de circulație între înfășurările secundare, conectate în paralel vor fi neglijabili, dacă:

- conductoarele de conectare, de la transformatoare la punctul de conectare în paralel vor avea lungimi aproximativ egale și aceleași caracteristici;
- producătorul transformatoarelor este consultat asupra regimului de funcționare care se intenționează a se utiliza și deci:
 - ☐ configurațiile înfășurărilor (stea, triunghi, zig-zag) diferitelor transformatoare au același defazaj între tensiunile primare și secundare,
 - ☐ impedențele (tensiunile) procentuale de scurtcircuit sunt egale sau diferă prin mai puțin de 10%,
 - ☐ diferențele de tensiuni între fazele corespunzătoare nu trebuie să depășească 0,4%,
- producătorul trebuie să primească toate datele relativ la regimurile de funcționare utilizate, în scopul de a optimiza pierderile în sarcină și la mersul în gol.

5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT

B34

Conexiuni uzuale ale înfășurărilor

Așa cum s-a prezentat în subcapitolul 4.4 "Caracteristici electrice" relațiile între înfășurările primare, secundare și terțiare depind de:

- tipul înfășurărilor (triunghi, stea, zig-zag);
- conexiunea dintre înfășurările de pe o fază;

De exemplu, tensiunile produse depind de care dintre terminalele înfășurărilor formează centrul conexiunii în stea. Tensiunile vor fi defazate cu 180° dacă se inversează terminalele înfășurărilor care formează centrul stelei. Același defazaj de 180° se produce în cazul celor două posibilități de a conecta înfășurările pe fază la conexiunea triunghi, în timp ce în cazul conexiunii zig-zag sunt patru combinații posibile;

- defazajul tensiunilor secundare pe fază, în raport cu tensiunile primare corespunzătoare.

Așa cum s-a arătat, acest defazaj (dacă nu este nul) va fi întotdeauna un multiplu de 30° și va depinde de doi factori și anume, tipul înfășurării și conexiunea (polaritatea) înfășurărilor de pe o fază.

În cazul transformatoarelor de distribuție, configurația cea mai uzuală este tipul Dyn11 (vezi Fig. B31).

În România configurația cea mai uzuală este Dyn5, fiind în general acceptată și Dyn11.

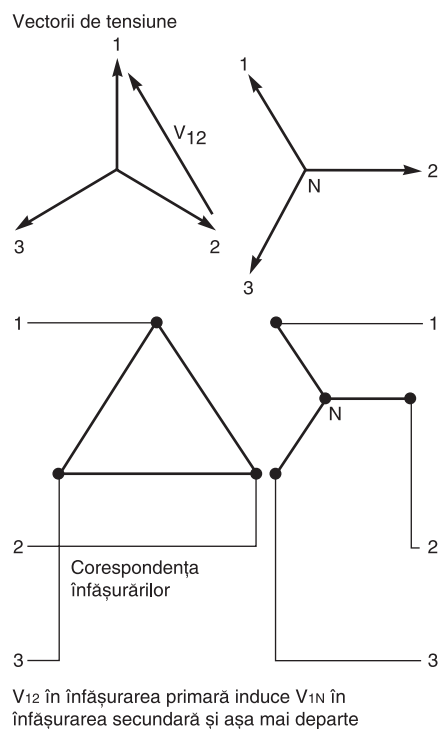


Fig. B31: Rotația fazelor pentru un transformator Dyn11.

6 Componenta diferitelor tipuri de posturi de transformare

Posturile de transformare de distribuție MT/JT se construiesc în funcție de mărimea consumatorilor și de felul rețelei de alimentare cu energie electrică. Posturile de transformare pot fi construite în locuri publice cum sunt parcurile, cartiere de locuit, etc. sau în construcții cu caracter privat, caz în care autoritatea furnizoare trebuie să aibă un acces nelimitat. În mod normal, acestea se asigură prin aceea că unul din pereții postului de transformare, care include o ușă de intrare coincide cu limita construcției respective și are acces direct la un drum public.

B35

6.1 Diferite tipuri de posturi de transformare

Posturile de transformare pot fi clasificate în funcție de modul de efectuare a măsurii (la MT sau JT) sau după modul de alimentare (prin linie aeriană sau subterană). Posturile de transformare pot fi instalate:

- în interior în camere (cabine) special construite în acest scop sau încorporate în structura clădirii, sau
 - în exterior unde pot fi:
 - într-o construcție din cărămidă, beton sau prefabricată, cu echipament de interior (celule și transformator),
 - cu montare la sol cu echipament de exterior (celule și transformator),
 - cu montare pe stâlpi cu echipament de exterior dedicat (celule și transformator).
- Posturile de transformare prefabricate sunt o alegere particulară, simplă și economică.

6.2 Posturi de transformare de interior

Concepție

Figura B32 arată echipamentele tipice pentru un post de transformare cu măsura energiei electrice pe partea de joasă tensiune.

Remarcă: Folosirea unui transformator uscat cu izolație în rășină, elimină necesitatea unei bașe de colectare a uleiului. Oricum, curățenia periodică este necesară.

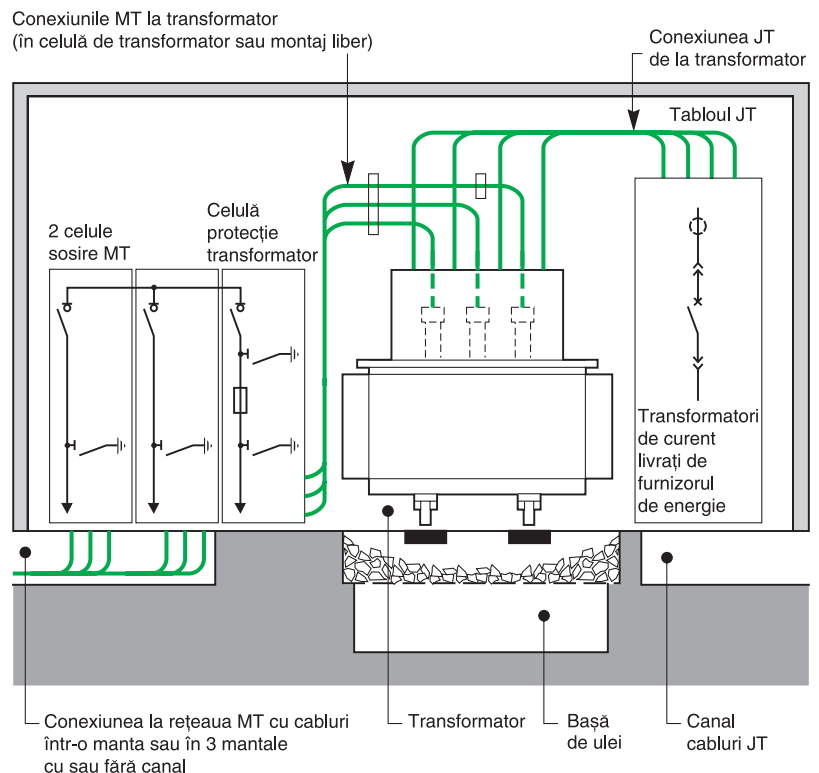


Fig. B32: Planul unui post de transformare cu măsură pe JT.

6 Componenta diferitelor tipuri de posturi de transformare

B36

Conexiuni și alegerea echipamentului

Pe partea de medie tensiune:

- conexiunile la rețeaua de MT se execută și sunt în responsabilitatea furnizorului de energie electrică;
- conexiunile între aparatajul de comutație de MT și transformator se pot realiza:
 - prin bare de cupru, de lungime redusă, atunci când transformatorul este plasat într-o celulă făcând parte din tabloul de distribuție de MT,
 - prin cabluri monofazate, ecranate, având izolație sintetică, cu posibilitatea conectării la bornele tip broșă ale transformatorului.

Pe partea de joasă tensiune:

- conexiunile între bornele de JT ale transformatorului și tabloul de distribuție de JT se pot realiza:
 - prin cabluri monofazate,
 - prin bare de cupru (de secțiune circulară sau dreptunghiulară) cu izolație termocontractabilă.

Echipament de măsură (vezi Fig. B33)

- transformatoarele de măsură de curent sunt în general instalate în interiorul carcasei de protecție a bornelor de JT ale transformatorului de putere. Această carcasă este sigilată de furnizorul de energie electrică;
- altă variantă constă în plasarea transformatoarelor de curent într-un compartiment sigilat din cadrul panoului de intrare al distribuției la JT;
- echipamentele de măsură trebuie instalate într-un panou (dulap) care este complet ferit de vibrații;
- echipamentele de măsură trebuie plasate, pe cât posibil, foarte aproape de transformatoarele de măsură, și sunt accesibile numai furnizorului de energie electrică.

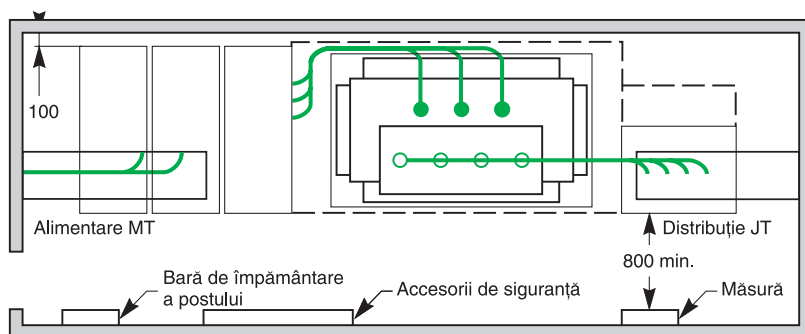


Fig. B33: Planul unui post de transformare cu măsură pe JT.

Circuite de împământare

Postul de transformare trebuie să fie prevăzut cu:

- priză de pământ pentru toate părțile conductoare expuse ale echipamentului electric și pentru părțile metalice accesibile, cum ar fi:
 - ecranele metalice de protecție,
 - barele metalice din betonul armat al fundației din postul de transformare.

Iluminatul în postul de transformare

Alimentarea circuitelor de iluminat se poate face fie din amonte, fie din aval de întreruptorul principal de JT. În ambele cazuri trebuie prevăzută o protecție adecvată la supracurenți. Un circuit separat cu funcționare automată este recomandat pentru iluminatul de avarie.

Întreruptoarele, butoanele, etc. care comandă circuitul de iluminat trebuie amplasate în apropierea intrărilor în post.

Circuitele de iluminat trebuie să asigure că:

- manetele de comandă ale aparatajului de comutație precum și indicatoarele de poziție să fie bine iluminate;
- toate cadranele și plăcile indicatoare sau de instrucțiuni (s.a.m.d.) să poată fi citite cu ușurință.

6 Componenta diferitelor tipuri de posturi de transformare

B37

Materiale pentru exploatare și securitate

În conformitate cu regulile de securitate locale, postul de transformare trebuie să fie dotat cu:

- materiale care să asigure exploatarea sigură a echipamentului, constituite din:
 - o platformă izolantă sau/și un covor izolant (din cauciuc sau sintetic),
 - o pereche de mănuși izolante, păstrate într-un loc adecvat,
 - un dispozitiv de detectare a prezenței tensiunii, utilizabil în cadrul echipamentului de MT,
 - legături de punere la pământ (scurtcircuitoare), în acord cu tipul de aparat de comutație;
- extincitoare cu pulbere sau CO₂;
- simboluri de avertizare, inscripții și alarme de siguranță, plasate astfel:
 - pe fața exterioară a ușilor de acces, o placă de avertizare PERICOL și o inscripție de interdicere a intrării, împreună cu instrucțiuni de prim ajutor în caz de accident prin electrocutare.



Fig. B34: Post de transformare de exterior cu cabină - cu operare din interior

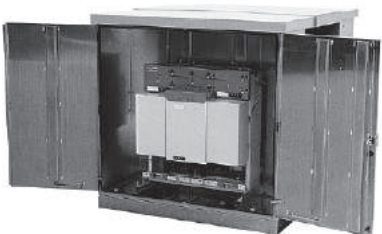


Fig. B35: Post de transformare de exterior cu cabină - cu operare din exterior.



Fig. B36: Post de transformare de exterior fără cabină.

6.3 Posturi de transformare de exterior

Posturi de transformare de exterior cu cabină

Cu operare din interior (vezi Fig. B34)

În cazul posturilor de transformare complexe, care folosesc circuite de tip "inel principal" RMU sau conțin mai multe întreruptoare de putere, se utilizează în mod curent cabine protejate contra intemperiilor și a altor pericole.

Printre avantajele acestor cabine, enumerăm:

- optimizarea economică și din punct de vedere al siguranței în exploatare prin:
 - alegerea potrivită a tipului de cabină, în cadrul unei game largi disponibile,
 - conformitatea cu standardele internaționale existente precum și cu cele din perspectivă;
- reducerea timpului de studiu și de proiectare, precum și a costurilor de instalare, prin:
 - coordonarea minimă între activitățile de construcție și amenajările locale care sunt necesare,
 - realizarea independentă față de construcția principală aflată în lucru,
 - simplificarea lucrărilor de construcție, prin realizarea unei fundații sub forma unui soclu de beton;
- simplitate în instalarea echipamentului și realizarea conexiunilor.

Cu operare din exterior (vezi Fig. B35)

Acest tip este similar cu cel cu operare din interior. În general nu poate fi folosit ca post de distribuție publică.

Post de transformare de exterior fără cabină (vezi Fig. B36)

Aceste tipuri de posturi de transformare de exterior sunt utilizate în mod curent în unele țări și se bazează pe utilizarea unui echipament rezistent la intemperii, care este plasat în exterior.

Acestea cuprind o zonă îngrădită în care sunt instalate trei sau mai multe socluri de beton:

- pentru echipamentul "inel principal" RMU sau pentru unul sau mai multe separatoare de sarcină cu siguranțe, eventual întreruptoare de putere;
- pentru unul sau mai multe transformatoare, și
- pentru unul sau mai multe tablouri de distribuție de JT.

Posturi de transformare amplasate pe stâlpi

Domeniul de aplicație

Acest tip de post de transformare este destinat în principal la alimentarea consumatorilor rurali izolați, prin conectare la o linie aeriană de MT.

Componentă

În aceste tipuri de posturi de transformare protecția transformatorului este asigurată cel mai adesea cu fuzibile.

Sunt prevăzuți descărcători pentru protejarea transformatorului și consumatorilor așa cum este arătat în Fig. B37 de pe pagina următoare.

Reguli generale

Așa cum s-a arătat și mai înainte amplasarea postului de transformare trebuie să permită accesul utilajelor grele pentru manevrarea echipamentului, și accesul personalului de exploatare.

6 Componenta diferitelor tipuri de posturi de transformare

B38

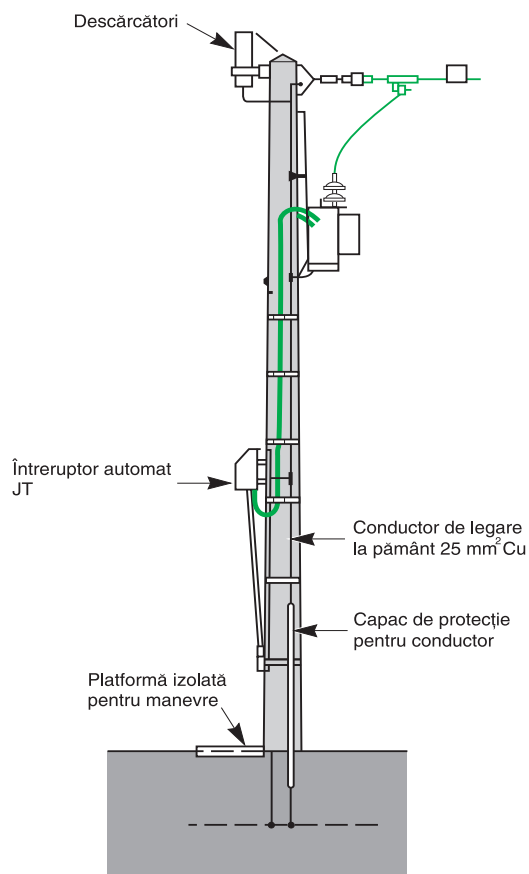


Fig. B37: Post de transformare montat pe stâlp.

Capitolul C

Conectarea la rețeaua de distribuție de joasă tensiune

Cuprins

1	Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie	C2
	1.1 Consumatori la joasă tensiune	C2
	1.2 Rețelele de distribuție de joasă tensiune	C10
	1.3 Conectarea consumatorului la rețea	C11
	1.4 Calitatea tensiunii de alimentare	C15
2	Măsura energiei și tarifele	C16

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C2

Alimentările de JT cele mai comune sunt între 120 V monofazat și 240/415 V trifazat cu patru conductoare.

Sarcinile de până la 250 kVA pot fi alimentate la JT, dar furnizorii de energie electrică propun în general alimentarea la MT la nivele de sarcină peste care rețelele lor de JT sunt utilizate la maxim.

Tensiunea internațională standardizată pentru sisteme trifazate de JT cu patru conductoare recomandată de CEI 60038 este de 230/400 V.

1.1 Consumatorii la joasă tensiune

În Europa perioada de tranziție pentru trecerea la tensiunea de 230 V/400 V, $\pm 10\%$ a fost extinsă pentru alți 5 ani, adică până în anul 2008.

Consumatorii de joasă tensiune sunt prin definiție acei consumatori a căror receptoare electrice pot fi alimentate satisfăcător de la rețeaua electrică de distribuție publică de joasă tensiune din localitate.

Tensiunea rețelei locale de joasă tensiune poate fi de 120/208 V sau 240/415 V, adică extremele inferioară sau superioară ale nivelelor monofazate/trifazate sau niveluri intermediare precum în **Tab. C1**.

Tensiunea internațională standardizată pentru sisteme trifazate de joasă tensiune cu patru conductoare recomandată de CEI 60038 este de 230/400 V.

Sarcinile de până la 250 kVA pot fi alimentate la joasă tensiune, dar furnizorii de energie electrică propun în general alimentarea la medie tensiune la nivele de sarcină pentru care rețelele lor de joasă tensiune sunt la limita utilizării.

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Afganistan	50 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)
Africa de Sud	50 \pm 2,5	433/250 (a) 400/230 (a) 380/220 (a) 220 (k)	11.000 6.600 3.300 433/250 (a) 400/230 (a) 380/220 (a)	11.000 6.600 3.300 500 (b) 380/220 (a)
Algeria	50 \pm 1,5	220/127 (e) 220 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)	10.000 5.500 6.600 380/220 (a)
Angola	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Arabia Saudită	60	220/127 (a)	220/127 (a) 380/220 (a)	11.000 7.200 380/220 (a)
Antigua și Barbuda	60	240 (k) 120 (k)	400/230 (a) 120/208 (a)	400/230 (a) 120/208 (a)
Argentina	50 \pm 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	
Armenia	50 \pm 5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Australia	50 \pm 0,1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 440/250 (a) 440 (m)	22.000 11.000 6.600 415/240 440/250
Austria	50 \pm 0,1	230 (k)	380/230 (a) (b) 230 (k)	5.000 380/220 (a)
Azerbaidjan	50 \pm 0,1	208/120 (a) 240/120 (k)	208/120 (a) 240/120 (k)	
Bahrain	50 \pm 0,1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11.000 415/240 (a) 240 (k)
Bangladesh	50 \pm 2	410/220 (a) 220 (k)	410/220 (a)	11.000 410/220 (a)
Barbados	50 \pm 6	230/115 (j) 115 (k)	230/115 (j) 200/115 (a) 220/115 (a)	230/400 (g) 230/155 (j)
Belarus	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Belgia	50 \pm 5	230 (k) 230 (a) 3N, 400	230 (k) 230 (a) 3N, 400	6.600 10.000 11.000 15.000
Bolivia	50 \pm 0,5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Botswana	50 \pm 3	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)

Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Brazilia	60	220 (k) 127 (k)	220/380 (a) 127/220 (a)	13.800 11.200 220/380 (a) 127/220 (a)
Brunei	50 ± 2	230	230	11.000 68.000
Bulgaria	50 ± 0,1	220	220/240	1.000 690 380
Cambogia	50 ± 1	220 (k)	220/300	220/380
Camerun	50 ± 1	220/260 (k)	220/260 (k)	220/380 (a)
Canada	60 ± 0,02	120/240 (j)	347/600 (a) 480 (f) 240 (f) 120/240 (j) 120/208 (a)	7.200/12.500 347/600 (a) 120/208 600 (f) 480 (f) 240 (f)
Cehia	50 ± 1	230	500 230/400	400.000 220.000 110.000 35.000 22.000 10.000 6.000 3.000
Chile	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
China	50 ± 0,5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Ciad	50 ± 1	220 (k)	220 (k)	380/220 (a)
Cipru	50 ± 0,1	240 (k)	415/240	11.000 415/240
Columbia	60 ± 1	120/240 (g) 120 (k)	120/240 (g) 120 (k)	13.200 120/240 (g)
Congo	50	220 (k)	240/120 (j) 120 (k)	380/220 (a)
Corea	60	100 (k)	100/200 (j)	
Corea de Nord	60 (+0, -5)	220 (k)	220/380 (a)	13.600 6.800
Croația	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Danemarca	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	400/230 (a)
Djibouti	50		400/230 (a)	400/230 (a)
Egipt	50 ± 0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	66.000 33.000 20.000 11.000 6.600 380/220 (a)
Elveția	50 ± 2	400/230 (a)	400/230 (a)	20.000 10.000 3.000 1.000 690/500
Emiratele Arabe	50 ± 1	220 (k)	415/240 (a) 380/220 (a) 220 (k)	6.600 415/210 (a) 380/220 (a)
Estonia	50 ± 1	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Etiopia	50 ± 2,5	220 (k)	380/231 (a)	15 000 380/231 (a)
Falkland (Insulele)	50 ± 3	230 (k)	415/230 (a)	415/230 (a)
Fidji (Insulele)	50 ± 2	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11.000 415/240 (a)
Filipine	60 ± 0,16	110/220 (j)	13.800 4.160 2.400 110/220 (h)	13.800 4.160 2.400 440 (b) 110/220 (h)
Finlanda	50 ± 0,1	230 (k)	400/230 (a)	690/400 (a) 400/230 (a)

Tab. C1: Tensiunea rețelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C4

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Franța	50 ±1	400/230 (a) 230 (a)	400/230 690/400 590/100	20.000 10.000 230/400
Gambia	50	220 (k)	220/380	380
Georgia	50 ±0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Germania	50 ±0,3	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	20.000 10.000 6.000 690/400 400/230
Ghana	50 ±5	220/240	220/240	415/240 (a)
Gibraltar	50 ±1	415/240 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)
Grecia	50	220 (k) 230	6.000 380/220 (a)	22.000 20.000 15.000 6.600
Grenada	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Hong Kong	50 ±2	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	11.000 386/220 (a)
India	50 ± 1,5	440/250 (a) 230 (k)	440/250 (a) 230 (k)	11.000 400/230 (a) 440/250 (a)
Islanda	50 ±0,1	230	230/400	230/400
Insulele Capului Verde		220	220	380/400
Insulele Solomon	50 ± 2	240	415/240	415/240
Indonezia	50 ± 2	220 (k)	380/220 (a)	150.000 20.000 380/220 (a)
Iordania	50	380/220 (a) 400/230 (k)	380/220 (a)	400 (a)
Iran	50 ± 5	220 (k)	380/220 (a)	20.000 11.000 400/231 (a) 380/220 (a)
Irak	50	220 (k)	380/220 (a)	11.000 6.600 3.000 380/220 (a)
Irlanda	50 ± 2	230 (k)	400/230 (a)	20.000 10.000 400/230 (a)
Israel	50 ± 0,2	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	22.000 12.600 6.300 400/230 (a)
Italia	50 ± 0,4	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	20.000 15.000 10.000 400/230 (a)
Jamaica	50 ± 1	220/110 (g) (j)	220/110 (g) (j)	4.000 2.300 220/110 (g)
Japonia	+ 0,1 - 0,3	200/100 (h)	200/100 (h) (până la 50 kW)	140.000 60.000 20.000 6.000 200/100 (h)
Kazahstan	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Kenya	50	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Kirgizstan	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Kuweit	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Laos	50 ± 8	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)

Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C5

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Lesotho		220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Letonia	50 ± 0,4	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Liban	50	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Libia	50	230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a) 230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a)
Lituania	50 ± 0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Luxemburg	50 ± 0,5	380/220 (a)	380/220 (a)	20.000 15.000 5.000
Macedonia	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10.000 6.600 380/220 (a)
Madagascar	50	220/110 (k)	380/220 (a)	35.000 5.000 380/220
Malaezia	50 ± 1	240 (k) 415 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)
Malawi	50 ± 2,5	230 (k)	400 (a) 230 (k)	400 (a)
Mali	50	220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) 220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)
Malta	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Marea Britanie (fără Irlanda de Nord)	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	22.000 11.000 6.600 3.300 400/230 (a)
Marea Britanie (cu Irlanda de Nord)	50 ± 0,4	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	400/230 (a) 380/220 (a)
Maroc	50 ± 5	380/220 (a)	380/220 (a)	225.000
Martinica	50	127 (k)	220/127 (a) 127 (k)	220/127 (a)
Mauritania	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Mexic	60 ± 0,2	127/220 (a) 220 (k) 120 (l)	127/220 (a) 220 (k) 120 (l)	13.800 13.200 277/480 (a) 127/220 (b)
Moldova	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Mozambic	50	380/220 (a)	380/220 (a)	6.000 10.000
Nepal	50 ± 1	220 (k)	440/220 (a) 220 (k)	11.000 440/220 (a)
Noua Zeelandă	50 ± 1,5	400/230 (e) (a) 230 (k) 460/230 (e)	400/230 (e) (a) 230 (k)	11.000 400/230 (a)
Niger	50 ± 1	230 (k)	380/220 (a)	15.000 380/220 (a)
Nigeria	50 ± 1	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	15.000 11.000 400/230 (a) 380/220 (a)
Norvegia	50 ± 2	230/400	230/400	230/400 690
Olanda	50 ± 0,4	230/400 (a) 230 (k)	230/400 (a)	25.000 20.000 12.000 10.000 230/400

Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C6

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Oman	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
Pakistan	50	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Papua Noua Guinee	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	22.000 11.000 415/240 (a)
Paraguay	50 ± 0,5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	22.000 380/220 (a)
Polonia	50 ± 0,1	230 (k)	400/230 (a)	1.000 690/400 400/230 (a)
Portugalia	50 ± 1	380/220 (a) 220 (k)	15.000 5.000 380/220 (a) 220 (k)	15.000 5.000 380/220 (a)
Qatar	50 ± 0,1	415/240 (k)	415/240 (a)	11.000 415/240 (a)
Republica Dominicană	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
România	50 ± 0,5	220 (k) 220/380 (a)	220/380 (a)	20.000 10.000 6.000 220/380 (a)
Ruanda	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	15.000 6.600 380/220 (a)
Rusia	50 ± 0,2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Santa Lucia	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	11.000 415/240 (a)
Samoa		400/230		
San Marino	50 ± 1	230/220	380	15.000 380
Senegal	50 ± 5	220 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (k)	90.000 30.000 6.600
Serbia și Muntenegru	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10.000 6.600 380/220 (a)
Seychelles	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	11.000 400/230 (a)
Sierra Leone	50 ± 5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11.000 400
Singapore	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	22.000 6.600 400/230 (a)
Siria	50	220 (k) 115 (k)	380/220 (a) 220 (k) 200/115 (a)	380/220 (a)
Slovacia	50 ± 0,5	230	230	230/400
Slovenia	50 ± 0,1	220 (k)	380/220 (a)	10.000 6.600 380/220 (a)
Somalia	50	230 (k) 220 (k) 110 (k)	440/220 (j) 220/110 (j) 230 (k)	440/220 (g) 220/110 (g)
Spania	50 ± 3	380/220 (a) (e) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) (e)	15.000 11.000 380/220 (a)
Sri Lanka	50 ± 2	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11.000 400/230 (a)
S.U.A Charlotte (Carolina de Nord)	60 ± 0,06	120/240 (j) 120/208 (a)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)	14.400 7.200 2.400 575 (f) 460 (f) 240 (f) 265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)

Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C7

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
S.U.A Detroit (Michigan)	60 ± 0,2	120/240 (j) 120/208 (a)	480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)	13.200 4.800 4.160 480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)
S.U.A Los Angeles (California)	60 ± 0,2	120/240 (j)	4.800 120/240 (g)	4.800 120/240 (g)
S.U.A Miami (Florida)	60 ± 0,3	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/240 (h) 120/208 (a)	13.200 2.400 480/277 (a) 120/240 (h)
S.U.A New York (New York)	60	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/208 (a) 240 (f)	12.470 4.160 277/480 (a) 480 (f)
S.U.A Pittsburg (Pennsylvania)	60 ± 0,03	120/240 (j)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)	13.200 11.500 2.400 265/460 (a) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)
S.U.A Portland (Oregon)	60	120/240 (j)	227/480 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)	19.900 12.000 7.200 2.400 277/480 (a) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)
S.U.A San Francisco (California)	60 ± 0,08	120/240 (j)	277/480 (a) 120/240 (j)	20.800 12.000 4.160 277/480 (a) 120/240 (g)
S.U.A Toledo (Ohio)	60 ± 0,08	120/240 (j) 120/208 (a)	277/480 (c) 120/240(h) 120/208 (j)	12.470 7.200 4.800 4.160 480 (f) 277/480 (a) 120/208 (a)
Sudan	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
Swaziland	50 ± 2,5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11.000 400/230 (a)
Suedia	50 ± 0,5	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	6.000 400/230 (a)
Tadjikistan	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Tanzania	50	400/230 (a)	400/230 (a)	11.000 400/230 (a)
Thailanda	50	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Togo	50	220 (k)	380/220 (a)	20.000 5.500 380/220 (a)
Tunisia	50 ± 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	30.000 15.000
Turkmenistan	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Turcia	50 ± 1	380/220 (a)	380/220 (a)	15.000 6.300 380/220 (a)

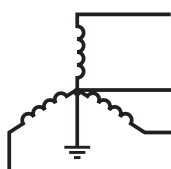
Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

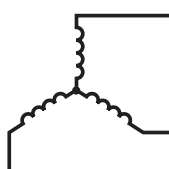
C8

Țara	Frecvența și toleranța (Hz & %)	Domestic (V)	Comercial (V)	Industrial (V)
Uganda	+ 0.1	240 (k)	415/240 (a)	11.000 415/240 (a)
Ucraina	+ 0.2/- 1.5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Ungaria	50 ± 5	220	220	220/380
Uruguay	50 ± 1	220 (b) (k)	220 (b) (k)	15.000 6.000 220 (b)
Vietnam	50 ± 0,1	220 (k)	380/220 (a)	35.000 15.000 10.000 6.000
Yemen	50	250 (k)	440/250 (a)	440/250 (a)
Zambia	50 ± 2,5	220 (k)	380/220 (a)	380 (a)
Zimbabwe	50	225 (k)	390/225 (a)	11.000 390/225 (a)

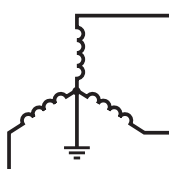
Diagramele circuitelor:



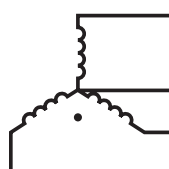
(a) Trifazat stea; patru conductoare; neutrul legat la pământ



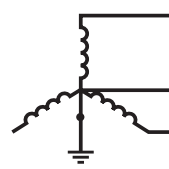
(b) Trifazat stea; trei conductoare



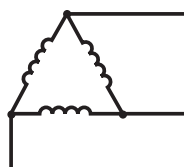
(c) Trifazat stea ; trei conductoare; neutrul legat la pământ



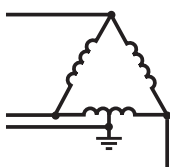
(d) Trifazat stea; patru conductoare; neutrul izolat



(e) Doua faze stea; trei conductoare; neutrul legat la pământ



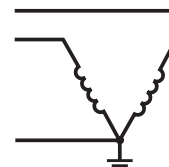
(f) Trifazat triunghi; trei conductoare



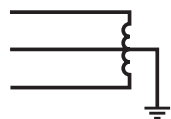
(g) Trifazat triunghi; patru conductoare; mijlocul unei faze legat la pământ



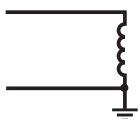
(h) Trifazat triunghi deschis; patru conductoare; mijlocul unei faze legat la pământ



(i) Trifazat triunghi deschis; trei conductoare; o fază legată la pământ



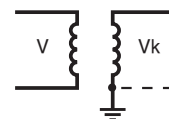
(j) Monofazic; trei conductoare; mijlocul legat la pământ



(k) Monofazic; două conductoare; capatul legat la pământ



(l) Monofazic; două conductoare; nelegat la pământ



(m) Monofazic; un fir, returul prin pământ



(n) Curent continuu; trei conductoare; nelegat la pământ

Tab. C1: Tensiunea rețelilor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (sfârșit).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

Consumatori de tip rezidențial sau comercial

Funcția unui distribuitor de rețea de joasă tensiune este să asigure racordarea (aerian sau subteran) a unui număr de consumatori de-a lungul traseului. Cerințele de dimensionare al distribuitorului sunt estimate în funcție de numărul de consumatori ce urmează a fi racordați și de puterea medie cerută pe consumator. Cei doi parametri principali care limitează un distribuitor sunt:

- curenul maxim pe care este capabil să-l transporte în regim permanent;
- lungimea maximă a distribuitorului, care este dictată de căderea de tensiune maxim admisibilă, atunci când se transportă curenul maxim.

Aceste restricții înseamnă că sarcinile pe care operatorii de distribuție sunt dispuși să le conecteze la rețeaua de distribuție sunt în mod explicit limitate.

Pentru domeniul de sisteme de JT menționate în paragraful al doilea al subcapitolului 1.1 și anume de la 120 V monofazat până la 240/415 V trifazat, sarcinile maxime permise a fi conectate la rețeaua de distribuție de JT pot fi⁽¹⁾: (vezi **Tab. C2**.)

Sistem	Curenul maxim pe consumator racordat	kVA
120 V 1 fază, 2 conductoare	60 A	7,2
120/240 V 1 fază, 3 conductoare	60 A	14,4
120/208 V 3 faze, 4 conductoare	60 A	22
220/380 V 3 faze, 4 conductoare	120 A	80
230/400 V 3 faze, 4 conductoare	120 A	83
240/415 V 3 faze, 4 conductoare	120 A	86

Tab. C2: Sarcinile maxime permise a fi conectate pe un distribuitor de joasă tensiune.

În practică există variații considerabile de la un furnizor de energie electrică la altul și nu pot fi date valori "standard".

Factorii ce trebuie luați în considerare sunt:

- dimensiunea unei linii de distribuție (distribuitor) existentă la care trebuie conectată o sarcină nouă;
- totalul sarcinilor deja conectate la linia de distribuție;
- plasarea în lungul liniei de distribuție a noii sarcini propuse, adică aproape de postul de transformare sau aproape de capătul liniei de distribuție, etc.

Pe scurt, fiecare caz trebuie examinat în particular.

Nivelele de sarcină listate mai sus sunt adecvate pentru toți consumatorii casnici, precum și pentru clădiri administrative și comerciale.

Consumatori industriali de putere medie și mică (cu cabluri proprii de alimentare la JT direct dintr-un post de transformare de distribuție publică MT/JT)

Consumatorii industriali de putere medie și mică pot fi alimentați în mod satisfăcător la joasă tensiune.

Pentru sarcini care depășesc limita maximă permisă pentru o linie de distribuție, poate fi instalat un cablu special de la același post de transformare de la care pleacă linia de distribuție.

În principiu, limita maximă a sarcinii care poate fi alimentată astfel este determinată numai de parametrii transformatorului din postul de transformare.

Cu toate acestea, în practică:

- sarcinile mari (peste 300 kVA) necesită în mod corespunzător cabluri cu secțiune mare, astfel că, în afară de situația în care sarcina este plasată aproape de postul de transformare, această soluție poate fi nefavorabilă din punct de vedere economic;
 - mulți furnizori de energie electrică preferă să alimenteze la medie tensiune sarcinile ce depășesc 200 kVA (această mărime variază în funcție de furnizor).
- Pe baza acestor considerente, liniile de alimentare recomandate la JT (de la 220/380 V la 240/415 V) sunt recomandate pentru un domeniu de sarcini de la 80 kVA la 250 kVA.

Consumatorii obișnuiți alimentați la JT sunt:

- locuințe;
- spații comerciale;
- fabrici mici, spații de lucru, benzinării;
- restaurante;
- ferme, etc.

(1) Valorile indicate în **Tabelul C2** sunt numai orientative, fiind (arbitrar) bazate pe 60 A, curenul maxim de serviciu pe consumator racordat pentru primele trei sisteme, din cauza căderilor de tensiune maxime admise. Valorile pentru următoarele trei sisteme sunt (din nou arbitrar) bazate pe un curenul maxim de serviciu pe consumator racordat de 120 A.

În orașele mari, cablurile de distribuție de JT standardizate sunt legate în cutii de distribuție formând o rețea. O parte din legături sunt secționare, astfel că fiecare linie de distribuție care pleacă de la postul de transformare formează un sistem arborescent radial deschis, după cum este prezentat în Fig. C3.

C10

1.2 Rețelele de distribuție de joasă tensiune

În țările europene nivelurile de tensiune a liniilor principale de distribuție trifazate cu 4 conductoare sunt 220/380 V, 230/400 V. Mai multe țări sunt în curs de implementare a tensiunii stabilite prin ultimul standard (CEI 60038), care este de 230/400 V.

Orașele mari și mijlocii au sisteme de linii de distribuție subterane. Posturile de transformare de distribuție publică MT/JT sunt așezate la distanțe de 500 - 600 m și sunt în mod obișnuit echipate cu:

- tablouri de distribuție cu 3 sau 4 celule de linie care conțin în general separatoare de sarcină de intrare și ieșire, care fac parte dintr-un inel principal, și 1 sau 2 întreruptoare de MT sau combinații separator de sarcină - siguranțe fuzibile pentru circuitele de protecție transformator;
- unul sau două transformatoare MT/JT de 1000 kVA;
- unul sau două tablouri de distribuție de JT (cuplate), trifazate, cu siguranțe fuzibile sau cu întreruptoare automate, protejând plecările în cabluri cu 4 conductoare, denumite "distribuitori".

Ieșirea de la transformator este conectată la barele de JT printr-un separator de sarcină sau pur și simplu printr-o legătură de izolare.

În zonele cu consum mare de energie electrică se stabilește o lungime standard a liniei principale de distribuție, luată drept standard pentru formarea unei rețele. În acest sens este pozat câte un cablu de-a lungul fiecărui trotuar, iar la intersecțiile străzilor se plasează câte o cutie de conexiuni cu 4 linii, plasată într-o nișă, poziția acestuia coincidând cu punctele de intersecție a doi "distribuitori".

Tendința actuală este de a se crea cabine supaterane, protejate la intemperii, plasate la perete sau unde este posibil încastrate în perete.

Legăturile sunt inserate astfel ca liniile principale de distribuție de la postul de transformare să formeze circuite radiale cu ramuri deschise (vezi Fig. C3.).

Când o cutie de distribuție unește o linie principală de distribuție de la un post de transformare cu alta de la un post de transformare învecinat, legăturile de fază sunt întrerupte, în timp ce conductorul de neutru rămâne conectat.

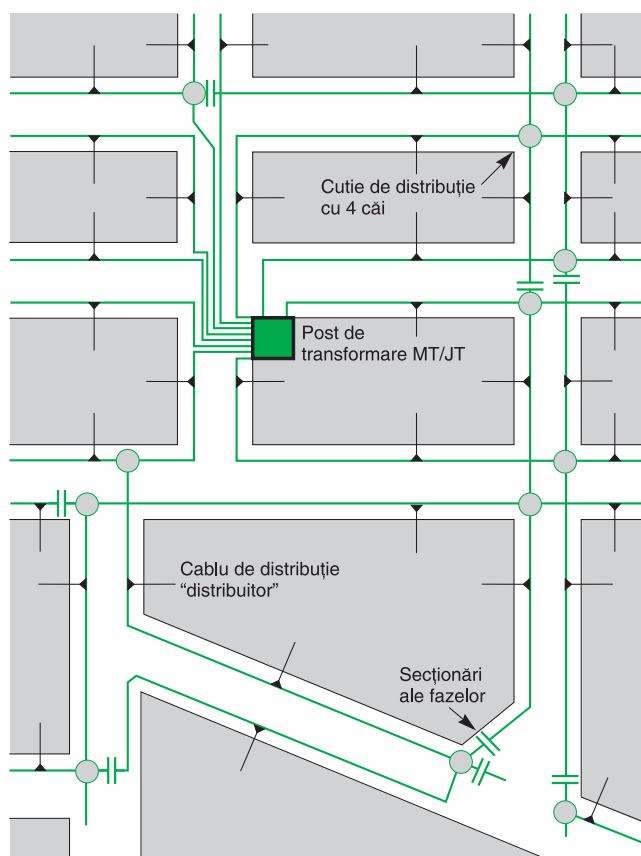


Fig. C3: Exemplificarea unei rețele de distribuție arborescente urbane.

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

În zonele urbane cu consum redus se folosește un sistem radial de distribuție în care conductoarele au secțiuni mai mici pe măsură ce distanța de la postul de transformare crește.

În multe țări se utilizează acum rețele aeriene cu conductoare izolate torsadate.

În Europa, fiecare post de transformare de distribuție publică a energiei electrice este capabil să alimenteze la JT o suprafață pe o rază de aproximativ 300 m. Sistemele de distribuție din America Centrală și de Nord constau dintr-o rețea de MT de la care prin numeroase transformatoare (mici) MT/JT alimentează direct unul sau mai mulți consumatori.

Aparatele de racord și echipamentul de măsurare se instalează în trecut în interiorul clădirilor. Tendința modernă este ca ele să fie plasate în exterior, într-un cofret rezistent la intemperii.

Acest aranjament conduce la un sistem flexibil în care un post de transformare poate fi scos de sub tensiune pentru revizie, zona alimentată de acesta urmând să fie suplinită de posturile de transformare aflate în vecinătate.

În plus, liniile de distribuție scurte (între două cutii de distribuție) pot fi izolate la defecțiuni locale și reparate.

Funcție de densitatea sarcinilor, posturile de transformare pot fi așezate mai aproape unul de altul și uneori sunt necesare și transformatoare de până la 1500 kVA.

În zone cu densități mici de consumatori sunt des folosite alte forme de rețea urbană de JT, bazată pe cutii de distribuție, plasate în punctele strategice ale rețelei.

Aceste scheme exploatează principiul rețelei de distribuție radială în care secțiunea conductorului se diminuează pe măsură ce numărul consumatorilor se reduce, o dată cu depărtarea față de postul de transformare.

În această schemă un număr de conductoare radiale de JT, cu secțiune mare, din tabloul de distribuție din postul de transformare alimentează barele colectoare ale cutiei de distribuție de la care alte conductoare cu secțiune mai redusă alimentează consumatorii din apropierea cutiei.

Distribuția de energie electrică în zone periferice și rurale a fost bazată mulți ani pe conductoare de cupru masiv, susținute pe stâlpi din lemn, beton sau oțel și alimentate din transformatoare montate pe stâlpi sau la sol.

În ultimii ani se folosesc conductoare de JT torsadate, izolate, care intră în componența unor cabluri cu mai multe conductoare. Aceste cabluri autoportante se folosesc la liniile aeriene și sunt considerate mai sigure decât liniile de cupru masiv. Acest lucru este valabil mai ales la conductoarele fixate pe pereți (de ex. montate sub cornișe) unde sunt greu observabile.

De notat că, principii similare sunt aplicate la tensiuni mai înalte, și astfel de conductoare torsadate, izolate, autoportante pentru instalații aeriene sunt disponibile și pentru rețele de 24 kV.

În situațiile în care mai mult decât un post de transformare alimentează cu energie electrică o localitate, conexiunile se fac pe stâlpii pe care se întâlnesc liniile de JT de la diferite posturi de transformare, pentru a avea o posibilitate de preluare în timpul situațiilor de urgență. Conductoarele de neutru rămân în permanență conectate.

Spre deosebire de Europa, în America Centrală și de Nord rețelele de JT sunt practic inexistente și alimentarea trifazică casnică în zone de locuit este rară. Distribuția de energie electrică este în mod efectiv asigurată la MT într-un mod diferit de practica standardelor europene. Sistemul de MT este de fapt un sistem trifazic cu 4 conductoare de la care liniile de distribuție monofazate (fază și conductor neutru) alimentează numeroase transformatoare monofazate.

Secundarele înfășurărilor transformatorului sunt reglate să asigure alimentarea monofazată cu 3 conductoare la 120/240 V. Conductoarele centrale asigură neutrul de JT, care împreună cu neutrul conductoarelor de MT sunt împământate la anumite distanțe.

Fiecare transformator MT/JT alimentează direct unul sau mai mulți consumatori prin cabluri radiale sau linii aeriene.

Multe alte sisteme există în aceste țări dar cel descris mai sus este cel mai comun.

Figura C4 (pagina următoare) arată principalele caracteristici ale celor două sisteme.

1.3 Conectarea consumatorului la rețea

În trecut, un cablu de distribuție subteran sau un conductor izolat montat pe perete, provenit de la o linie electrică aeriană avea terminalele în interiorul imobilelor într-o cutie izolată care conținea capetele terminale ale cablurilor, siguranțe fuzibile (inaccesibile consumatorului) și echipamentele pentru măsură.

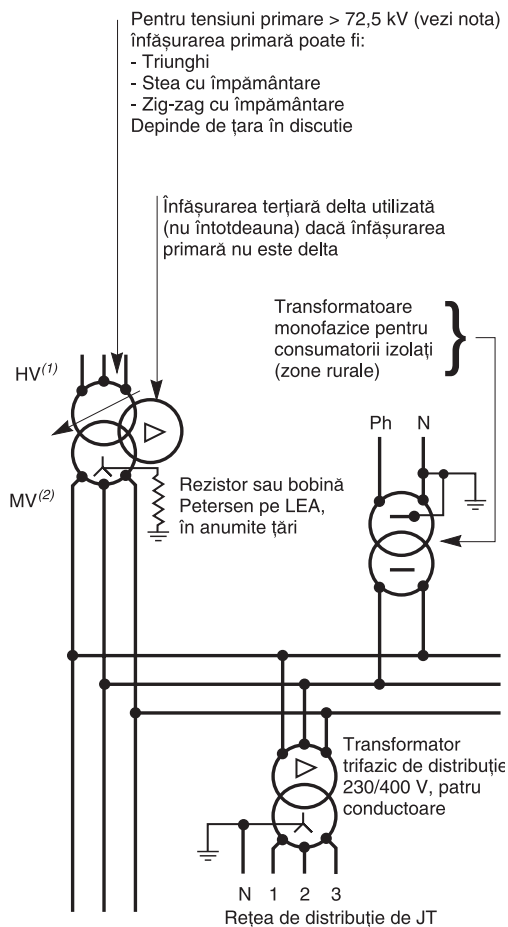
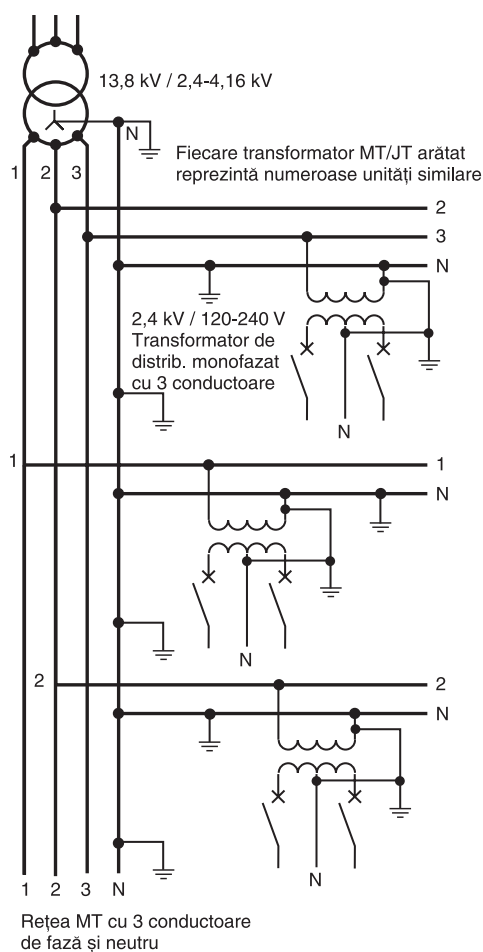
Tendința modernă este ca aceste componente să fie cât mai repede transferate într-un cofret izolat rezistent la intemperii, în exteriorul clădirii.

În mod obișnuit, interfața (punctul de separare) dintre furnizorul de energie electrică și consumator este constituită de bornele de ieșire ale echipamentelor de măsură sau, în anumite cazuri, la bornele de intrare ale întreruptorului principal (în funcție de particularitățile locale). Autoritatea furnizoare de energie electrică execută conectarea la aceste borne în urma testării și verificării instalației.

Un aranjament tipic este prezentat în **Fig. C5** (pagina următoare).

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C12



(1) De exemplu 132 kV.

(2) De exemplu 11 kV.

Notă: La tensiuni primare mai mari de 72,5 kV este o practică obișnuită în multe țări europene să utilizeze o înfășurare primară în stea cu împământare și o înfășurare secundară în triunghi. Neutrul pe secundar este furnizat de o bobină în zig-zag al cărui punct neutru este conectat la pământ printr-un rezistor. Frecvent, bobina de împământare are o înfășurare secundară pentru a furniza alimentarea trifazică pentru servicii interne. De aceea se mai folosește și denumirea de "transformator de împământare".

Fig. C4: Cele mai folosite sisteme de tip american și european.

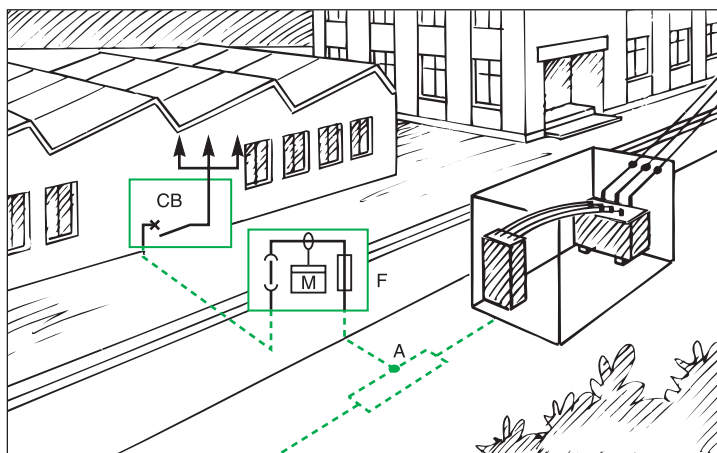


Fig. C5: Branșament tipic pentru sisteme TT de tratare a neutrlui.

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

Consumatorii de JT sunt în mod normal alimentați în sistemele TN sau TT după cum s-a descris în capitolele F și G. Întreruptorul principal al instalației în sistemul TT trebuie să includă și un dispozitiv de protecție împotriva scurgerilor la pământ (PACD). Pentru un sistem TN este necesară protecția la supracurent prin întreruptor automat sau fuzibil.

Un MCCB (întreruptor automat în carcasă turnată) care încorporează un dispozitiv de protecție diferențială reziduală este obligatoriu în amonte unei instalații funcționând în sistem TT. Motivele pentru aceasta precum și nivelurile de declanșare sunt discutate pe larg în paragraful 3 al capitolului G.

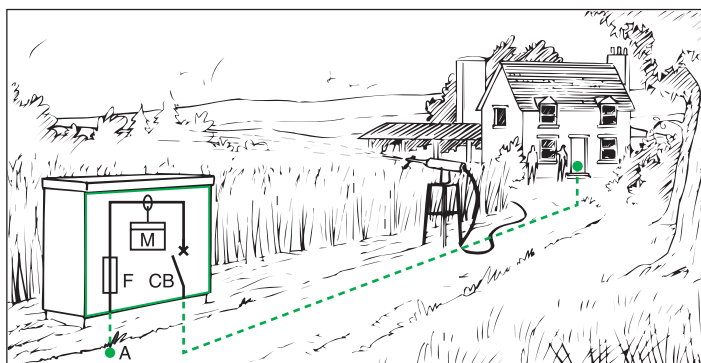
Un motiv în plus pentru utilizarea MCCB este acela că un consumator nu poate depăși sarcina maximă de consum declarată (contractual) deoarece nivelul de reglaj la suprasarcină, sigilat de furnizorul de energie, va întrerupe alimentarea când consumul depășește valoarea declarată.

Conectarea și deconectarea MCCB este accesibilă consumatorului; la un defect în instalație sau la o suprasarcină MCCB va declanșa și consumatorul poate restabili în mod rapid alimentarea după înlăturarea defecțiunii.

Datorită inconvenientelor, atât la citirea aparatelor de măsură cât și pentru consumator, în prezent, acestea se plasează pe domeniul public, după cum urmează:

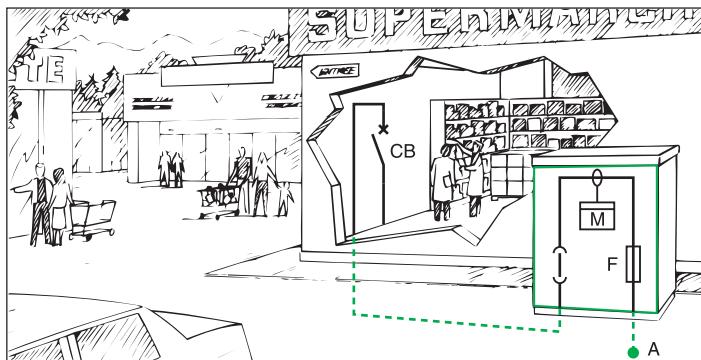
- într-o cabină independentă, de tipul celei prezentate în **Figurile C6 și C7**;
- într-un spațiu din interiorul unei clădiri, dar având intrarea în cablu și fuzibilele de pe partea de alimentare cu energie electrică plasate într-o cutie protejată la intemperii și accesibilă din domeniul public. Acest lucru este prezentat în **Fig. C8** (pagina următoare).
- echipamentul destinat consumului de tip casnic, prezentat în **Fig. C5** este plasat într-un cofret rezistent la intemperii. Acesta se plasează la limita domeniului public sau în zidul clădirii fiind accesibil din calea publică. **Fig. C9** (pagina următoare) prezintă acest montaj în care siguranțele fuzibile îndeplinesc și funcția de separare, respectiv izolare.

C13



În acest tip de instalații este adesea necesară plasarea întreruptorului automat principal la oarecare distanță de punctele de utilizare cum ar fi gaterie sau stații de pompare.

Fig. C6: Branșament tipic pentru instalații de tip rural.

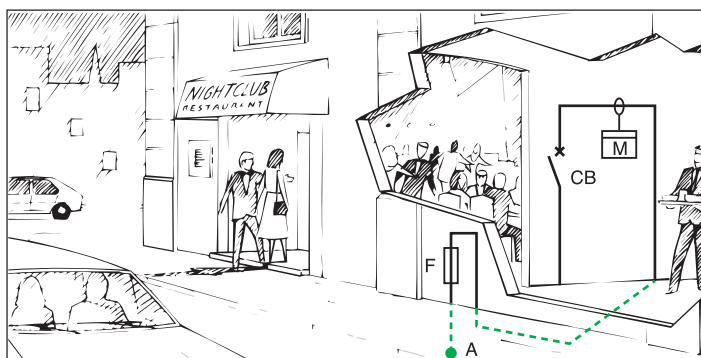


Întreruptorul automat principal este amplasat în incinta consumatorului în cazul în care este reglat să declanșeze la depășirea puterii maxime declarate.

Fig. C7: Branșament tipic pentru instalații de tip semi-urban (mici magazine, etc.)

1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie

C14



Cablul principal de bransament are terminalele într-un cofret montat aparent sau îngropat în zid, accesibil din domeniul public, care conține fuzibilele necesare pentru izolare. Această metodă este preferată din motive estetice atunci când consumatorul poate oferi un spațiu adecvat pentru măsură și pentru întreruptorul principal.

Fig. C8: Branșament pentru instalații de tip urban.

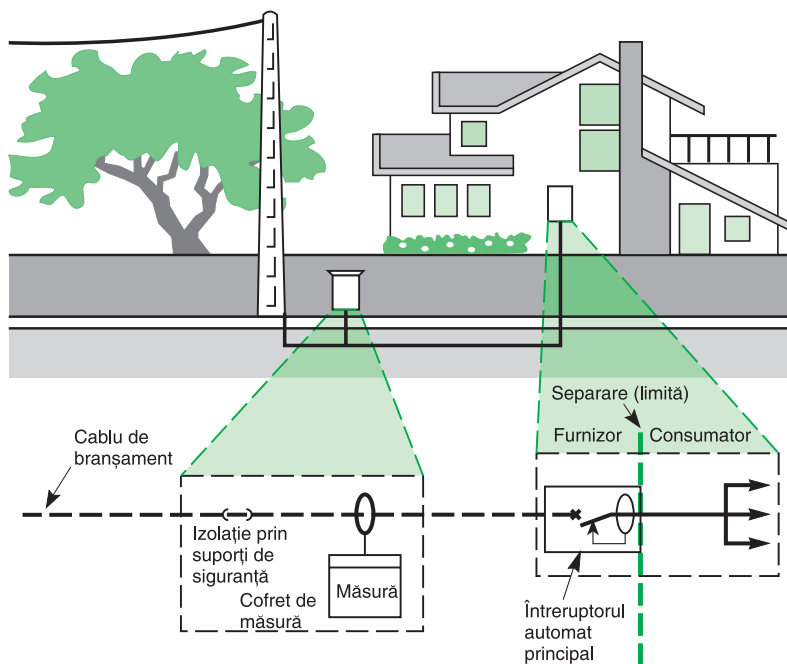


Fig. C9: Branșament tipic pentru consumatori casnici.

În domeniul măsurii, dezvoltarea tehnicii echipamentelor electronice a făcut atractivă utilizarea noilor echipamente de către furnizori atât pentru măsură cât și pentru facturare. Liberalizarea piețelor de electricitate a crescut nevoia de date furnizate de echipamentele de măsură. Ca un exemplu măsura electronică poate ajuta furnizorii să înțeleagă profilul energetic al consumatorilor pentru previziuni pe termen scurt și mediu. Trebuie să ne așteptăm și la apariția unor noi aplicații precum comunicații pe linii de energie (Power Line Communication) și aplicații pe frecvențe radio. Tot în acest domeniu sistemele cu pre-plată sunt din ce în ce mai folosite acolo unde sunt justificate din punct de vedere economic. Consumatorii cumpără o cartelă, care valorează un număr de kWh, pe care o introduc în contor. Pentru acele sisteme necesitățile cheie sunt securitatea și interoperabilitatea, care acum par a fi indeplinite. Atractivitatea acestor sisteme constă în faptul că vor înlocui nu numai contoarele clasice ci și sistemele de facturare, citirea contoarelor și administrarea încasărilor.

Un nivel adecvat al tensiunii la bornele consumatorilor este esențial pentru buna funcționare a echipamentelor și a receptorilor. Valorile necesare ale curentului, căderile de tensiune dintr-un sistem tipic de JT, subliniază importanța menținerii unui factor de putere mare, ca mijloc de reducere a căderilor de tensiune.

1.4 Calitatea tensiunii de alimentare

În sensul cel mai larg calitatea tensiunii de alimentare pentru rețelele de JT implică:

- concordanța cu limitele statutare privind amplitudinea și frecvența;
- inexistența unor fluctuații continue în interiorul acestor limite;
- alimentarea neîntreruptă cu energie, cu excepția deconectărilor necesare operațiilor programate de întreținere și celor datorate avariilor în sistem sau altor situații de urgență;
- păstrarea unei unde de tensiune cât mai sinusoidale.

În acest paragraf se va analiza numai problema menținerii amplitudinii tensiunii de alimentare.

În majoritatea țărilor, furnizorul de energie electrică are obligația statutară de a menține nivelul tensiunii de alimentare, în zona de utilizare, în limitele de $\pm 5\%$ (în unele cazuri de $\pm 6\%$, vezi **Tab. C1**) ale valorii nominale declarate.

Recomandările CEI și majoritatea standardelor naționale, recomandă ca receptorii de JT să funcționeze satisfăcător în limitele de $\pm 10\%$ ale tensiunii nominale. Aceasta asigură o marjă de siguranță față de condițiile cele mai defavorabile (de exemplu -5% în zona de utilizare) urmată de o cădere de tensiune de 5% în conductoarele instalației.

Într-un sistem tipic de distribuție căderile de tensiune se produc în modul următor: în mod normal, tensiunea la bornele de MT ale unui transformator coborât MT/JT este menținută în intervalul de $\pm 2\%$ datorită utilizării comutatoarelor automate de ploturi sub sarcină ale transformatoarelor din stațiile de transformare principale (exemplu 110/20 kV). Aceste stații alimentează rețeaua respectivă fiind conectate la un sistem de transport de energie de înaltă tensiune.

Dacă transformatorul MT/JT este plasat în apropierea unei astfel de stații de transformare principale, intervalul de $\pm 2\%$ va fi centrat astfel încât nivelul de tensiune să fie mai mare decât tensiunea nominală la MT.

De exemplu tensiunea poate fi $20,5 \text{ kV} \pm 2\%$ într-un sistem cu tensiunea nominală de 20 kV . În acest caz transformatorul de distribuție MT/JT va trebui să aibă comutatorul de ploturi de pe partea de MT reglat pe poziția de $+2,5\%$.

În mod similar, în zonele depărtate de stațiile de transformare principale, este posibilă o valoare de tensiune de $19,5 \text{ kV} \pm 2\%$. În acest caz comutatorul de ploturi trebuie să fie reglat pe poziția de -5% .

Aceste diferențe de nivel de tensiune într-un sistem de alimentare, sunt normale și depind de valoarea și logistica fluxului de energie electrică. De altfel aceste diferențe între valorile de tensiune sunt motivul utilizării termenului de "nominală" când ne referim la tensiunea sistemului.

Aplicații practice

Se consideră un transformator MT/JT, cu reglaj corect al comutatorului de ploturi, care permite menținerea tensiunii, în condiții de sarcină la o valoare de $\pm 2\%$ față de tensiunea în gol.

Pentru a avea certitudinea că transformatorul menține tensiunea necesară și la sarcină nominală, tensiunea în gol trebuie să fie la o valoare maximă posibilă, fără să se depășească limita de 5% (adoptată pentru acest exemplu). În prezent raportul de transformare corespunzător înfășurărilor, asigură o tensiune secundară de 104% la mersul în gol⁽¹⁾, atunci când în primar se aplică tensiunea nominală la MT sau o valoare corectată prin comutatorul de ploturi, așa cum s-a prezentat anterior.

Relativ la exemplul nostru, acestea reprezintă o variație de tensiune între 102% și 106% față de valoarea nominală.

Un transformator tipic de distribuție la JT are o tensiune de scurtcircuit de 5% . Dacă se consideră pentru căderea de tensiune rezistivă o zecime din aceasta, atunci căderea de tensiune la funcționarea în plină sarcină, la factorul de putere $0,8$ va fi:

$$\Delta U\% = R\% \cos \varphi + X\% \sin \varphi = 0,5 \times 0,8 + 5 \times 0,6 = 0,4 + 3 = 3,4\%$$

Valorile de tensiune la bornele transformatorului în plină sarcină se vor încadra între $(102 - 3,4) = 98,6\%$ și $(106 - 3,4) = 102,6\%$.

Valoarea maximă admisibilă pentru căderea de tensiune de-a lungul unui cablu de distribuție este de $98,6 - 95 = 3,6\%$.

În mod practic aceasta înseamnă că un cablu trifazat cu patru conductoare din cupru, la $230/400 \text{ V}$, de secțiune de 240 mm^2 , este capabil să transmită puterea de 292 kVA uniform distribuită mai multor consumatori, la $\cos \varphi = 0,8$, la o distanță de 306 m față de tabloul de distribuție.

Aceeași putere poate fi transmisă la distanța de 153 m de transformator, în cazul unui singur consumator, dacă se consideră aceeași cădere de tensiune.

Este interesant de remarcat faptul că încărcarea maximă a cablului, bazată pe CEI 60287 (1982) este de 290 kVA , astfel încât marja de $3,6\%$ nu este cu totul restrictivă, adică cablul poate fi încărcat la sarcina nominală pentru distanțe uzuale în distribuția la JT.

Este de remarcat că $\cos \varphi = 0,8$ se referă la consumatorii industriali. În zonele semiindustriale, cea mai potrivită valoare este $0,85$, în timp ce $\cos \varphi = 0,9$ reprezintă cazul cel mai uzual în calculele ce se referă la zonele de locuit. În acest mod, căderea de tensiune menționată mai sus poate fi considerată drept cazul cel mai defavorabil.

(1) Transformatoarele proiectate pentru $230/400 \text{ V}$ conform standardelor CEI vor avea o tensiune în gol de 420 V , adică 105% din tensiunea nominală.

Prezenta lucrare nu își propune să analizeze tarife particulare, mai ales că acestea sunt de o mare diversitate în funcție de furnizorul de energie electrică din fiecare țară.

Deși unele tarife au o structură foarte complicată, câteva elemente sunt comune tuturor și au drept scop să determine pe consumatori să gestioneze consumul de energie (reducând astfel costurile de producție, de transport și de distribuție). Cele două metode de bază prin care se poate reduce costul energiei electrice livrate la consumator sunt:

- reducerea pierderilor de putere în producția, transportul și distribuția energiei electrice. În principiu, pierderile minimale se ating atunci când toate componentele sistemului energetic funcționează la un factor de putere cât mai aproape de unitate;
- reducerea cererilor de putere la vârf de sarcină, concomitent cu creșterea puterii absorbite în golul de sarcină, adică aplatizarea curbei de sarcină care conduce la o exploatare mai eficientă a centralelor electrice.

Reducerea pierderilor

În practică, fiind departe de condițiile ideale menționate mai sus, structura tarifelor se bazează în parte pe cererea de putere aparentă (kVA), precum și pe energia consumată sub formă de energie activă (kWh). Dat fiind că pentru un anumit consumator de putere activă, puterea aparentă minimă corespunde la $\cos \varphi = 1$, consumatorul poate minimiza nota de plată a energiei prin corecția factorului de putere (cum este prezentat în capitolul L).

Valoarea puterii aparente, utilizată în tarife, este egală cu valoarea maximă a puterii medii cerute pe durata unui interval de contorizare. Aceasta se bazează pe valoarea medie a puterii aparente absorbite pe durate fixe (în general perioade de 10, 30 sau 60 de minute) după care se selectează valoarea maximă din șirul acestor valori.

Metoda este descrisă mai departe în “principiul contorizării cererii de putere aparentă maximă”.

Reducerea vârfului de putere absorbită

Cel de al doilea obiectiv adică reducerea cererilor de putere la vârf de sarcină, concomitent cu creșterea puterii absorbite în golul de sarcină a dus la elaborarea unor tarife care oferă o reducere substanțială de cost, în următoarele cazuri:

- în anumite ore ale zilei;
- în anumite perioade ale anului.

Cel mai simplu exemplu este acela al unui consumator casnic, sub forma unui sistem de încălzire al apei sau al locuinței, cu acumulare de energie termică. Contorul are două înregistratoare digitale, unul din ele funcționând în timpul zilei, iar celălalt (comutat de un dispozitiv cu ceas) în timpul nopții. Alimentarea încălzitorului se face printr-un contactor, comandat de același dispozitiv cu ceas, astfel încât sistemul să funcționeze, în mod normal, în perioadele cu tariful cel mai redus. Încălzitorul poate fi conectat manual în orice perioadă, dar în acest caz se vor aplica tarifele corespunzătoare. Marii consumatori industriali pot avea 3 sau 4 moduri diferite de tarificare care se aplică la diversele ore ale zilei și la diversele perioade ale anului.

În aceste sisteme de tarificare, raportul dintre costul unui kWh pe o durată ce corespunde vârfului de sarcină anual, și costul per kWh în perioada cu încărcarea cea mai redusă, poate ajunge chiar de 10:1.

Contoare

Este evident că, pentru a implementa acest fel de contorizare sunt necesare instrumente și dispozitive de înaltă calitate.

Aplicarea actuală a acestor principii este favorizată de dezvoltarea unor contoare electronice cu microprocesor, precum și utilizarea comenzilor la distanță de tip “ripple control”⁽¹⁾, emise de centrul de control al furnizorului de energie. (acesta poate, de exemplu să schimbe perioada de vârf de sarcină pe durata unui an, etc.). În majoritatea țărilor, tarifele se bazează pe cererea de putere aparentă, coroborată cu consumul de putere activă, contorizate pe durate fixe (de obicei, intervale de 3 luni). Puterea aparentă maximă înregistrată de contor, este de fapt un maximum selectat între puteri aparente medii, (cea mai mare valoare) măsurate pe intervalul de timp de facturare.

⁽¹⁾ Ripple control - un sistem de transmitere de semnale, prin injectarea unui curent de frecvență audio (de obicei la 175 Hz) în circuitele de rețea la nivelul posturilor de transformare de JT. Funcțiile sunt realizate prin recunoașterea de către relele speciale a unor coduri care se transmit sub formă de impulsuri. Fiecare cod corespunde unei anumite funcții și astfel se pot realiza până la 960 comenzi diferite.

Figura C10 prezintă o curbă caracteristică a puterii aparente absorbite pe durata a 2 ore, perioadă împărțită în intervale de 10 minute. Contorul măsoară valoarea medie a puterii aparente pentru fiecare interval de 10 minute.

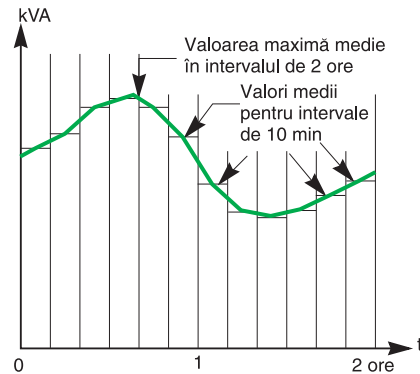


Fig. C10: Valoarea maximă medie a puterii aparente pe un interval de 2 ore.

Principiul măsurării maximului puterii aparente absorbite

Un contor de măsurare a energiei corespunzătoare puterii aparente (kVAh) are o structură similară cu cea corespunzătoare celor care măsoară energia corespunzătoare puterii active (kWh) numai că relația de fază dintre tensiune și curent a fost modificată, pentru a se putea măsura efectiv în kVAh (kilo-volt-ampere-ora). Contorul de energie aparentă, spre deosebire de cel de energie activă, este echipat cu un indicator rotativ. Atunci când indicatorul se rotește, acesta măsoară energia corespunzătoare puterii aparente și împinge un element de marcaj (roșu) de înregistrare a valorii maxime. După un interval de 10 minute, indicatorul a executat o mișcare de rotație de-a lungul cadranelui corespunzător (prin construcție nu se permite ca indicatorul să execute o rotație completă în intervalul a 10 minute), fiind apoi resetat electric la poziția de zero, pentru a începe o nouă deplasare în intervalul următor de 10 minute. Elementul de marcaj rămâne la poziția corespunzătoare a indicatorului, care arată valoarea energiei aparente (în kilo-volt-amperi-ore) absorbite de consumator în 10 minute. Este posibil ca, în loc de a avea cadranul gradat în kVAh, acesta poate fi măsurat în unități corespunzătoare puterii aparente medii (kVA). În continuare se va explica acest lucru.

Să presupunem că marcajul roșu se oprește la o poziție corespunzătoare valorii de 5 kVAh. Se știe că puterea aparentă instantanee, cu valori variabile, este contorizată pentru 10 minute, adică $\frac{1}{6}$ ore.

Dacă se împarte valoarea de 5 kVAh la numărul de ore, se obține valoarea medie a puterii aparente pe intervalul respectiv. În cazul nostru, aceasta va fi:

$$5 \times \frac{1}{\frac{1}{6}} = 5 \times 6 = 30 \text{ kVA}$$

Fiecare punct de pe cadran, va fi marcat în mod similar în kVA, adică valoarea puterii aparente medii va fi de 6 ori mai mare decât valoarea corespunzătoare în kVAh. Același raționament se poate aplica pentru orice interval de resetare. La sfârșitul perioadei de facturare, marcajul roșu va fi plasat astfel încât va indica valoarea maximă a puterilor aparente medii corespunzătoare acestei perioade. Elementul de marcaj va fi resetat la zero la sfârșitul fiecărei perioade de facturare. Contoarele electro-mecanice, de tipul celui descris anterior, sunt înlocuite în prezent cu aparate electronice. În cazul acestora, principiile de măsurare de bază sunt aceleași cu cele descrise anterior.

Capitolul D

Ghid de selecție a arhitecturii de MT și JT

Cuprins

1	Interesul utilizatorului	D3
2	Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii	D4
	2.1 Proiectarea arhitecturii	D4
	2.2 Întregul proces	D5
3	Caracteristicile unei instalații electrice	D7
	3.1 Activitate	D7
	3.2 Topologia amplasamentului	D7
	3.3 Cerințe de amplasare	D7
	3.4 Siguranța în funcționare	D8
	3.5 Menținabilitatea	D8
	3.6 Flexibilitatea instalației	D8
	3.7 Puterea instalată	D9
	3.8 Distribuția consumatorilor	D9
	3.9 Sensibilitatea la întreruperea alimentării	D9
	3.10 Sensibilitatea la perturbații	D10
	3.11 Capacitatea circuitelor de a genera perturbații	D10
	3.12 Alte considerații și limitări	D10
4	Caracteristici tehnologice	D11
	4.1 Mediu, atmosferă	D11
	4.2 Indicele de serviciu	D11
	4.3 Alte considerații	D12
5	Criterii de decizie a arhitecturii	D13
	5.1 Timpul de execuție	D13
	5.2 Impactul asupra mediului	D13
	5.3 Nivelul mentenanței preventive	D14
	5.4 Disponibilitatea alimentării cu energie electrică	D14
6	Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii	D15
	6.1 Racordarea la rețeaua amonte	D15
	6.2 Configurația circuitelor de MT	D16
	6.3 Numărul și amplasarea posturilor de transformare MT/JT	D17
	6.4 Numărul transformatoarelor MT/JT	D18
	6.5 Generatoare de rezervă de MT	D18
7	Alegerea detaliilor arhitecturii	D19
	7.1 Planul general	D19
	7.2 Arhitectura centralizată sau distribuită	D20
	7.3 Prezența surselor de alimentare neîntreruptibile (UPS)	D22
	7.4 Configurația circuitelor de JT	D22
8	Alegerea echipamentului	D25

9	Recomandări pentru optimizarea arhitecturii	D26
	9.1 Munca pe șantier	D26
	9.2 Impactul asupra mediului	D26
	9.3 Volumul mentenanței preventive	D28
	9.4 Disponibilitatea energiei electrice	D28
10	Glosar	D29
11	Programul de calcul ID-Spec	D30

1 Interesul utilizatorului

Alegerea arhitecturii de distribuție

Alegerea arhitecturii de distribuție are un impact decisiv asupra performanțelor instalației de-a lungul duratei de viață:

- încă de la faza de implementare, alegerea poate influența în mare măsură timpul de realizare, posibilitățile de lucru, competența necesară echipei de lucru, etc.;
- există de asemenea un impact important asupra performanțelor instalației în timpul funcționării, din punct de vedere al calității și continuității în alimentarea cu energie electrică a sarcinilor sensibile, al pierderilor de putere în circuitele de alimentare;
- și, în final, va exista un impact asupra proporției în care instalația poate fi reciclată la sfârșitul duratei sale de viață.

Arhitectura unei instalații de distribuție electrică se referă la definirea configurației spațiale, la alegerea surselor de alimentare, la definirea diferitelor niveluri de distribuție, a schemelor monofilare și în final la alegerea echipamentelor.

Alegerea celei mai bune arhitecturi se exprimă deseori în termeni de compromis între diferitele criterii de performanță care interesează utilizatorii instalației până la sfârșitul duratei sale de viață. Cu cât se vor căuta mai devreme soluții, cu atât există mai multe posibilități de optimizare (vezi Fig. D1).

D3

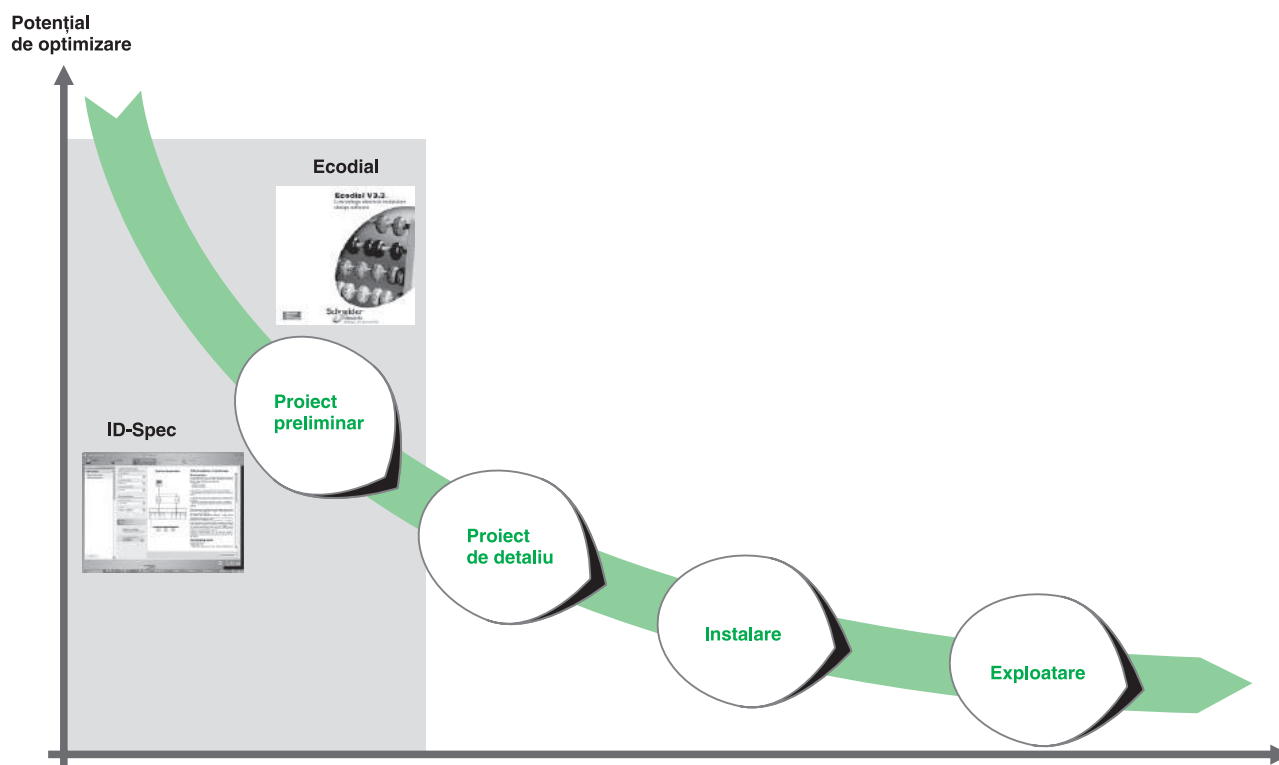


Fig. D1: Potențialul de optimizare.

Căutarea soluției optime este de asemenea puternic legată de abilitatea de comunicare între persoanele implicate în proiectarea diferitelor secțiuni ale proiectului:

- arhitectul, care definește organizarea clădirii în funcție de cerințele beneficiarului;
- proiectantul diferitelor secțiuni tehnice (iluminat, încălzire, aer condiționat, fluide, etc.);
- reprezentantul beneficiarului care definește procesele.

Paragrafele ce urmează prezintă criteriile de alegere precum și procesul de proiectare a arhitecturii pentru ca proiectul să corespundă criteriilor de performanță cerute clădirilor moderne din sectorul industrial și terțiar (mai puțin obiectivele foarte mari).

2 Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii

2.1 Proiectarea arhitecturii

Proiectarea arhitecturii considerate în această lucrare se referă la faza de proiect preliminar. Ea acoperă în general nivelurile de distribuție principală MT/JT, distribuție de putere JT și, în mod excepțional, nivelul de distribuție terminală (vezi **Fig. D2**)

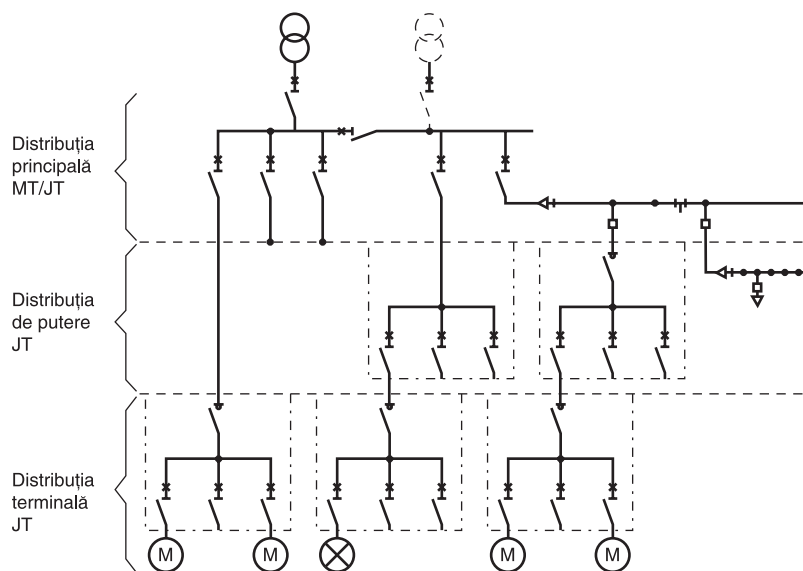


Fig. D2: Exemplu de schemă monofilară.

Proiectarea unei arhitecturi de distribuție electrică poate fi descrisă ca un proces în trei etape cu posibilități de iterație. Acest proces trebuie să țină cont de caracteristicile și criteriile care trebuie îndeplinite pentru buna funcționare a instalației.

2 Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii

2.2 Întregul proces

Întregul proces este descris pe scurt în paragrafele următoare și ilustrat în **Fig. D3**. Procesul descris în acest document nu reprezintă singura soluție. Acest document reprezintă în fapt un ghid pentru uzul proiectanților de instalații electrice.

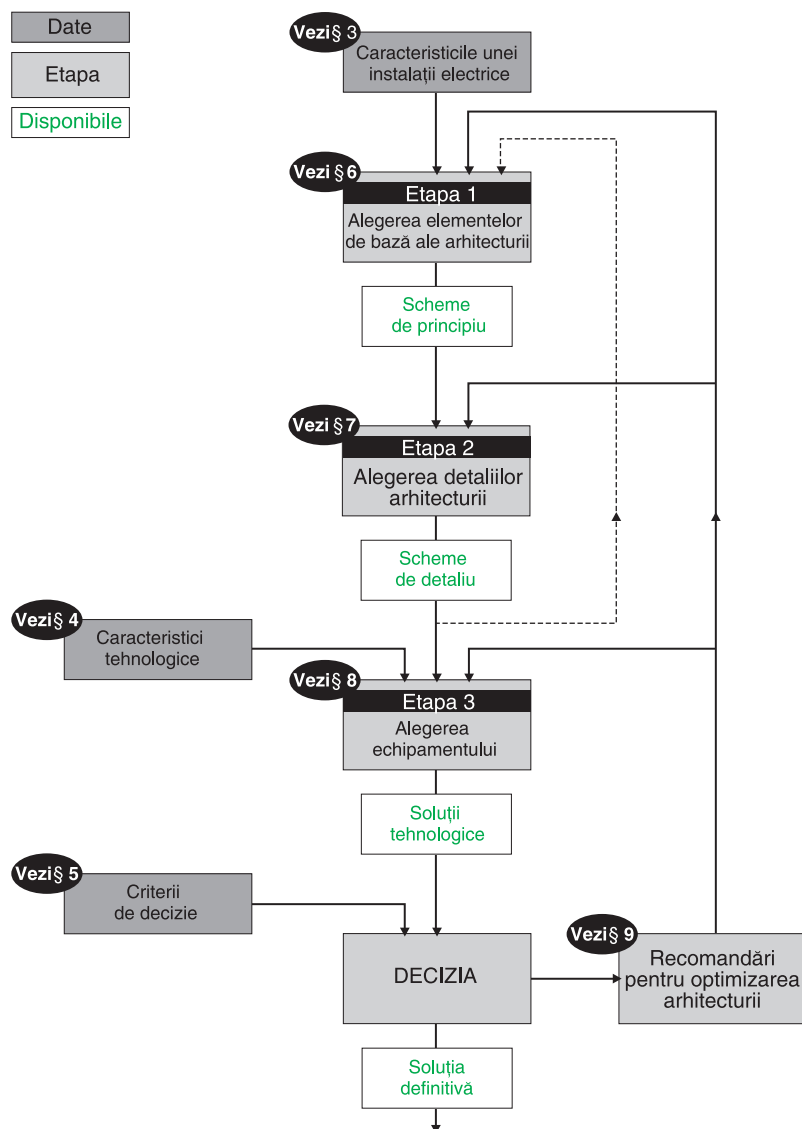


Fig. D3: Diagrama de alegere a arhitecturii de distribuție electrică.

Etapa 1: Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii

Aceasta implică definirea caracteristicilor generale ale instalației electrice. Se vor lua în considerare caracteristicile macroscopice ale instalației și utilizarea sa.

Aceste caracteristici au implicații asupra conectării la rețeaua din amonte, asupra circuitelor MT, a numărului de posturi de transformare, etc.

La sfârșitul acestei etape vor exista câteva soluții de scheme de principiu de distribuție care vor fi utilizate ca punct de plecare pentru schemele monofilare.

Alegerea definitivă se confirmă la sfârșitul etapei 2.

2 Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii

D6

Etapa 2: Alegerea detaliilor arhitecturii

Aceasta înseamnă definirea detaliată a instalației electrice. Se bazează pe rezultatele de la etapa 1 și de asemenea pe satisfacerea criteriilor referitoare la realizarea și funcționarea instalației.

Procesul revine la etapa 1 dacă criteriile nu sunt îndeplinite. Procesul iterativ permite stabilirea unor combinații de criterii spre analiză.

La finalul acestei etape va fi stabilită schema monofilară detaliată.

Etapa 3: Alegerea echipamentului

Alegerea echipamentului de utilizat se face în această etapă și rezultă din stabilirea arhitecturii. Alegerea echipamentului se face din cataloagele producătorilor avându-se în vedere satisfacerea anumitor criterii.

În acest stadiu se revine la etapa 2 dacă criteriile respective nu sunt satisfăcute.

Decizia

Stadiul de decizie creează biroului de proiectare premisele unor discuții cu clientul sau cu alți participanți la realizarea proiectului.

În conformitate cu rezultatul acestor discuții se poate trece înapoi la etapa 1.

3 Caracteristicile unei instalații electrice

Sunt prezentate principalele caracteristici care permit definirea elementelor fundamentale și detaliilor unei arhitecturi de distribuție electrică. Pentru fiecare din aceste caracteristici se va prezenta definiția și diferite categorii sau valori reprezentative.

3.1 Activitate

Definiție:

Activitatea economică principală de realizat.

Lista indicativă pentru sectoarele considerate din cadrul clădirilor industriale:

- producție;
- food & beverage;
- logistică.

Lista indicativă pentru sectoarele considerate din cadrul clădirilor terțiare:

- clădiri de birouri;
- supermarket-uri;
- mall-uri.

3.2 Topologia amplasamentului

Definiție:

Caracteristica arhitecturală a clădirilor, considerând numărul de clădiri, numărul de etaje și suprafața fiecărui etaj.

Diferite categorii:

- clădire cu un etaj;
- clădire cu mai multe etaje;
- obiectiv cu mai multe clădiri;
- clădire înaltă.

3.3 Cerințe de amplasare

Definiție:

Caracteristica ia în considerare cerințele legate de amplasarea echipamentelor electrice în clădire:

- estetică;
- accesibilitate;
- existența unor locații dedicate;
- utilizarea unor spații tehnice (pe etaj);
- utilizarea unor ghene tehnice (pe verticală).

Diferite categorii:

- scăzută: amplasarea echipamentelor electrice este, virtual, impusă;
- medie: amplasarea echipamentelor electrice este parțial impusă, în detrimentul criteriilor de satisfăcut;
- ridicată: nu există constrângeri. Amplasarea echipamentelor electrice poate fi definită în scopul satisfacerii la maxim a criteriilor.

3 Caracteristicile unei instalații electrice

3.4 Siguranța în funcționare

Definiție:

Capacitatea unui sistem de alimentare de a-și îndeplini funcția în condiții de siguranță pentru o perioadă specificată de timp.

Diferite categorii:

- minim: acest nivel al siguranței în funcționare implică riscuri de întreruperi în alimentarea cu energie electrică datorită unor limitări de natură geografică (rețea separată, zonă îndepărtată de sursa de alimentare), tehnică (linie supraîncărcată, sistem de legare la pământ cu deficiențe) sau economică (întreținere insuficientă, subdimensionare);
- standard;
- ridicată: acest nivel al siguranței în funcționare poate fi obținut prin măsuri speciale luate pentru a se reduce probabilitatea unei întreruperi (rețea subterană, sistem corect de legare la pământ, etc.).

3.5 Mentenabilitatea

Definiție:

Totalitatea elementelor de avut în vedere încă din faza de proiectare pentru a limita impactul operațiilor de întreținere asupra funcționării întregii instalații sau a unei părți din aceasta.

Diferite categorii:

- minim: instalația trebuie scoasă din funcțiune pentru realizarea unor operații de întreținere;
- standard: operațiile de întreținere pot fi îndeplinite în timpul funcționării instalației dar cu performanțe diminuate. De preferabil ca aceste operații să se programeze astfel încât să se realizeze în perioadele de activitate redusă. Exemple: transformatoare cu redundanță parțială și sarcini distribuite;
- ridicată: prin măsuri speciale luate în considerare, operațiile de întreținere pot fi realizate fără perturbarea funcționării instalației. Exemple: configurație cu dublă alimentare.

3.6 Flexibilitatea instalației

Definiție:

Posibilitatea de a modifica cu ușurință punctele de alimentare în interiorul instalației sau de a crește puterea furnizată în anumite puncte. Flexibilitatea este un criteriu care apare de asemenea în cazul unor proiecte având o parte din date necunoscute în faza de proiectare preliminară.

Diferite categorii:

- fără flexibilitate: amplasarea consumatorilor este aceeași pe întreaga perioadă de viață a instalației datorită unor impuneri legate de construcția clădirii sau de masa mare a procesului alimentat (de exemplu: cuptoare electrice);
 - flexibilitatea proiectului: numărul de puncte de alimentare, puterea consumatorilor sau amplasarea lor nu este cunoscută precis;
 - flexibilitate în realizare: consumatorii pot fi instalați după ce instalația este pusă sub tensiune;
 - flexibilitate în funcționare: amplasarea consumatorilor se modifică în cursul acțiunilor de reorganizare.
- Exemple:
Clădiri industriale: extinderi, compartimentări sau schimbarea destinației.
Clădiri de birouri: compartimentări.

3.7 Puterea instalată

Definiție:

Suma puterilor aparente ale consumatorilor (în kVA), căreia îi este aplicată un coeficient de utilizare.

Aceasta reprezintă puterea maximă care poate fi consumată la un moment de timp dat, cu posibilități de suprasarcină limitată de scurtă durată.

Gama de puteri semnificative corespunde puterilor nominale ale transformatoarelor, cele mai utilizate fiind:

- < 630 kVA;
- de la 630 kVA la 1250 kVA;
- de la 1250 kVA la 2500 kVA;
- > 2500 kVA.

3.8 Distribuția consumatorilor

Definiție:

Caracteristică legată de uniformitatea distribuirii consumatorilor (în kVA/m²) pe o suprafață în interiorul sau exteriorul clădirii.

Diferite categorii:

- distribuție uniformă: consumatorii sunt în general de puteri medii sau mici și răspândiți pe suprafața clădirii (densitate uniformă). De exemplu: iluminat, locuri de muncă individuale;
- distribuție intermediară: consumatorii sunt de puteri medii amplasați grupat pe întreaga suprafață a clădirii. De exemplu: mașini de asamblat, benzi rulante, stații de lucru, module logistice;
- consumatori localizați: consumatorii sunt în general de puteri mari și sunt amplasați în câteva zone ale clădirii (densitate neuniformă). De exemplu: HVAC.

3.9 Sensibilitatea la întreruperea alimentării

Definiție:

Caracteristica unui circuit de a accepta o întrerupere în alimentarea cu energie electrică.

Diferite categorii:

- circuite comune: este posibil să fie întrerupte oricând și pentru orice durată de timp;
- acceptă întreruperi lungi: timp de întrerupere > 3 minute⁽¹⁾;
- acceptă întreruperi scurte: timp de întrerupere < 3 minute⁽¹⁾;
- nu acceptă întreruperi.

În funcție de posibilele consecințe se pot distinge diferite nivele de severitate în ceea ce privește întreruperile:

- fără consecințe notabile;
- pierderi de producție;
- deteriorarea unor utilități ale producției sau pierderi de date;
- generează pericol de moarte.

Aceasta este exprimată în termeni de criticitate din punct de vedere al alimentării cu energie electrică.

■ circuite necritice: consumatorul sau circuitul respectiv poate fi eliminat oricând. De exemplu: circuitul de încălzire a apei la grupurile sanitare;

■ circuite ușor critice: o întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină un discomfort temporar pentru ocupanții clădirii, fără nici o consecință financiară. Prolungirea acestei întreruperi peste o durată critică poate cauza pierderi de producție sau productivitate mai mică. De exemplu: circuitele de încălzire, ventilație sau aer condiționat (HVAC);

■ circuite mediu critice: o întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină o scurtă pauză a procesului. Prolungirea acestei întreruperi peste o durată critică cauzează deteriorarea unor utilități ale producției sau costuri de repornire. De exemplu: unitățile de refrigerare, echipamente de ridicare;

■ circuite critice: orice întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină pericol mortal sau pierderi financiare inacceptabile. Exemple: săli de operații, departamente IT, departamente de securitate, etc.

(1) Valori indicate, din EN 50160: Caracteristici ale tensiunii de alimentare prin rețelele publice de distribuție.

3 Caracteristicile unei instalații electrice

3.10 Sensibilitatea la perturbații

Definiție:

Capacitatea unui circuit de a funcționa corect în prezența unei puteri electrice perturbatoare.

O perturbație poate conduce la diferite grade de disfuncționare. De exemplu: oprirea lucrului, lucru incorect, accelerarea îmbătrânirii, creșterea pierderilor, etc.

Tipuri de perturbații cu impact asupra funcționării circuitelor:

- arderea bornelor;
- supratensiuni;
- distorsiuni de tensiune;
- fluctuații de tensiune;
- dezechilibre de tensiune.

Diferite categorii:

- sensibilitate slabă: perturbațiile tensiunii de alimentare au un efect foarte scăzut asupra funcționării circuitului. De exemplu: dispozitive de încălzire;
- sensibilitate medie: perturbațiile tensiunii cauzează deteriorarea notabilă a funcționării circuitului. De exemplu: motoare, iluminat;
- sensibilitate mare: perturbațiile tensiunii determină oprirea funcționării sau chiar deteriorarea echipamentului alimentat. De exemplu: echipamente IT.

Sensibilitatea circuitelor la perturbații determină proiectarea unor circuite dedicate. Într-adevăr, este mai bine să se separe consumatorii "sensibili" de consumatorii "perturbatori". De exemplu: separarea circuitelor de iluminat de circuitele care alimentează motoare.

Această posibilitate depinde de asemenea de caracteristicile de funcționare. De exemplu: separarea sursei de alimentare a circuitelor de iluminat pentru a permite măsurări ale energiei consumate.

3.11 Capacitatea circuitelor de a genera perturbații

Capacitatea unui circuit de a perturba funcționarea circuitelor învecinate datorită unor fenomene precum: armonici, curenți de pornire, dezechilibre, curenți de înaltă frecvență, radiații electromagnetice, etc.

Diferite categorii:

- neperturbatoare: nu există precauții speciale;
- moderat sau ocazional perturbatoare: separarea surselor de alimentare poate fi necesară în prezența unor circuite de sensibilitate medie sau mare. De exemplu: circuit de iluminat generator de curenți armonici;
- foarte perturbatoare: un circuit de putere dedicat sau modalități de atenuare a perturbațiilor sunt esențiale pentru corecta funcționare a instalației. De exemplu: motor electric având curenți mari de pornire, echipamente de sudură având fluctuații de curent.

3.12 Alte considerații și limitări

- Mediu

De exemplu: clasificarea descărcărilor atmosferice, expunere solară;

- Reguli specifice

De exemplu: spitale, clădiri înalte, etc;

- Reguli ale furnizorului de electricitate

De exemplu: limitări de puteri la JT, acces în posturile de transformare de MT, etc;

- Consumatori adiacenți

De exemplu: consumatori alimentați de la 2 circuite independente din motive de redundanță;

- Experiența proiectantului

De exemplu: consecvența cu proiectele anterioare, sau utilizări parțiale ale proiectelor anterioare, tipizarea unor subansamble, existența unei baze de echipament instalat;

- Limitări ale sursei de alimentare

De exemplu: nivele de tensiune (230 V, 400 V, 690 V), sistemul de tensiune (monofazat, trifazat cu sau fără neutru accesibil).

4 Caracteristici tehnologice

Soluțiile tehnologice depind de diferitele tipuri de echipamente de MT și JT, precum și de sistemele de bare capsulate. Alegerea soluțiilor tehnologice se face după alegerea schemei monofilare și ținând cont de caracteristicile de mai jos.

4.1 Mediu, atmosferă

O noțiune care ține cont de toate caracteristicile de mediu (temperatură medie, ambianță, altitudine, umiditate, coroziune, praf, impact, etc.) și care determină gradele de protecție IP și IK.

Diferite categorii:

- standard: nu există condiții particulare de mediu;
- ridicate: condiții de mediu severe, parametri severi de mediu generează limitări importante pentru echipamentele instalate;
- specifice: condiții de mediu atipice, cerințe speciale.

4.2 Indicele de serviciu

Indicele de serviciu (IS) este o valoare care permite caracterizarea unui tablou electric de joasă tensiune, în conformitate cu cerințele utilizatorului, în termeni de funcționare, mentenanță și evolutivitate. Valorile indicelui de serviciu sunt indicate în tabelul de mai jos (vezi **Tab. D4**):

	Funcționare	Mentenanță	Evolutivitate
Nivel 1	IS = 1 • • Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului	IS = • 1 • Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului	IS = • • 1 Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului
Nivel 2	IS = 2 • • Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării numai pentru unitatea funcțională	IS = • 2 • Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, cu intervenții asupra conexiunilor	IS = • • 2 Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, în condițiile existenței unor unități funcționale de rezervă
Nivel 3	IS = 3 • • Activitatea poate conduce la scoaterea de sub tensiune a unității funcționale	IS = • 3 • Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, fără intervenții asupra conexiunilor	IS = • • 3 Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării numai pentru unitatea funcțională, cu libertate totală în ceea ce privește evolutivitatea.

Tab. D4: Diferite valori ale indicelui de serviciu.

- exemplu de activitate de exploatare: deschiderea unui întrerupător, întreruperea funcționării unei mașini;
- exemplu de activitate de mentenanță: strângerea conexiunilor;
- exemplu de activitate de evoluție: conectarea unei plăci suplimentare.

Există un număr limitat de indici de servicii relevanți (vezi **Tab. D5**).

D12

IS	Funcționare	Mentenanță	Evolutivitate
1 1 1	Scoaterea de sub tensiune a întregului tablou	Timp de lucru > 1 oră, cu întrerupere totală	Extinderi neplanificate
2 1 1	Scoaterea de sub tensiune, individual, a unităților funcționale și repunerea în funcțiune < 1 oră	Timp de lucru între 1/4 oră și 1 oră cu intervenție asupra conexiunilor	Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului
2 2 3			Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare cu oprirea funcționării tabloului
2 3 2		Timp de lucru între 1/4 oră și 1 oră fără intervenție asupra conexiunilor	Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului
2 3 3			Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare cu oprirea funcționării tabloului
3 3 2			Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului
3 3 3	Scoaterea de sub tensiune, individual, a unităților funcționale și repunerea în funcțiune < 1/4 oră		

Tab. D5: Indici de serviciu relevanți (IS).

Correspondența între indicele de serviciu și alți parametri mecanici (vezi **Tab. D6**).

Indicele de serviciu IS	Indicele de protecție IP	Forma de protecție a tabloului	Debroșabilitatea unității funcționale	Debroșabilitatea aparatului
1 1 1	2 X X	1	F F F	Fix
2 1 1	2 X B	1	F F F	Fix
2 2 3	2 X B	3b	W F D	Fix
2 3 2	2 X B	3b	W F W	Debroșabil pe soclu
2 3 3	2 X B	3b	W F D	Fix
3 3 2	2 X B	3b	W W W	Debroșabil pe șasiu
3 3 3	2 X B	3b	W W W	Debroșabil pe șasiu

Tab. D6 Correspondența între indicele de serviciu și alți parametri mecanici.

- definiția indicelui de protecție: a se vedea CEI 60529: "Grade de protecție pentru dulapuri (codul IP)";
- definițiile formei tabloului și a noțiunii de "debroșabil": a se vedea CEI 60439-1: "Ansambluri de aparat de JT. Ansamblu prefabricat de aparat de JT și ansamblu derivat dintr-un ansamblu prefabricat de aparat de JT".

4.3 Alte considerații

Alte considerații au de asemenea un impact asupra alegerii soluțiilor tehnologice:

- experiența proiectantului;
 - consecvența cu proiectele anterioare;
 - utilizări parțiale ale proiectelor anterioare;
 - tipizarea unor subansamble;
 - existența unui baze instalate de echipamente;
 - cerințele furnizorului de electricitate;
 - criterii tehnice: factor de putere cerut, alimentări de rezervă, prezența armonicilor.
- Aceste considerații trebuie luate în seamă în etapa de definire detaliată a proiectului, fază care urmează celei de concepție.

5 Criterii de decizie a arhitecturii

Anumite criterii decisive sunt verificate la sfârșitul etapei a treia de alegere a arhitecturii, pentru a valida arhitectura aleasă. Aceste criterii sunt prezentate în continuare, cu alocarea a diferite niveluri de prioritate.

5.1 Timpul de execuție

Timpul de realizare pe șantier a instalației electrice.

Diferite niveluri de prioritate :

- secundar: timpul de execuție pe șantier poate fi mărit, dacă aceasta conduce la scăderea costurilor totale de execuție;
- special: timpul de execuție pe șantier trebuie redus, fără a genera extracosturi;
- critic: timpul de execuție pe șantier trebuie redus cât se poate de mult, chiar dacă aceasta conduce la costuri suplimentare.

5.2 Impactul asupra mediului

Trebuie luate în considerare cerințele de mediu în proiectul de instalații. Aceasta se referă la consumul de resurse naturale, pierderile Joule (emisiile de CO₂), procentul de reciclare la sfârșitul duratei de viață a instalației.

Diferite niveluri de prioritate:

- nesemnificativ: nu există cerințe de mediu speciale;
- minimal: instalația este proiectată în conformitate cu cerințele minime;
- proactiv: instalația este proiectată acordându-se atenție deosebită pentru protecția mediului. Extracosturile sunt permise în acest caz. De exemplu: utilizarea transformatoarelor cu pierderi reduse.

Impactul unei instalații electrice asupra mediului poate fi determinat în conformitate cu metoda de analiză a duratei de viață a instalației, la care se disting 3 faze:

- realizare;
- funcționare;
- sfârșitul vieții (dezafectare, reciclare).

În ceea ce privește impactul asupra mediului, pot fi luați în considerare cel puțin 3 indicatori care pot fi influențați de proiectarea unei instalații electrice. Deși fiecare fază din cadrul duratei de viață contribuie la cei trei indicatori, fiecare dintre aceștia se referă în principal la o singură fază în particular:

- consumul de resurse naturale are impact, în primul rând, asupra fazei de realizare;
- consumul de energie electrică are impact asupra fazei de funcționare;
- potențialul de reciclare are impact la sfârșitul duratei de viață.

Tabelul următor detaliază factorii care contribuie la cei trei indicatori de mediu (vezi **Tab. D7**).

Indicatori	Factor de contribuție
Consumul de resurse naturale	Cantitatea și tipul de material utilizat
Consumul de energie electrică	Pierderile Joule la sarcină nominală și în gol
Potențialul de reciclare	Masa și tipul de material utilizat

Tab D7: Factorii care contribuie la cei trei indicatori de mediu.

5.3 Nivelul mentenanței preventive

Definiție:

Numărul de ore și complexitatea mentenanței realizate în timpul funcționării în conformitate cu recomandările producătorilor pentru asigurarea funcționării corespunzătoare a instalației și a menținerii nivelurilor sale de performanță (evitarea întreruperilor, declanșărilor, etc.).

Diferite categorii:

- standard: în conformitate cu recomandările producătorilor;
- suplimentare: în conformitate cu recomandările producătorilor, în mediu sever;
- specifice: plan specific de mentenanță, cuprinzând cerințe ridicate în ceea ce privește continuitatea serviciilor și o competență sporită a personalului de întreținere.

5.4 Disponibilitatea alimentării cu energie electrică

Definiție:

Reprezintă probabilitatea ca o instalație electrică să fie capabilă să furnizeze energie de calitate în conformitate cu specificațiile echipamentului pe care îl alimentează. Aceasta se exprimă prin nivelul de disponibilitate:

$$\text{Disponibilitate (\%)} = (1 - \text{MTTR/MTBF}) \times 100$$

MTTR (Mean Time To Repair, Media Timpului unei Reparații): durata medie de timp pentru a face instalația electrică funcțională, în urma unei întreruperi (aceasta include detectarea cauzei întreruperii, înlăturarea sa și repunerea în funcțiune)

MTBF (Mean Time Between Failure, Media Timpului de Bună Funcționare): durata medie de timp în care instalația electrică este operațională și, prin urmare permite funcționarea corectă a echipamentului.

Diferite categorii de disponibilitate pot fi definite pentru un anumit tip de instalație. Exemplu: spitale, centre de prelucrare date.

Exemple de clasificări utilizate pentru centrele de prelucrare date:

Ex. 1: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de pe un singur canal, fără redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,671 %.

Ex. 2: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de pe un singur canal, cu redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,741 %.

Ex. 3: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de mai multe canale, cu un singur canal redundant, ceea ce permite o disponibilitate de 99,982 %.

Ex. 4: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de mai multe canale, cu redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,995 %.

6 Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii

Schema monofilară poate fi împărțită în câteva părți cheie care sunt determinate printr-un proces cu două etape succesive. În prima parte vom face următoarele alegeri:

- conectarea la rețeaua furnizorului;
- definirea circuitelor de MT;
- numărul de transformatoare de putere;
- numărul și amplasarea posturilor de transformare;
- generatoarele de rezervă de MT.

6.1 Racordarea la rețeaua amonte

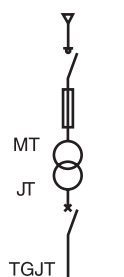
Principalele configurații pentru posibile conexiuni sunt următoarele (vezi Fig. D8 pentru racordarea la MT):

- racordarea la JT;
- racordarea la MT în vârf;
- racordarea la MT în buclă;
- racordarea la MT dublă alimentare;
- racordarea la MT dublă alimentare pe dublu sistem de bare.

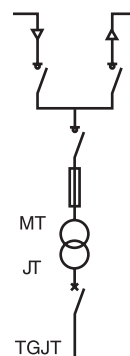
Măsura, protecția, dispozitivele de separare localizate în postul de transformare nu sunt reprezentate în următoarele diagrame. De obicei ele sunt specifice fiecărui furnizor de energie și nu au influență asupra alegerii arhitecturii instalației. Pentru fiecare racord este simbolizat un singur transformator pentru simplificare dar în realitate pot fi conectate câteva transformatoare.

(TGJT - Tablou general de joasă tensiune)

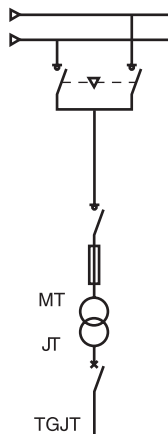
a) Racordarea la MT în vârf



b) Racordarea la MT în buclă



c) Racordarea la MT dublă alimentare



d) Racordarea la MT dublă alimentare pe dublu sistem de bare

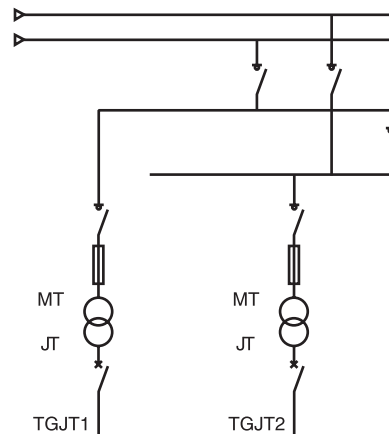


Fig. D8: Racordarea pe MT la rețeaua furnizorului.

Pentru diferite posibile configurații cel mai probabil și mai uzual set de caracteristici este dat în următorul tabel:

Caracteristici de luat în considerare	Configurație				
	JT	MT			
		Alimentare în vârf	Alimentare în buclă	Dublă alimentare	Dublă alimentare pe dublu sistem de bare
Alimentare	Oricare	Oricare	Oricare	Instalații tehnologice, birouri sensibile, sănătate	Oricare
Topologia obiectivului	O singură clădire	O singură clădire	O singură clădire	O singură clădire	Mai multe clădiri
Siguranța în serviciu	Minimă	Minimă	Standard	Îmbunătățită	Îmbunătățită
Puterea cerută	< 630kVA	≤ 1250kVA	≤ 2500kVA	> 2500kVA	> 2500kVA
Alte cerințe	Oricare	Obiectiv izolat	Zonă urbană cu densitate mică	Zonă urbană cu densitate mare	Zonă urbană cu limitări ale furnizorului

D16

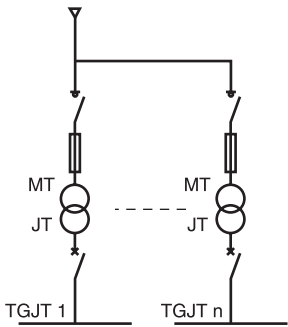
6.2 Configurația circuitelor de MT

Principalele configurații posibile pentru racordări sunt următoarele (vezi Fig. D9):

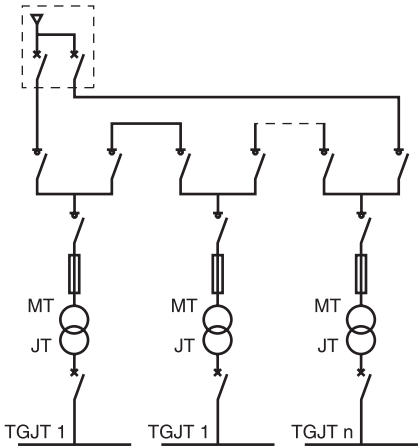
- o singură alimentare, unul sau mai multe transformatoare;
- inel deschis, o singură alimentare MT;
- inel deschis, două alimentări MT.

Configurația cea mai simplă este o singură alimentare, cu un singur transformator. În cazul utilizării mai multor transformatoare nu este realizat nici un inel decât dacă aceste transformatoare se află amplasate în același post de transformare. Configurația de tip buclă închisă nu este luată în considerare.

a) O singură alimentare



b) Inel deschis, un post de transformare



c) Inel deschis, două posturi de transformare

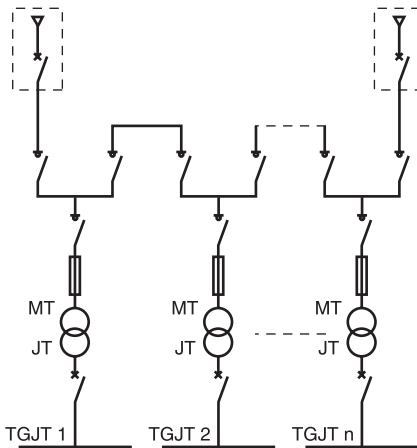


Fig. D9: Configurații de circuite MT.

6 Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii

Pentru diferite configurații posibile cel mai probabil și mai uzual set de caracteristici este dat în tabelul din **Tab. D10**:

Caracteristici de luat în considerare	Configurația circuitelor MT		
	O singură alimentare	Inel deschis, un post de transformare	Inel deschis, două posturi de transformare
Topologia obiectivului	Oricare < 25000 m ²	Clădire cu un nivel sau câteva clădiri, < 25000 m ²	Câteva clădiri, > 25000 m ²
Mentenabilitate	Minimă sau standard	Îmbunătățită	Îmbunătățită
Puterea cerută	Oricare	> 1250 kVA	> 2500 kVA
Sensibilitatea la perturbații	Întreruperi lungi acceptabile	Întreruperi scurte acceptabile	Întreruperi scurte acceptabile

Tab. D10: Seturi de caracteristici pentru instalații uzuale.

O altă configurație excepțională: alimentarea se face din două posturi de transformare și racordarea transformatoarelor se face la fiecare din aceste două posturi de transformare.

6.3 Numărul și amplasarea posturilor de transformare MT/JT

Principalele caracteristici ce trebuie luate în considerare pentru a defini posturile de transformare sunt:

- suprafața clădirii sau a obiectivului;
- puterea cerută (care trebuie comparată cu puterile standardizate ale transformatoarelor);
- distribuția sarcinilor.

Configurația de bază uzuală conține un singur post de transformare. Anumiți factori contribuie la creșterea numărului de posturi de transformare (>1):

- o suprafață mare (> 25000 m²);
- configurația obiectivului: câteva clădiri;
- puterea totală (> 2500 kVA);
- sensibilitatea la întreruperi; nevoia de redundanță în caz de incendiu.

Caracteristici de luat în considerare	Configurație		
	1 post de transformare cu N transformatoare	N posturi de transformare cu N transformatoare (identice)	N posturi de transformare cu M transformatoare (diferite puteri)
Topologia obiectivului	Oricare < 25000 m ²	Clădire cu un nivel sau câteva clădiri, ≥ 25000 m ²	Câteva clădiri, ≥ 25000 m ²
Puterea cerută	< 2500 kVA	≥ 2500 kVA	≥ 2500 kVA
Distribuția sarcinilor	Sarcini izolate	Sarcini uniform distribuite	Sarcini densitate medie

Tab. D11: Caracteristici tipice ale diferitelor configurații.

6.4 Numărul transformatoarelor MT/JT

Principalele caracteristici ce trebuie luate în considerare pentru a stabili numărul de transformatoare sunt:

- suprafața clădirii sau obiectivului;
- puterea totală a sarcinilor instalate;
- sensibilitatea circuitelor la întreruperi ale alimentării cu energie;
- sensibilitatea circuitelor la perturbații;
- accesibilitatea instalațiilor.

Configurația de bază uzuală constă într-un singur transformator care alimentează totalitatea sarcinilor instalate. Anumiți factori contribuie la creșterea numărului de transformatoare (> 1), fiind de preferat cele de putere egală:

- o putere totală instalată mare (> 1250 kVA): limita practică a unei unități trafo (standardizare, ușurință la înlocuire, cerințe de spațiu, etc.);
- o suprafață mare (> 5000 m²): amplasarea mai multor transformatoare aproape de sarcinile distribuite permite reducerea lungimii traseelor de distribuție de JT;
- nevoia pentru o redundanță parțială (anumite operații posibile în eventualitatea defectării unui transformator) sau totală (operare normală și în eventualitatea defectării unui transformator);
- separarea sarcinilor sensibile sau generatoare de perturbații (de exemplu aparate IT sau motoare).

6.5 Generatoare de rezervă de MT

Principalele caracteristici ce trebuie luate în considerare pentru a decide instalarea generatoarelor de rezervă de MT sunt:

- specificul activității;
- puterea totală a sarcinilor instalate;
- sensibilitatea circuitelor la întreruperile în alimentarea cu energie electrică;
- caracteristicile rețelei electrice de distribuție publică.

Configurația de bază uzuală nu include un generator de rezervă de MT. Anumiți factori impun instalarea unui generator de MT:

- specificul activității: procese de cogenerare, optimizarea consumului de energie electrică;
- rețeaua electrică de distribuție publică are performanțe reduse.

Instalarea unui generator de rezervă se poate face și la joasă tensiune.

7 Alegerea detaliilor arhitecturii

Aceasta este cea de-a doua etapă de proiectare a unei instalații electrice. În cadrul acesteia trebuie să facem următoarele alegeri:

- planul general;
- distribuția centralizată sau descentralizată;
- prezența generatoarelor de rezervă;
- prezența surselor neîntreruptibile;
- configurația circuitelor de JT;
- combinații de arhitectură.

7.1 Planul general

Poziționarea principalelor echipamente de MT și de JT în teren sau în clădire.

Ghid de selecție:

- pe cât posibil amplasați sursele de putere cât mai aproape de centrul de greutate al consumului sau de consumatorii principali;
 - reduceți constrângerile datorate mediului: prevedeați clădire dedicată dacă condițiile din ateliere sunt prea restrictive (temperatură, vibrații, praf, etc.);
 - plasați echipamentul greu (transformatoare, generatoare, etc.) în marginile încăperilor sau aproape de ieșiri pentru ușurarea mentenanței.
- Un exemplu de plan general este dat în desenul de mai jos (vezi **Fig. D12**):

D19

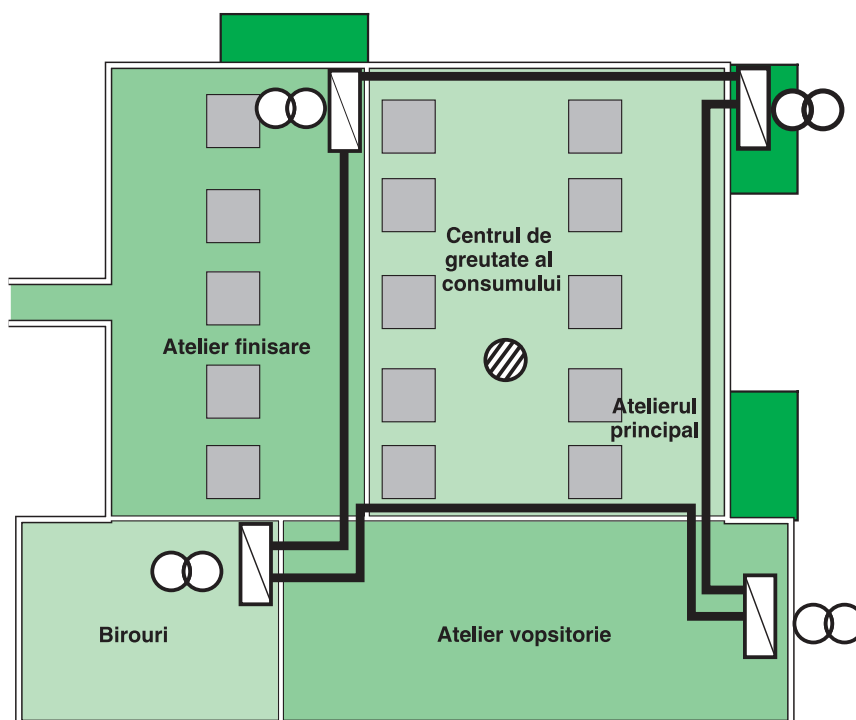


Fig. D12: Poziția centrului de greutate al consumului sugerează pozițiile surselor de putere.

7.2 Arhitectura centralizată sau distribuită

În arhitectura centralizată consumatorii sunt conectați la sursele de putere prin conexiuni radiale. Cablurile sunt recomandate în cazul alegerii acestei soluții, asigurând conexiunile între tabloul general de joasă tensiune și tablourile intermediare sau direct la consumatori (vezi **Fig. D13**):

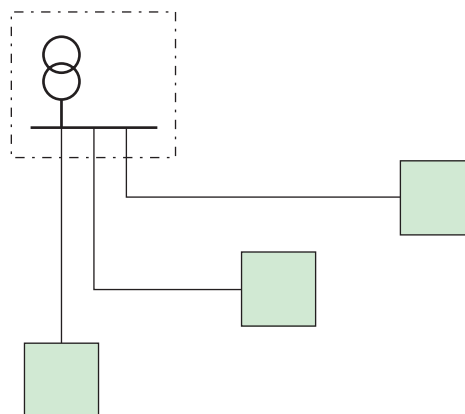


Fig. D13: Exemplu de arhitectură centralizată cu conexiuni punct la punct.

În arhitectura distribuită consumatorii sunt conectați la sursele de putere prin intermediul unei bare capsulate. Sistemele de bare capsulate prefabricate sunt adecvate pentru distribuția descentralizată, pentru alimentarea mai multor sarcini distribuite, ușurând modificările ulterioare și simplificând adăugarea de noi consumatori (vezi **Fig. D14**):

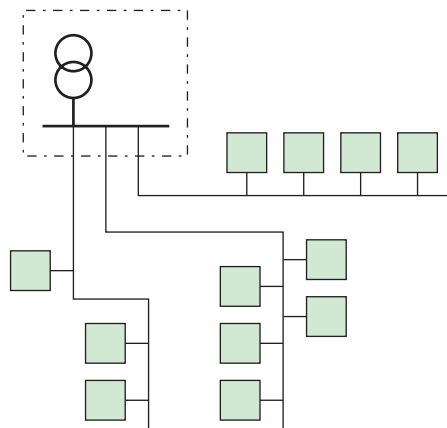


Fig. D14: Exemplu de arhitectură distribuită cu conexiuni prin bare capsulate prefabricate.

Considerații în favoarea arhitecturii centralizate (vezi tabelul centralizator **Tab. D15**):

- flexibilitatea instalației: nu;
- distribuția sarcinilor: sarcini punctuale (echipamente de putere mare).

Considerații în favoarea arhitecturii descentralizate:

- flexibilitatea instalației: da, în special la reamplasarea punctelor de lucru, etc.;
- distribuția sarcinilor: sarcini relativ uniform distribuite de putere mică.

7 Alegerea detaliilor arhitecturii

	Distribuția sarcinilor		
Flexibilitate	Sarcini punctuale	Sarcini semi distribuite	Sarcini uniform distribuite
Fără flexibilitate	Centralizată		Descentralizată
Flexibilitate în proiectare			
Flexibilitate în execuție	Centralizată	Descentralizată	
Flexibilitate în exploatare			

Tab. D15: Recomandări pentru arhitectura centralizată sau descentralizată.

D21

Alimentarea cu energie electrică prin cabluri oferă independența circuitelor distincte (iluminat, prize de putere, HVAC, motoare, auxiliare, securitate, etc.), reducând consecințele unui defect din punctul de vedere al disponibilității energiei electrice. Utilizarea sistemelor de bare capsulate permite combinarea circuitelor și economia de conductor datorită coeficientului de utilizare. Alegerea între cabluri și sistemele de bare capsulate prefabricate, în funcție de coeficientul de utilizare ne permite găsirea unui optim economic între costul materialului, costul montajului, și costul exploatarei. Cele două arhitecturi sunt adesea combinate.

Prezența generatoarelor de rezervă (vezi Fig. D16)

Vom discuta aici numai de generatoarele de rezervă de JT.

Energia electrică furnizată de un generator de rezervă de JT este produsă de un alternator rotit de un motor termic. Energia nu poate fi produsă până când generatorul nu a atins viteza de rotație nominală. Acest tip de dispozitiv nu este deci potrivit ca și sursa de alimentare neîntreruptibilă.

În funcție de capacitatea generatorului de a alimenta cu energie electrică toată instalația sau numai o parte avem de-a face cu redundanță totală sau parțială.

Un generator de rezervă funcționează în general deconectat de la rețea. Un dispozitiv de inversare a sursei este deci necesar.

Generatorul poate funcționa permanent sau intermitent; timpul său de funcționare este dependent de cantitatea de combustibil disponibilă.

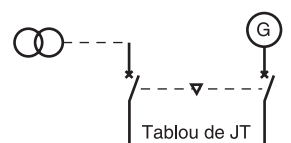


Fig. D16: Racordarea unui generator de rezervă.

Principalele caracteristici ce trebuie luate în considerare la alegerea montajului unui generator de rezervă:

- sensibilitatea sarcinilor la întreruperea alimentării cu energie electrică;
- existența și performanțele rețelei electrice de distribuție publică;
- alte constrângeri (de exemplu generatoarele sunt obligatorii în spitale sau în clădiri importante).

Prezența generatoarelor de rezervă este esențială dacă sarcinile nu acceptă întreruperi pe durată nedefinită (acceptă numai scurte întreruperi) sau dacă disponibilitatea rețelei electrice de distribuție publică este scăzută.

Pentru determinarea numărului necesar de generatoare de rezervă se vor folosi aceleași criterii ca și la alegerea numărului de transformatoare, ținând cont și de considerațiile economice și de disponibilitate (redundanță, siguranța pornirii, mentenanță).

7.3 Prezența surselor de alimentare neîntreruptibile (UPS, Uninterruptible Power Supply)

Energia electrică de la un UPS este furnizată de o unitate de stocare: baterie sau volant inercial. Acest sistem permite prevenirea oricărei întreruperi în alimentarea cu energie electrică. Timpul de asigurare a alimentării este limitat: de la câteva minute până la câteva ore.

Prezența simultană a generatoarelor de rezervă și a unităților UPS este utilizată pentru alimentarea permanentă a receptoarelor pentru care întreruperea alimentării cu energie electrică nu este acceptabilă (vezi **Fig. D17**). Timpul de asigurare a alimentării al bateriei sau volantului inercial trebuie să fie compatibil cu timpul maxim de pornire și de conectare al generatorului.

O unitate UPS poate fi utilizată de asemenea pentru alimentarea cu energie a sarcinilor sensibile la perturbații (generând o tensiune "curată" care este independentă de rețea).

Principalele caracteristici care trebuiesc luate în considerare la decizia instalării unui UPS sunt:

- sensibilitatea receptoarelor la întreruperile în alimentarea cu energie;
- sensibilitatea receptoarelor la perturbații în calitatea energiei.

Dacă o întrerupere în alimentarea cu energie este absolut inacceptabilă, atunci prezența UPS-urilor este necesară.

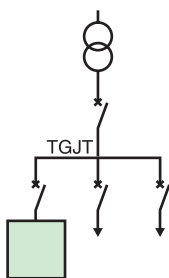


Fig. D18: Configurație cu un transformator care debitează pe o bară.

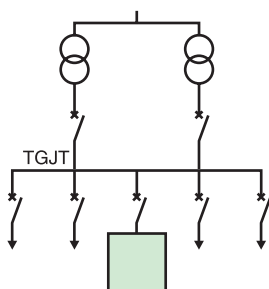


Fig. D19: Configurație cu două transformatoare care debitează pe aceeași bară.

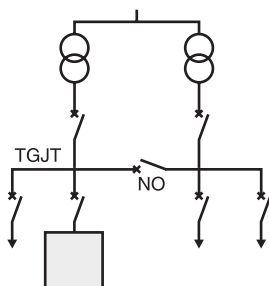


Fig. D20: Configurație cu două transformatoare care debitează pe două bare interconectate cu o cuplă normal deschisă.

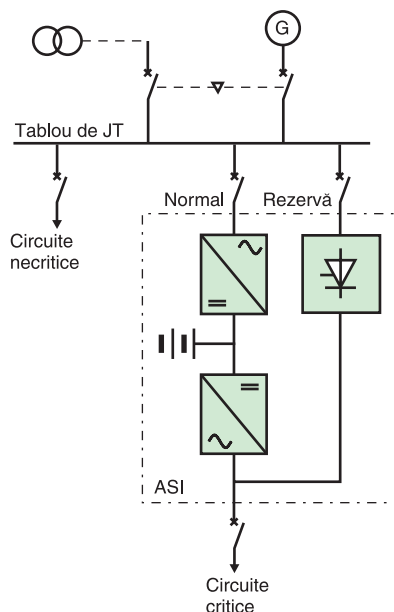


Fig. D17: Exemplu de racordare pentru un UPS.

7.4 Configurația circuitelor de JT

Principalele configurații posibile (vezi **Fig. D18** la **Fig. D25**):

■ **Configurație cu un transformator care debitează pe o bară:** Aceasta este cea mai simplă și mai folosită configurație. O sarcină este conectată la o singură sursă. Această configurație furnizează un nivel de disponibilitate minimă, deoarece nu există nici o redundanță în cazul defectării sursei de putere.

■ **Configurație cu două transformatoare care debitează pe aceeași bară:** Alimentarea cu energie electrică este asigurată de două transformatoare alimentate din aceeași linie de medie tensiune. Atunci când transformatoarele sunt apropiate ele debitează în paralel în același TGJT.

■ **Variantă:** Configurație cu două transformatoare care debitează pe două bare interconectate cu o cuplă normal deschisă. Pentru a crește disponibilitatea în cazul unui defect pe bară, precum și pentru a permite mentenanța unui transformator este posibil să sectionăm bara de medie tensiune în două părți interconectate printr-o cuplă normal deschisă. Această configurație poate solicita un dispozitiv de anclanșare automată a rezervei (ATS, Automatic Transfer Switch).

■ **Tablouri secundare:** Conțin o serie de circuite care pot fi conectate la TGJT. Conexiunea poate fi întreruptă la nevoie (suprasarcină, funcționare pe generator, etc.).

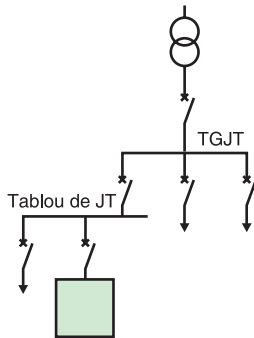


Fig. D21: Tablouri secundare.

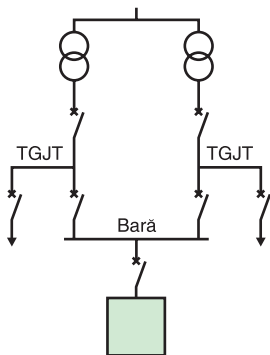


Fig. D22: Tablouri interconectate.

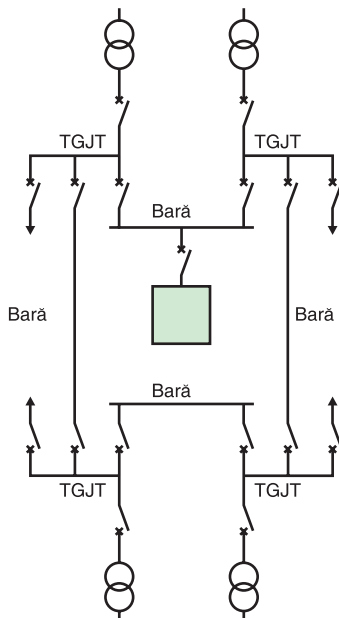


Fig. D23: Tablouri buclate.

■ **Dulapuri interconectate:** Dacă transformatoarele sunt amplasate din punct de vedere fizic la distanță unul față de celălalt, ele pot fi interconectate printr-o bară capsulată prefabricată. În acest fel o sarcină critică poate fi alimentată de un transformator sau de celălalt, disponibilitatea energiei electrice fiind deci îmbunătățită în cazul defectării unei surse. Redundanța poate fi:

- totală: fiecare transformator este capabil să alimenteze întreaga instalație;
- parțială: fiecare transformator este capabil să alimenteze numai o parte din instalație. În acest caz o parte din consumatori trebuie deconectați în cazul în care un transformator se defectează.

■ **Configurație buclată (în inel):** Aceasta poate fi considerată o extensie a configurațiilor cu tablouri interconectate. De obicei patru transformatoare conectate la aceeași linie de medie tensiune alimentează un inel constituit din bare capsulate. Astfel o sarcină dată poate fi alimentată din mai multe surse. Această configurație este potrivită instalațiilor extinse cu o mare densitate a sarcinilor (în kVA/m²). Dacă toate receptoarele pot fi alimentate din trei transformatoare atunci există redundanță totală în cazul defectării unui singur transformator. De fapt fiecare bară poate fi alimentată cu energie electrică pe la unul din capete. În caz contrar trebuie luată în considerare o descărcare a sarcinii (consumatorii neesențiali). Această configurație solicită proiectarea unui plan al protecțiilor dedicat pentru a se asigura selectivitatea în cazul apariției oricărui tip de defect.

■ **Configurație cu două surse:** Această configurație este utilizată în cazul în care este necesară o disponibilitate maximă. Principiul implică existența a două surse independente cum ar fi:

- două transformatoare alimentate din linii de MT diferite;
- un transformator și un generator;
- un transformator și un UPS.

Un dispozitiv AAR de anclanșare automată a rezervei (ATS, Automatic Transfer Switch) este utilizat pentru a se evita punerea în paralel a surselor. Această configurație permite efectuarea mentenanței preventive și corective în amonte rețelei de distribuție electrică fără întreruperea receptoarelor.

■ **Configurații combinate:** O instalație poate fi compusă din câteva subansambluri cu configurații diferite corespunzând cerințelor de disponibilitate pentru diferite tipuri de receptoare. De exemplu generatoare sau UPS-uri, alese pentru diferite secții de bară; anumite sectoare alimentate prin cabluri și anumite sectoare alimentate prin bare capsulate.

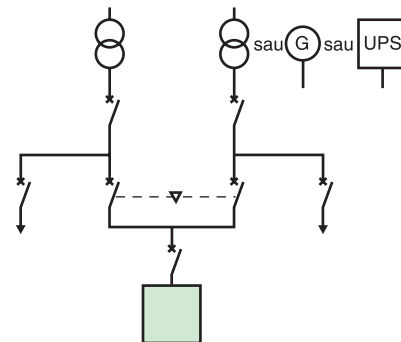


Fig. D24: Alimentare din două surse cu anclanșare automată a rezervei.

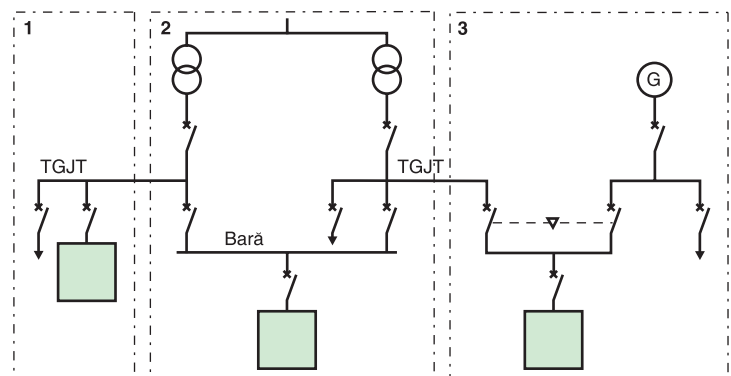


Fig. D25: Exemple de configurații combinate: 1: Transformator care debitează pe o bară, 2: Tablouri interconectate, 3: Configurație cu două surse.

Pentru diferitele configurații posibile, cele mai probabile și uzuale seturi de caracteristici sunt date în următorul tabel:

Caracteristici de luat în considerare	Configurații					
	Radială	Dublată	Secundară	Tablouri interconectate	Bucă	Două surse
Topologia amplasamentului	Oricare	Oricare	Oricare	1 nivel 5 la 25000 m²	1 nivel 5 la 25000 m²	Oricare
Mărimea obiectivului	Oricare	Oricare	Oricare	Mediu sau mare	Mediu sau mare	Oricare
Mentenabilitate	Minimă	Standard	Minimă	Standard	Standard	Îmbunătățită
Necesarul de putere	< 2500 kVA	Oricare	Oricare	≥ 1250 kVA	> 2500 kVA	Oricare
Distribuția sarcinilor	Sarcini punctuale	Sarcini punctuale	Sarcini punctuale	Sarcini intermediare sau uniform distribuite	Sarcini uniform distribuite	Sarcini punctuale
Sensibilitatea la întreruperi	Acceptă întreruperi lungi	Acceptă întreruperi lungi	Neimportante	Acceptă întreruperi lungi	Acceptă întreruperi lungi	Acceptă întreruperi scurte sau nu acceptă întreruperi
Sensibilitatea la perturbații	Sensibilitate mică	Sensibilitate mare	Sensibilitate mică	Sensibilitate mare	Sensibilitate mare	Sensibilitate mare
Alte constrângeri	/	/	/	/	/	Receptoare alimentate din două surse

8 Alegerea echipamentului

Alegerea echipamentului este a treia etapă în proiectarea unei instalații electrice. În această etapă se vor selecta echipamentele din cataloagele fabricanților. Alegerea soluțiilor tehnologice derivă din alegerea arhitecturii.

Lista echipamentelor ce se vor lua în considerare:

- posturi de transformare MT/JT;
- echipament de MT;
- transformatoare;
- dulapuri de joasă tensiune;
- bare capsulate;
- unități UPS;
- echipament de compensare a energiei reactive și filtrarea armonicelor.

Criterii de luat în considerare:

- atmosfera, mediul;
- indicele de serviciu;
- disponibilitatea ofertelor în fiecare țară;
- cerințele furnizorilor;
- alegerea anterioară a arhitecturii.

Alegerea echipamentului este legată în principiu de oferta disponibilă în țară. Acest criteriu ia în considerare disponibilitatea anumitor game de echipament sau suportul tehnic local. Selecția detaliată a acestui echipament nu este prezentată în acest document.

9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii

Recomandările următoare trebuie să ajute proiectanții în îmbunătățirea criteriilor de evaluare ale arhitecturilor.

9.1 Munca pe șantier

Pentru a corespunde cerințelor aplicațiilor “critice” sau “speciale” este recomandat să limităm incertitudinile aplicând următoarele recomandări:

- utilizați soluții și echipamente testate și validate de către producători (tablouri “funcționale” sau tablouri “de fabricant”) alese în funcție de criticitatea instalației;
- preferați instalarea unui produs pentru care există o rețea de distribuție de încredere și pentru care este posibilă obținerea unui suport tehnic local (fabricant implantat corespunzător);
- preferați utilizarea echipamentelor prefabricate (posturi de transformare MT/JT, bare capsulate prefabricate) în scopul limitării volumului operațiilor executate pe șantier;
- limitați varietatea echipamentului instalat (de exemplu gamele de puteri ale transformatoarelor);
- evitați utilizarea de echipament de la mai mulți fabricanți.

9.2 Impactul asupra mediului

Optimizarea estimărilor impactului asupra mediului a instalațiilor electrice va include reducerea:

- pierderilor de energie la sarcină nominală și în gol în timpul funcționării;
- global, a masei materialelor utilizate pentru realizarea instalației.

Luete separat și analizând un singur echipament cele două obiective pot părea contradictorii. Atunci când este aplicată întregii instalații este posibil să concepem o instalație care să contribuie la ambele obiective. Instalația optimă nu trebuie să fie deci suma echipamentelor optime luate separat ci un rezultat al optimizărilor aplicate asupra întregii instalații.

Figura D26 dă un exemplu asupra contribuției fiecărei categorii de echipament la masa totală și la disiparea de energie pentru o instalație de 3500 kVA amplasată pe o suprafață de 10000 m².

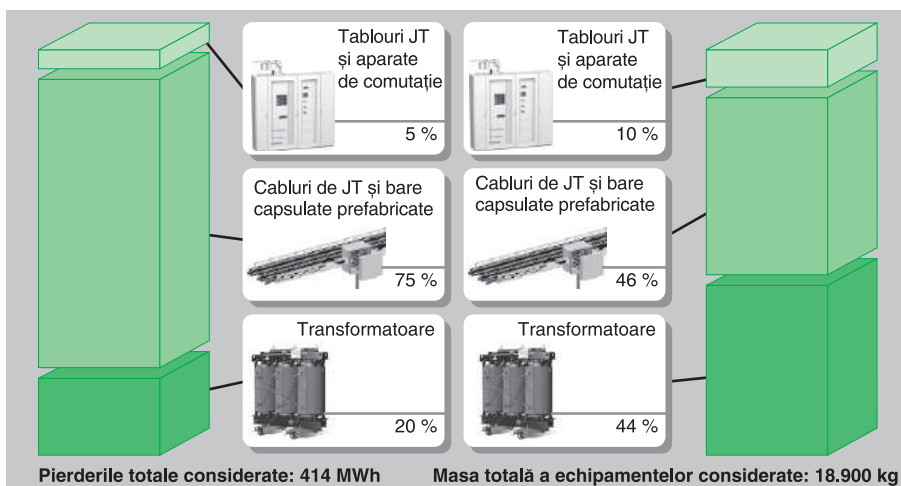


Fig. D26: Exemplu de repartitie a greutatei materialului și a pierderilor de energie pe fiecare categorie de echipament.

Principalele contribuții la pierderile operaționale și la greutatea echipamentelor utilizate le au, deci, cablurile de JT și barele capsulate prefabricate împreună cu transformatoarele de putere MT/JT.

Optimizarea arhitecturii instalațiilor pentru conformitatea cu cerințele de mediu va implica:

- reducerea lungimii circuitelor JT din instalație;
- gruparea circuitelor comune oriunde este posibil pentru a profita de factorul de simultaneitate k_s (vezi capitolul A: “Reguli generale de proiectare a instalațiilor electrice”, paragraful 4 “Puterea cerută de o instalație electrică”, subparagraful 4.3 “Estimarea cererii maxime de putere aparentă”.

9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii

Obiective	Resurse
Reducerea lungimii circuitelor de JT	Plasarea posturilor de transformare MT/JT pe cât posibil aproape de centrul de greutate al sarcinilor ce urmează să fie alimentate
Gruparea circuitelor de JT	<p>Atunci când factorul de simultaneitate k_s al grupului de sarcini ce urmează a fi alimentate este mai mic decât 0,7 atunci gruparea circuitelor ne permite să limităm volumul conductoarelor ce alimentează cu energie electrică aceste sarcini. În termeni reali aceasta implică:</p> <ul style="list-style-type: none">■ prevederea de tablouri electrice intermediare plasate pe cât posibil aproape de centrul de greutate al grupului de sarcini ce urmează a fi alimentate;■ prevederea de bare capsulate prefabricate plasate pe cât posibil în vecinătatea grupurilor de sarcini distribuite. <p>Căutarea soluțiilor optime poate conduce la câteva scenarii de grupare.</p> <p>În toate cazurile reducerea distanței între centrul de greutate al grupului de sarcini și echipamentul care le alimentează cu energie electrică permite reducerea impactului de mediu.</p>

D27

Tab. D27: Optimizarea în conformitate cu cerințele de mediu: Obiective și Resurse.

Ca un exemplu **Fig. D28** arată impactul grupării circuitelor în cazul reducerii distanței între centrul de greutate a sarcinilor dintr-o instalație și sursele de putere (poziția TGJT este fixă). Exemplul privește o fabrică de îmbuteliere apă minerală.

- poziția TGJT este impusă în afara clădirii principale din considerente de accesibilitate și mediu coroziv;
- puterea instalată este în jur de 4 MVA.

În soluția numărul 1 circuitele sunt distribuite pentru fiecare atelier.

În soluția numărul 2 circuitele sunt distribuite după procesele funcționale (liniile de producție).

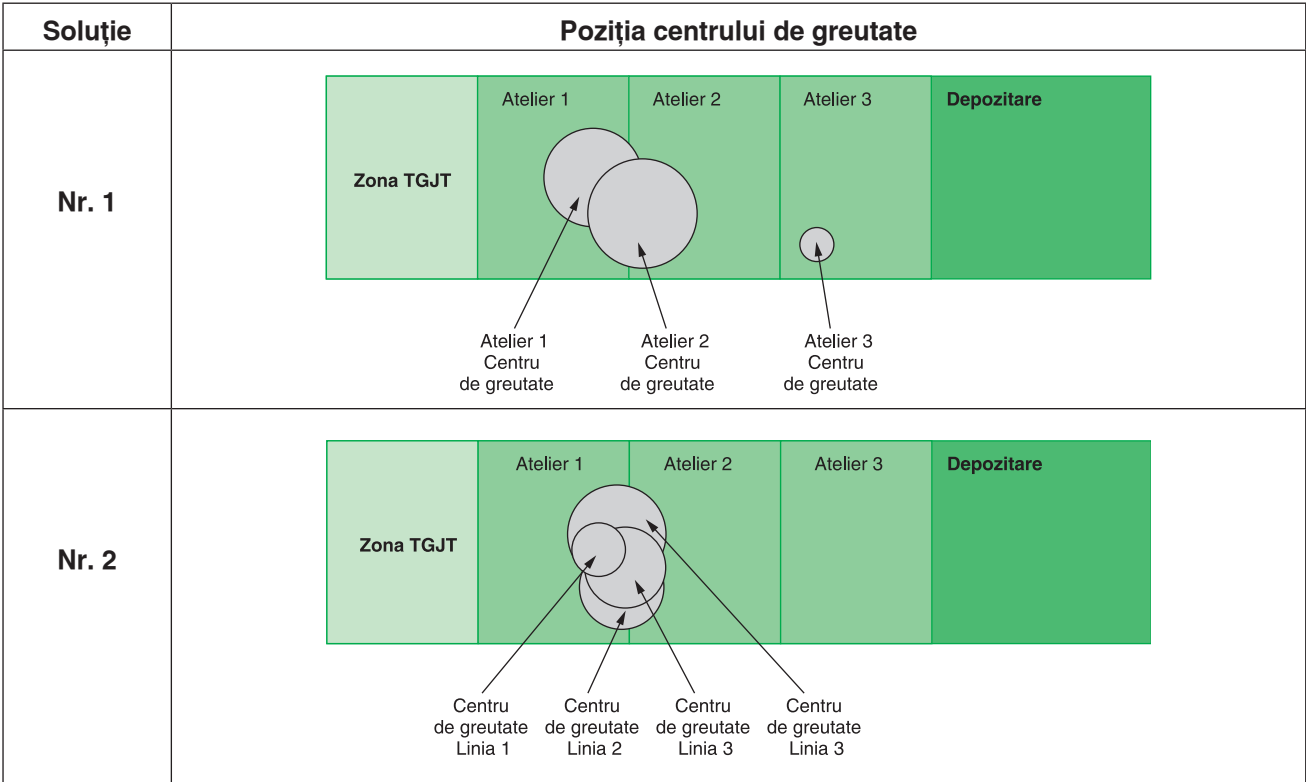


Fig. D28: Exemplu de poziționare a centrului de greutate.

9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii

Fără a schimba configurația echipamentului electric, cea de-a doua soluție permite obținerea unor economii de aproximativ de 15% din greutatea cablurilor de joasă tensiune ce urmează a fi instalate (câștiguri în lungime) și o utilizare mai uniformă a puterii transformatorului.

Pentru a finaliza optimizarea în termeni de arhitectură o contribuție importantă o au și următorii factori:

- compensarea energiei reactive pentru a limita pierderile în transformatoare și, dacă compensarea este distribuită, în circuitele de joasă tensiune,
- utilizarea transformatoarelor cu pierderi reduse;
- utilizarea aluminiului ca material conductor în traseele de bare capsulate prefabricate deoarece resursele naturale ale acestui metal sunt mai mari.

9.3 Volumul mentenanței preventive

Recomandări pentru reducerea volumului mentenanței preventive:

- considerați aceleași recomandări ca și pentru reducerea muncii pe șantier;
- orientați munca de mentenanță asupra circuitelor critice;
- alegeți echipamente standardizate raționalizate;
- utilizați echipament proiectat pentru atmosferă severă deoarece solicită mai puțină mentenanță.

9.4 Disponibilitatea energiei electrice

Recomandări pentru îmbunătățirea disponibilității energiei electrice:

- reduceți numărul de plecări pe tablou de distribuție pentru a limita efectele unui defect posibil al tabloului;
 - distribuiți circuitele în raport cu cerințele de disponibilitate;
 - utilizați echipament conform cu cerințele (vezi indicele de serviciu, subcapitolul 4.2);
 - urmați ghidul de selecție propus pentru etapele 1 și 2 (vezi **Fig. D3** de la pag. D5).
- Recomandări pentru creșterea nivelului disponibilității:
- evoluati de la o configurație radială cu un transformator la o configurație radială cu două transformatoare;
 - evoluati de la o configurație radială cu două transformatoare la o configurație cu două surse;
 - evoluati de la o configurație cu două surse la o configurație neîntreruptibilă cu unitate UPS și anclanșare automată a rezervei;
 - creșteți nivelul mentenanței - reduceți MTTR (Mean Time To Repair, Media Timpului unei Reparații), creșteți MTBF (Mean Time Between Failure, Media Timpului de Bună Funcționare).

10 Glosar

Arhitectură: alegerea unei scheme monofilare și a unei soluții tehnologice pentru conectarea la rețeaua electrică de distribuție publică prin circuite electrice de putere.

Distribuție principală MT/JT: nivelul superior al arhitecturii, de la punctul de conectare la rețea până la echipamentul de distribuție principal (TGJT sau echivalent).

TGJT - Tablou general de joasă tensiune: tabloul principal din avalul transformatoarelor MT/JT care este punctul de pornire al circuitelor electrice de distribuție din instalație.

Distribuție de putere de JT: nivel intermediar al arhitecturii, din avalul nivelului principal până la ieșirea din tablourile electrice intermediare.

Distribuție terminală de JT: nivelul inferior al arhitecturii, din avalul tablourilor electrice intermediare până la receptoare. Acest nivel al distribuției nu este tratat în această lucrare.

Schemă monofilară: diagrama electrică schematică pentru reprezentarea principalelor echipamente electrice și a conexiunilor între ele.

Post de transformare MT/JT, punct de conexiuni: incinte grupând echipamente de medie tensiune și/sau transformatoare MT/JT. În funcție de tehnologia echipamentelor și de topologia obiectivului echipamentele pot fi amplasate în aceeași cameră sau în camere diferite. În anumite țări (printre care și România) distribuția se poate face din postul de transformare.

Soluție tehnologică: rezultatul alegerilor tehnologice pentru subansamblul unei instalații dintre diferitele produse și echipamente propuse de fabricant.

Caracteristici: date tehnice sau de mediu referitoare la instalații, permițând alegerea celei mai potrivite arhitecturi.

Criterii: parametrii pentru evaluarea instalației, permițând alegerea arhitecturii cele mai potrivite pentru nevoile clientului.

11 Programul de calcul ID-Spec

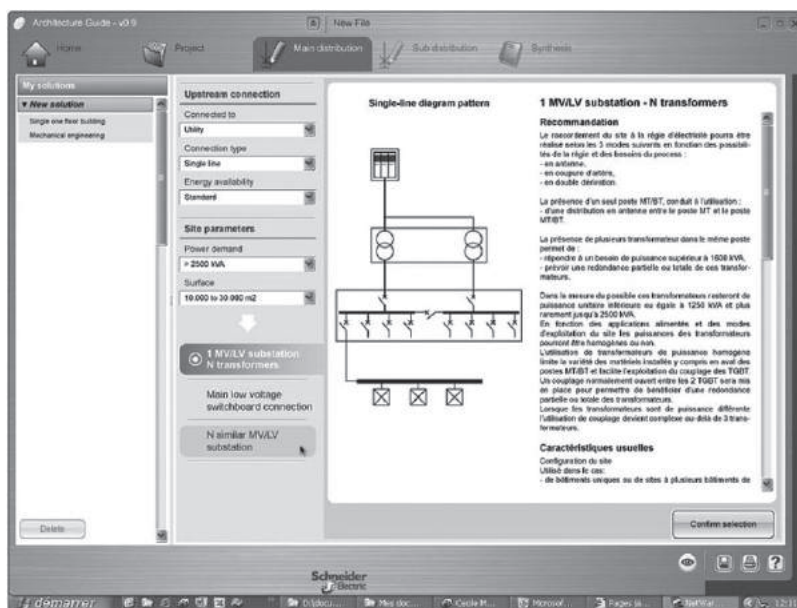
ID-Spec este un nou program de calcul al cărui scop este să ajute proiectantul să realizeze mai ușor și mai profesional prima fază a proiectării argumentând temeinic deciziile principale.

Proiectantul este îndrumat în selectarea schemei monofilare adecvate pentru distribuția de putere principală, intermediară și finală a instalației proiectate. De asemenea poate selecta ușor echipamentul tehnologic și caracteristicile principale ale acestuia. Specificațiile corespundente sunt generate automat, inclusiv schema monofilară și argumentele pentru care a fost aleasă precum și lista de specificații a echipamentului corespundent ales.

Astfel o primă variantă argumentată a proiectului va putea fi realizată și prezentată clientului într-un termen foarte scurt.

Acest program de calcul este disponibil și în limba română.

D30



Capitolul E

Distribuția în instalații de joasă tensiune

Cuprins

1	Scheme de tratare a neutrului	E2
	1.1 Legarea la pământ	E2
	1.2 Definirea schemelor standardizate de tratare a neutrului	E3
	1.3 Caracteristicile sistemelor TT, TN și IT	E6
	1.4 Criterii de selecție pentru sistemele TT, TN și IT	E8
	1.5 Alegerea și implementarea sistemului de tratare a neutrului	E10
	1.6 Instalarea și măsurarea prizei de pământ	E11
2	Sisteme de instalare	E15
	2.1 Tablouri de distribuție	E15
	2.2 Cabluri și bare capsulate prefabricate	E18
3	Influențe externe (CEI 60364-5-51)	E25
	3.1 Definiții și standarde de referință	E25
	3.2 Clasificare	E25
	3.3 Lista influențelor externe	E25
	3.4 Grade de protecție pentru echipament: codurile IP și IK	E28

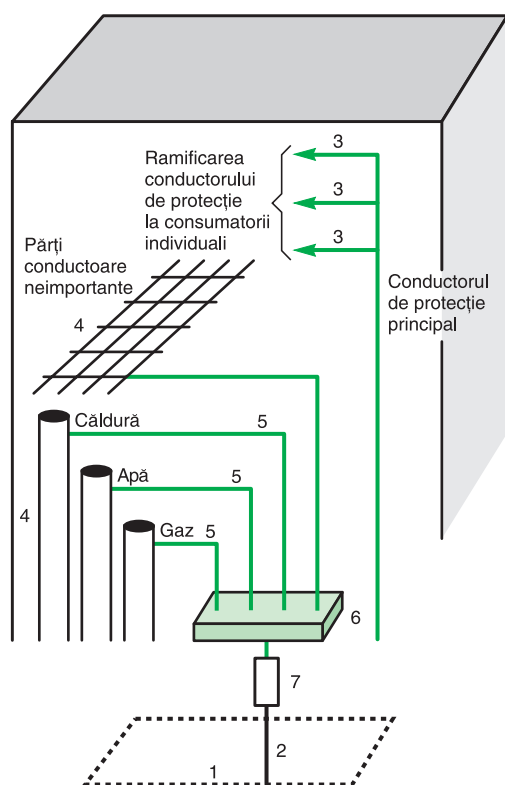


Fig. E1: Exemplul unui bloc de locuințe în care piesa de distribuție echipotențială (6) furnizează conexiunile echipotențiale principale, iar eclisa de separație (7) permite măsurarea prizei de pământ.

Definitii

■ Centuri interioare pentru egalizarea potențialelor (6): bornă sau bară prevăzută pentru legarea conductoarelor de protecție, incluzând conductoare de legătură de echipotențialitate și orice conductoare de legătură cu elementele de împământare.

Legarea eficientă la pământ a tuturor pieselor de metal accesibile și maselor utilajelor și echipamentelor electrice sunt esențiale pentru protecția împotriva socurilor electrice.

1 Scheme de tratare a neutrului

Părți componente ce vor fi considerate ca:	
părți expuse conductoare	părți conductoare neimportante
Canale de cabluri ■ conducte ■ cabluri armate și nearmate ■ cabluri izolate cu manta metalică	Elemente utilizate în construcția clădirii ■ metal sau beton armat: □ structura de oțel □ metal pentru armare □ panouri prefabricate ■ finisarea suprafețelor: □ podele și pereți de beton armat fără finisări ulterioare □ suprafețe pardosite ■ acoperiri metalice: □ acoperiri metalice ale pereților
Aparat de comutație ■ partea fixă a unui aparat de comutație debrosabil	Utilități ale clădirilor altele decât cele electrice: ■ țevi metalice, conducte pentru gaz, apă ■ componente metalice asociate: boilere, rezervoare, radiatoare ■ accesorii metalice în băi ■ hârtie metalizată
Dispozitive ■ părți expuse metalice ale aparatelor cu izolație de clasă 1	
Elemente neelectrice ■ elemente metalice asociate traseelor de cabluri (jgheaburi, rastele de cabluri, etc.) ■ obiecte metalice: □ apropiate conductoarelor aeriene sau barelor □ în contact cu echipamentul electric	

Părți componente ce nu vor fi considerate ca:	
părți expuse conductoare	părți conductoare neimportante
Diverse canale de serviciu, ghene, etc ■ conducte fabricate din material izolan ■ forme de lemn sau alt material izolan ■ conductoare și cabluri fără armături metalice	■ pardoseli din lemn ■ podele acoperite cu covoare de cauciuc sau cu linoleum ■ pereți de rigips ■ pereți de cărămidă ■ covoare și tapiserii
Aparate de comutație ■ carcase confecționate din material izolan	
Dispozitive ■ toate aparatele care au clasa 2 de izolație în funcție de tipul carcasei exterioare	

Tab. E2: Lista părților expuse conductoare și a părților conductoare neimportante.

Diferitele scheme de legare la pământ (referitoare la tipul sistemului de alimentare sau al sistemului de tratare a neutrului) caracterizează modul de legare la pământ a instalației din avalul înfășurării secundare a unui transformator MT/JT, precum și mijloacele utilizate pentru punerea la pământ a părților conductoare expuse ale instalației de JT alimentate de acesta.

1.2 Definirea schemelor standardizate de tratare a neutrului

Alegerea acestor scheme determină măsurile necesare pentru protecția împotriva contactelor accidentale.

Există trei opțiuni principale pentru proiectantul unei instalații de distribuție electrică: ■ tipul conexiunilor sistemului electric (în general a conductorului neutru) și a părților expuse la priza de pământ;

■ utilizarea unui conductor de protecție separat (PE) sau a unui conductor de protecție comun cu conductorul neutru (PEN);

■ utilizarea pentru protecția la punere la pământ a protecției maxime de curent a întreruptoarelor automate de JT, care vor sesiza și elimina doar curenții relativ mari, sau utilizarea unor releee adiționale capabile să detecteze și să elimine curenții mult mai mici de defect al izolației către pământ.

În practică aceste opțiuni au fost grupate și standardizate așa cum se explică în cele ce urmează.

Fiecare din aceste opțiuni conduce la un sistem de tratare a neutrului cu avantaje și dezavantaje:

■ legarea împreună a părților conductoare expuse ale echipamentelor și a conductorului neutru la conductorul de protecție PE duce la echipotențialitate și la reducerea supratensiunilor dar mărește curenții de defect la pământ;

■ un conductor de protecție separat este mai costisitor, chiar dacă are secțiune mică, dar este mult mai puțin probabil să fie poluat cu armonici sau goluri de tensiune decât conductorul neutru. Se evită apariția curenților de scurgere la pământ în părțile conductoare neesențiale;

■ instalarea releelor diferențiale reziduale sau a dispozitivelor de monitorizare a izolației înseamnă o protecție mult mai sensibilă care permite în multe cazuri eliminarea defectelor înainte de apariția daunelor importante (arderea motoarelor, incendii, electrocutări). Protecția oferită este, în plus, independentă și trebuie avută în vedere la schimbările dintr-o instalație existentă.

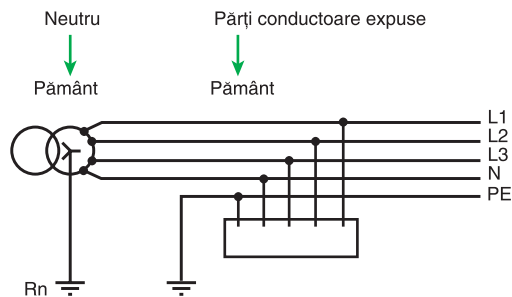


Fig. E3: Sistemul TT.

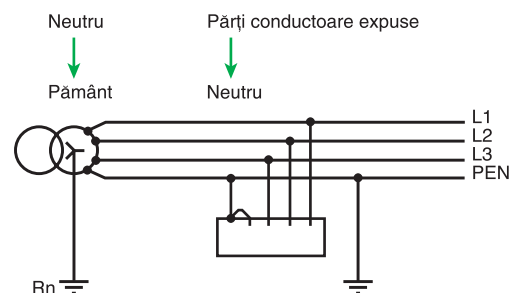


Fig. E4: Sistemul TN-C.

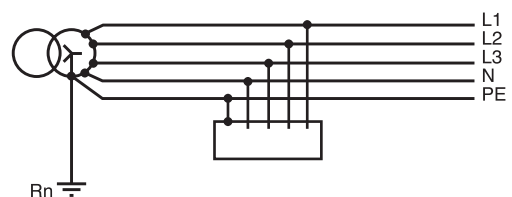


Fig. E5: Sistemul TN-S.

Sistemul TT (neutru legat la pământ) (vezi Fig. E3)

Punctul neutru al sursei de alimentare este legat direct la pământ. Toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la priza de pământ separată ale instalației. Acestă priză de pământ poate fi sau nu electric independentă față de priza de pământ a sursei. Zonele de influență pot interfera fără a influența funcționarea dispozitivelor de protecție.

Sistemul TN (părțile conductoare expuse legate la neutru)

Sursa este legată la pământ în același mod ca și în schema TT. În instalație toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la conductorul neutru. În continuare sunt prezentate mai multe versiuni ale schemelor TN.

Sistemul TN-C (vezi Fig. E4)

Conductorul neutru are și funcția de conductor de protecție, fiind numit conductor PEN (conductor de protecție și nul). Această schemă nu este permisă pentru conductoare din cupru cu secțiune sub 10 mm² (16 mm² pentru aluminiu) sau pentru echipament portabil.

Schema TN-C cere stabilirea unei zone eficiente de echipotențialitate, cu dispunerea pe cât posibil echidistantă a prizelor de pământ deoarece conductorul PEN este și conductor neutru și deci transportă în același timp curenții generați de sarcinile dezechilibrate ca și armonicile de ordin 3 (și multiplii lor).

De aceea, suplimentar conductorul PEN trebuie conectat la mai multe prize de pământ în aceeași instalație.

Atentie: În sistemul TN-C, funcția "conductor de protecție" are prioritate asupra funcției "conductor neutru". În particular un conductor PEN trebuie conectat întotdeauna la terminalul de împământare al unui receptor și un ștrap este folosit pentru a conecta acest terminal la terminalul de neutru.

Sistemul TN-S (vezi Fig. E5)

Sistemul TN-S (5 conductoare) este obligatoriu pentru circuite cu conductoare de secțiune mai mică decât 10 mm² și pentru echipamentele portabile. Conductorul de protecție și conductorul neutru sunt separate. În rețelele subterane unde există cabluri armate cu bandă de oțel, conductorul de protecție este banda de oțel.

Sistemul TN-C-S (vezi Fig. E6 de mai jos și Fig. E7 de pe pagina următoare). Schemele TN-C și TN-S pot fi utilizate simultan în aceeași instalație. În schemele TN-C-S, schema TN-C (4 conductoare) nu poate fi folosită niciodată în aval de schema TN-S (5 conductoare) deoarece o întrerupere accidentală a neutrlui în amonte va conduce la o întrerupere a conductorului de protecție în aval și deci la un potențial pericol.

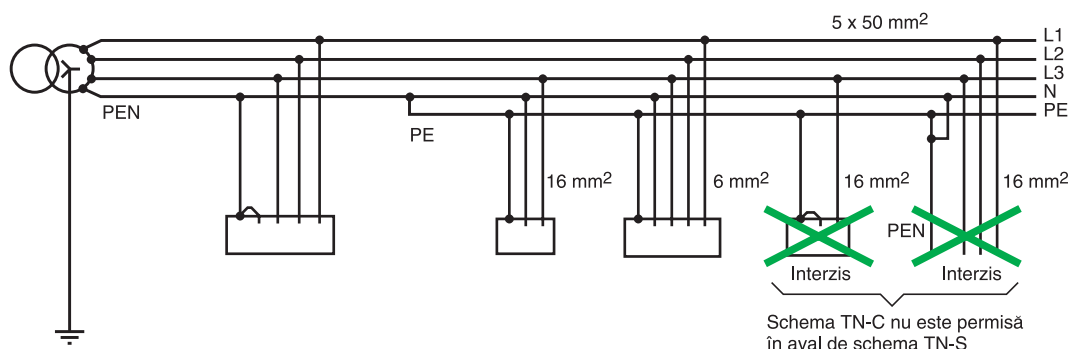


Fig. E6: Sistemul TN-C-S.

1 Scheme de tratare a neutrlui

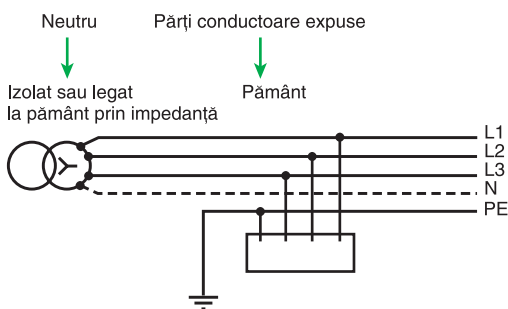


Fig. E8: Sistemul IT (neutru izolat).

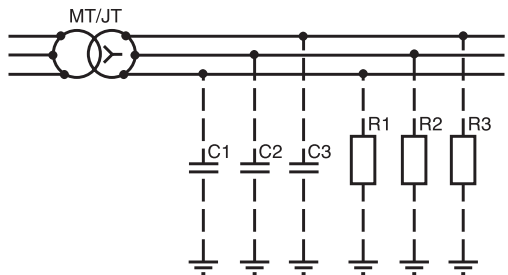


Fig. E9: Sistemul IT (neutru izolat).

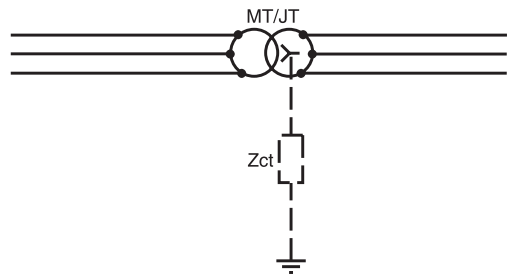


Fig. E10: Impedanța echivalentă cu impedanța circuitului de scurgere într-un sistem IT.

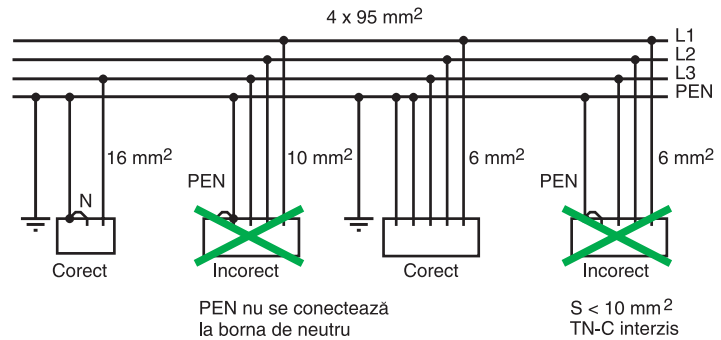


Fig. E7: Conectarea conductorului PEN in sistemul TN-C.

Sistemul IT (neutru izolat sau legat la pământ prin impedanță)

Sistemul IT (neutru izolat)

Nu conține nici o legătură între punctul de neutru al sursei și pământ (vezi Fig. E8). Părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale ale instalației sunt legate la priză de pământ.

În practică toate circuitele au o impedanță de scurgere la pământ, deoarece nici o izolație nu este perfectă. În paralel cu aceste trasee de scurgere, cu caracter rezistiv (rezistență distribuită) există o cale de curent capacitiv, cele două elemente definind împreună impedanța normală de scurgere la pământ (vezi Fig. E9).

Exemplu (vezi Fig. E10)

Într-un sistem de JT trifazat cu 3 conductoare, 1 Km de cablu are impedanță de scurgere determinată de C1, C2, C3 și R1, R2, R3 echivalentă cu existența unei impedanțe între punctul de neutru și pământ: Z_{ct} de la 3000 la 4000 Ω , fără a socoti capacitățile de filtrare ale dispozitivelor electronice.

Sistemul IT (neutru legat la pământ prin impedanță)

O impedanță Z_s (de valoare de la 1000 la 2000 Ω) este conectată permanent între punctul de neutru al înfășurării de JT a transformatorului și pământ (vezi Fig. E11). Toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la o priză de pământ. Rațiunea pentru această formă de punere la pământ a sursei de alimentare este de a fixa potențialul unei porțiuni de rețea în raport cu pământul (Z_s este mică în raport cu impedanța de scurgere) și de a reduce nivelul supratensiunilor în raport cu pământul, cum ar fi cele transmise prin înfășurarea de MT, cele de natură electrostatică, etc. Uneori acest fapt produce o ușoară creștere a nivelului curentului de defect.

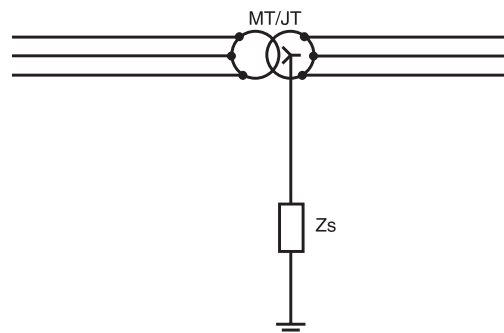


Fig. E11: Sistemul IT (neutru legat la pământ prin impedanță).

Sistemul TT :

- *tehnica pentru protecția persoanelor: toate părțile expuse conductoare sunt legate la pământ și sunt utilizate dispozitive de curent diferențial rezidual;*
- *tehnica de exploatare: întrerupere la primul defect de izolație.*

1.3 Caracteristicile sistemelor TT, TN și IT

Sistemul TT (vezi Fig. E12)

Notă: Dacă părțile conductoare expuse sunt legate la pământ într-un număr de puncte, câte un dispozitiv RCD trebuie instalat pentru fiecare set de circuite conectat la o priză de pământ.

Caracteristici principale

- Cea mai simplă soluție din punct de vedere al proiectării și realizării. Utilizată pentru instalații alimentate direct din rețeaua de JT de distribuție publică.
- Nu necesită monitorizare permanentă în timpul funcționării (poate fi necesară o verificare periodică a dispozitivelor RCD).
- Protecția este asigurată de dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD, Residual Current Device) care previn de asemenea riscul de incendiu atunci când sunt setate la o valoare mai mică de 500 mA.
- Fiecare defect de izolație conduce la o întrerupere în alimentarea cu energie electrică dar întreruperea este limitată la circuitul defect prin instalarea RCD-uri selective (în serie) sau a celor de selectare a circuitelor (paralel).
- Sarcinile sau părțile din instalație care, în timpul funcționării normale, pot cauza scurgeri de curent la pământ, necesită măsuri speciale pentru evitarea declanșărilor intempestive precum alimentarea sarcinilor printr-un transformator de separație sau utilizarea unui RCD dedicat (vezi secțiunea 5.1 din capitolul F).

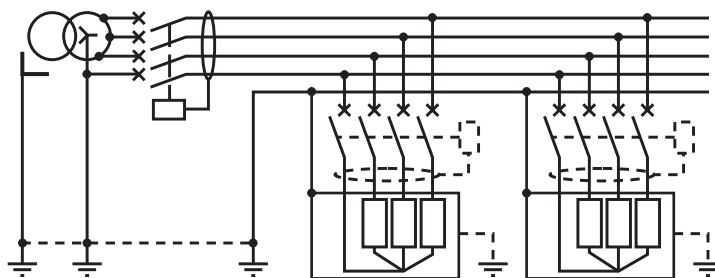


Fig. E12: Sistemul TT.

Sistemul TN :

- *tehnica pentru protecția persoanelor:*
 - *interconectarea și legarea la pământ a părților expuse conductoare și a neutrlui este obligatorie,*
 - *întreruperea la primul defect utilizând protecția maximală de curent (întreruptoare automate sau fuzibile);*
- *tehnica de exploatare: întreruperea la primul defect de izolație.*

Sistemul TN (vezi Fig. E13 și Fig. E14)

Caracteristici principale

- În general sistemul TN:
 - necesită instalarea de prize de pământ la anumite intervale în instalația electrică,
 - necesită ca verificarea inițială, încă din faza de proiect, prin calcule, a declanșării efective la primul defect de izolație să fie confirmată de testele obligatorii la punerea în funcțiune,
 - necesită ca proiectarea și realizarea oricărei modificări a instalației să fie realizată de către personal calificat,
 - în cazul unor defecte de izolație este posibilă producerea unor daune importante înfășurărilor mașinilor rotative,
 - în locații cu risc crescut de incendiu poate reprezenta un pericol important datorită curenților de defect de valori mari.
- Suplimentar sistemul TN-C:
 - la prima vedere pare mai ieftin (eliminarea unui pol și a unui conductor),
 - impune utilizarea unor conductoare fixe și rigide,
 - este interzisă utilizarea în anumite situații:
 - locații cu risc crescut de incendiu
 - pentru tehnica de calcul (prezența curenților armonici pe conductorul de neutru).
- Suplimentar sistemul TN-S:
 - poate fi utilizat inclusiv pentru conductoare flexibile sau de secțiuni mici,
 - datorită separării fizice a conductorului neutru de conductorul de protecție există un PE curat (pentru sisteme de computere și locații cu riscuri speciale).

1 Scheme de tratare a neutrlui

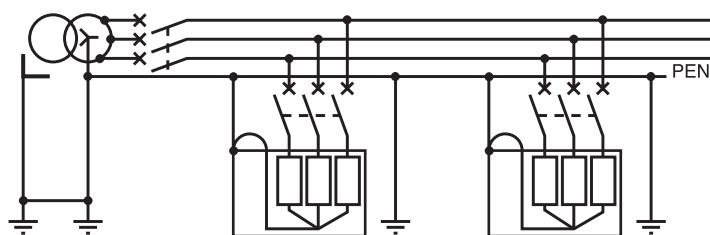


Fig. E13: Sistemul TN-C.

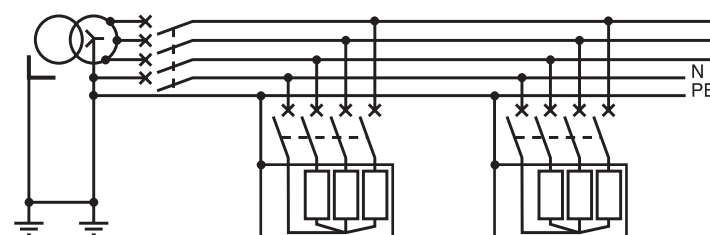


Fig. E14: Sistemul TN-S.

Sistemul IT:

- tehnica pentru protecția persoanelor:
- interconectarea și legarea la pământ a părților expuse conductoare,
- semnalizarea la primul defect utilizând dispozitive de monitorizare a izolației (IMD, Insulation Monitoring Device),
- întreruperea la al doilea defect utilizând protecția maximală de curent (întreruptoare automate sau fuzibile);
- tehnica de exploatare:
- monitorizarea primului defect de izolație,
- localizarea și eliminarea defectului este obligatorie,
- întreruperea pentru două defecte simultane de izolație.

Sistemul IT (vezi Fig. E15)

Caracteristici principale

- Soluția aceasta asigură cea mai bună continuitate în alimentarea cu energie electrică.
- Semnalizarea primului defect de izolație urmată obligatoriu de localizarea și eliminarea sa asigură prevenirea întreruperii alimentării.
- Utilizat în general în instalații alimentate din transformatoare MT/JT sau JT/JT de abonat.
- Necesită personal de întreținere pentru monitorizare și exploatare.
- Necesită un nivel ridicat al izolației în rețea (implică secționarea rețelelor mari și utilizarea transformatoarelor de separație pentru alimentarea sarcinilor cu curenți de scurgere ridicați).
- Verificarea declanșării efective la al doilea defect simultan de izolație trebuie realizată prin calcul încă din faza de proiectare urmată obligatoriu de măsurători la punerea în funcțiune a fiecărui grup de părți conductoare expuse interconectate.
- Protecția conductorului de neutru trebuie asigurată așa cum se indică în secțiunea 7.2 din capitolul G.

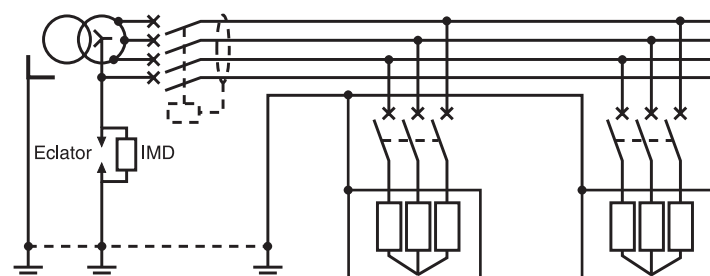


Fig. E15: Sistemul IT.

Selecția nu depinde de criterii de siguranță. Cele trei sisteme sunt echivalente în termeni de protecția persoanelor dacă toate regulile de instalare și exploatare sunt respectate întocmai. Criteriul de selecție pentru cel mai bun sistem depinde de reglementările în vigoare, de continuitatea cerută în alimentare, de condițiile de exploatare și de tipurile de rețele și de sarcini.

1.4 Criterii de selecție pentru sistemele TT, TN și IT

În termeni de protecție a persoanelor, cele trei sisteme de tratare a neutrlui sunt echivalente dacă toate regulile de instalare și exploatare sunt respectate întocmai. În consecință, selecția nu depinde de criterii de siguranță.

Numai prin combinarea tuturor cerințelor în ce privește reglementările, continuitatea în alimentare, condițiile de exploatare și tipurile de rețele și de sarcini este posibil să se determine cel mai potrivit sistem (vezi **Tab. E16**).

Selecția este determinată de următorii factori:

■ în primul rând reglementările în vigoare care în anumite cazuri impun anumite sisteme de tratare a neutrlui;

■ în al doilea rând decizia beneficiarului de a fi alimentat printr-un transformator propriu (măsură pe medie tensiune) sau prin sursă de energie separată. Dacă există posibilitatea efectivă de a alege atunci decizia cu privire la modul de tratare a neutrlui se va lua în urma discuțiilor cu proiectantul rețelei (birou de proiectare sau instalator).

Discuția trebuie să acopere:

■ mai întâi cerințele de exploatare (nivelul cerut al continuității în alimentare) și condițiile de exploatare (mentenanță asigurată de personal calificat în domeniul electric sau nu, propriu sau nu, etc.);

■ în al doilea rând caracteristicile particulare ale rețelei și sarcinilor (vezi **Tab. E17** de pe pagina următoare).

Caracteristici electrice	TT	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Comentarii
Curentul de defect	-	--	--	+	--	Numai sistemul IT oferă curenti de defect neglijabili (la primul defect)
Tensiunea de defect	-	-	-	+	-	În sistemul IT tensiunea de atingere este neglijabilă pentru primul defect dar este considerabilă pentru al doilea
Tensiunea de atingere	+/- -	-	-	+	-	În sistemul TT tensiunea de atingere este scăzută dacă sistemul este echipotențial, altfel este ridicată
Protecție						
Protecția persoanelor împotriva contactului indirect	+	+	+	+	+	Toate sistemele de tratare a neutrlui (STN) sunt echivalente dacă regulile fiecăruia sunt respectate
Protecția persoanelor în cazul generatoarelor pentru situații de urgență	+	-	-	+	-	Sist. unde protecția este asigurată de către dispozitive diferențiale reziduale nu sesizează schimbarea impedanței interne a sursei
Protecția împotriva incendiilor (cu un dispozitiv diferențial rezidual)	+	+	nu este permis	+	+	Toate STN-urile în care se pot utiliza dispozitive diferențiale reziduale sau echivalente. Sistemul TN-C este interzis în imobilele cu risc de incendiu
Supratensiuni						
Supratensiuni continue	+	+	+	-	+	O supratensiune fază-pământ este continuă în sistemul IT, dacă este vorba de primul defect de izolație
Supratensiuni tranzitorii	+	-	-	+	-	Sist. cu curenti de defect mari pot provoca supratensiuni tranzitorii
Supratensiuni în cazul defectării transformatorului (primar/secundar)	-	+	+	+	+	În sistemul TT există un dezechilibru de tensiune între diferitele prize de pământ. Celelalte sisteme sunt interconectate formând o singură priză de pământ
Compatibilitate electromagnetică						
Imunitate la loviturile de trăsnet din apropiere	-	+	+	+	+	În sistemul TT pot apărea dezechilibre de tensiune între diferitele prize de pământ. Aici există o circulație de curent între două prize de pământ separate
Imunitate la loviturile de trăsnet pe liniile de înaltă tensiune	-	-	-	-	-	Toate STN sunt echivalente în cazul unei lovituri directe de trăsnet în liniile de înaltă tensiune
Emisie continuă a unui câmp electromagnetic	+	+	-	+	+	Conectarea PEN la structura metalică a clădirii determină emisia continuă a unui câmp electromagnetic
Ne-echipotențialitatea tranzitorie a PE	+	-	-	+	-	PE nu mai este echipotențial în cazul unor curenti de defect mari
Continuitatea în serviciu						
Înteruperea la primul defect	-	-	-	+	+	Numai în sistemul IT nu este necesară declanșarea la primul defect de izolație
Goluri de tensiune în timpul defectelor de izolație	+	-	-	+	-	Sistemele TN-S, TN-C și IT (al doilea defect) pot genera curenti de defect mari care pot produce goluri de tensiune
Instalarea						
Dispozitive speciale	-	+	+	-	-	Sistemul TT impune utilizarea dispozitivelor diferențiale reziduale. Sistemul IT impune utilizarea dispozitivelor de control a izolației
Numărul de prize de pământ	-	+	+	-/+	-/+	Sistemul TT impune două prize de pământ distincte. Sistemul IT oferă o alegere între una sau două prize de pământ
Numărul de cabluri	-	-	+	-	-	Numai sistemul TN-C permite, în anumite cazuri, reducerea numărului de cabluri
Mentenanță						
Costul reparațiilor	-	--	--	-	--	Costul reparațiilor depinde de daunele provocate de către amplitudinea curentilor de defect
Daunele provocate instalațiilor	+	-	-	++	-	Sistemele care generează curenti de defect importanți necesită o verificare a instalației după eliminarea unui defect

Tab. E16: Compararea între sistemele de tratare a neutrlui.

1 Scheme de tratare a neutrului

Tipuri de rețele		Recomandate	Posibile	Nerecomandate
Rețele extinse cu o calitate foarte bună a prizei de pământ pentru părțile conductoare expuse (rezistență de dispersie $< 10 \Omega$)			TT, TN, IT ⁽¹⁾ sau mixte	
Rețele extinse cu o calitate foarte bună a prizei de pământ pentru părțile conductoare expuse (rezistență de dispersie $> 30 \Omega$)		TN	TN-S	IT ⁽¹⁾ TN-C
Zone perturbate (furtuni) (exemplu: emițătoare de radio și televiziune)		TN	TT	IT ⁽²⁾
Rețele cu curenți reziduali mari ($> 500 \text{ mA}$)		TN ⁽⁴⁾	IT ⁽⁴⁾ TT ^{(3)/(4)}	
Rețele exterioare cu conductoare aeriene		TT ⁽⁵⁾	TN ^{(5)/(6)}	IT ⁽⁶⁾
Grupuri generatoare pentru situații de urgență		IT	TT	TN ⁽⁷⁾
Tipuri de sarcini				
Sarcini sensibile la curenții de defect importanți (motoare, etc.)		IT	TT	TN ⁽⁸⁾
Sarcini cu un nivel de izolație redus (cuptoare electrice, mașini de sudură, elemente de încălzire, echipamente din bucătăriile mari)		TN ⁽⁹⁾	TT ⁽⁹⁾	IT
Numeroase sarcini monofazate (mobile, semi-fixe, portabile)		TT ⁽¹⁰⁾ TN-S		IT ⁽¹⁰⁾ TN-C ⁽¹⁰⁾
Sarcini prezentând riscuri considerabile (macarale, transportoare, etc.)		TN ⁽¹¹⁾	TT ⁽¹¹⁾	IT ⁽¹¹⁾
Numeroase auxiliare (mașini unelte)		TN-S	TN-C IT ^(12bis)	TT ⁽¹²⁾
Diverse				
Alimentări prin transformatoare de putere cu conexiunea stea-stea ⁽¹³⁾		TT	IT fără neutru	IT ⁽¹³⁾ fără neutru
Imobile cu risc de incendiu		IT ⁽¹⁵⁾	TN-S ⁽¹⁵⁾ TT ⁽¹⁵⁾	TN-C ⁽¹⁴⁾
Creștere a puterii contractate cu furnizorul de energie implicând post de transformare propriu		TT ⁽¹⁶⁾		
Instalații cu modificări frecvente		TT ⁽¹⁷⁾		TN ⁽¹⁸⁾ IT ⁽¹⁸⁾
Instalații unde continuitatea circuitului de împământare este incertă (șantieri, instalații vechi)		TT ⁽¹⁹⁾	TN-S	TN-C IT ⁽¹⁹⁾
Echipament electronic (computere, automate programabile, etc.)		TN-S	TT	TN-C
Rețele de monitorizare a echipamentelor, senzori și actuatori PLC		IT ⁽²⁰⁾	TN-S, TT	

- (1) Când sistemul de tratare a neutrului nu este impus de reglementări, el este selectat în funcție de cerințele exploatarei (continuitate în serviciu, cerută din motive de securitate sau de creștere a productivității, etc.).
- Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, probabilitatea defectelor de izolație crește odată cu lungimea rețelei. De aceea o idee bună poate fi aceea de a fragmenta rețeaua, ușurând localizarea defectului și făcând posibil adoptarea pentru fiecare porțiune a sistemului recomandat.
- (2) Acțiunea trăsnetelor asupra descărcătoarelor poate transforma un neutru izolat într-un neutru legat la pământ. Riscul este ridicat pentru regiuni cu furtuni frecvente sau pentru instalații alimentate din linii aeriene. Dacă a fost ales sistemul IT pentru a asigura un nivel înalt al continuității în serviciu atunci proiectantul trebuie să calculeze foarte precis condițiile de declanșare la al doilea defect.
- (3) Riscul unei declanșări intempestive a dispozitivului de curent diferențial rezidual.
- (4) Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, soluția ideală este de a izola secțiunea cu perturbații dacă aceasta poate fi ușor identificată.
- (5) Riscul unui defect fază-pământ afectând echipotențialitatea.
- (6) Izolația este incertă datorită umidității și prafului conductor.
- (7) Sistemele TN nu sunt recomandate datorită riscului de a defecta generatorul în cazul unui defect intern. Mai mult decât atât atunci când generatorul alimentează echipament de siguranță, atunci sistemul nu trebuie să declanșeze la primul defect.
- (8) Curenții fază-pământ pot fi de câteva ori mai mari decât I_n , cu riscul deteriorării sau îmbătrânirii accelerate a înfășurărilor motoarelor, sau distrugerii circuitelor magnetice.
- (9) Pentru a combina continuitatea în serviciu cu siguranța este recomandat și necesar, oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, să fie separate aceste sarcini de restul instalațiilor (transformatoare cu neutru accesibil).
- (10) Atunci când calitatea receptoarelor nu a constituit o prioritate de proiectare există riscul unei scăderi a rezistenței de izolație. Sistemul TT cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este cea mai bună metodă pentru evitarea problemelor.
- (11) Mobilitatea acestor tipuri de sarcini provoacă defecte frecvente (contacte glisând spre părți legate la pământ sau părți expuse conductoare) care trebuie contracarate. Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, este recomandat să alimentăm acest circuit printr-un transformator de separație.
- (12) Solicită utilizarea unui transformator de separație cu un sistem TN local pentru a evita riscurile de exploatare și declanșările intempestive la primul defect (TT) sau la al doilea defect (IT).
- (12 bis) Cu o dublă separație în circuitul de comandă.
- (13) Limitarea excesivă a curentului fază-nul datorată valorii importante a impedanței homopolare (cel puțin de 4-5 ori impedanța directă). Acest sistem trebuie înlocuit cu o tratare stea-triunghi.
- (14) Curenții de defect ridică fac sistemul TN periculos. Sistemul TN-C este interzis.
- (15) Oricare ar fi sistemul dispozitivul diferențial rezidual trebuie reglat la $\Delta i \leq 500 \text{ mA}$.
- (16) O instalație alimentată la joasă tensiune trebuie să utilizeze sistemul TT. Utilizând acest sistem de tratare a neutrului înseamnă cel puțin menținerea caracteristicilor inițiale (fără cabluri noi, fără aparate de protecție care trebuie modificate).
- (17) Posibilă fără personal de mentenanță foarte competent.
- (18) Acest tip de instalație solicită atenție deosebită în asigurarea siguranței. Absența unor măsuri preventive în sistemul TN înseamnă personal calificat pentru exploatare.
- (19) Riscul întreruperii conductoarelor (alimentare, protecție) poate cauza pierderea echipotențialității pentru părțile conductoare expuse. Un sistem TT sau un sistem TN-S cu dispozitiv diferențial rezidual de 30 mA este recomandat și adesea obligatoriu. Sistemul IT poate fi utilizat în cazuri foarte specifice.
- (20) Soluția evită declanșările intempestive pentru scurgerile de curent neprevăzute.

Tab. E17: Influența rețelilor și sarcinilor la selecția sistemului de tratare a neutrului.

1.5 Alegerea și implementarea sistemului de tratare a neutrlui

După consultarea reglementărilor locale, a caietelor de sarcini, **Tabelele E16** și **E17** pot fi folosite ca un îndrumar în decizia asupra separării și posibil a izolării galvanice a diverselor secțiuni ale unei instalații electrice.

Divizarea alimentării

Această tehnică constă în folosirea mai multor transformatoare de puteri reduse în loc de unul singur de mare putere. În acest fel receptoarele care sunt sursa unor perturbații ale rețelei (motoare mari, cuptoare, etc.) pot fi alimentate fiecare din transformatorul propriu.

În acest fel, calitatea și continuitatea alimentării cu energie electrică a întregii instalații se îmbunătățește.

De asemenea și costul aparatelor de comutație este mai redus (nivelul curentului de scurtcircuit este mai mic).

Evaluarea tehnico-economică trebuie făcută pentru fiecare caz în parte.

Rețele “insulare”

Folosirea transformatoarelor de separație JT/JT permite realizarea unor zone separate galvanic, “insule”, în interiorul rețelei de JT, făcând posibilă optimizarea alegerii sistemului de tratare a neutrlui (vezi **Fig. E18** și **Fig. E19**).

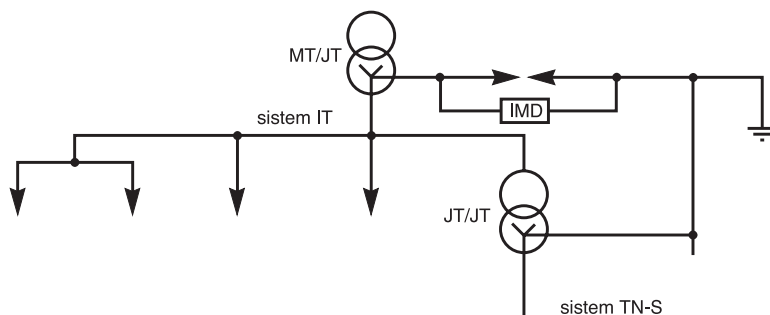


Fig. E18: Insulă TN-S într-un sistem IT.

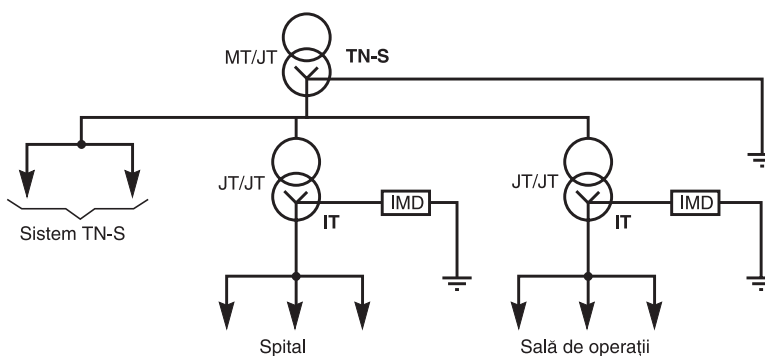


Fig. E19: Insulă IT într-un sistem TN-S.

Concluzii

Optimizarea performanței întregii instalații reprezintă criteriul de alegere a schemei de legare la pământ.

Aceasta include:

- investiții inițiale, și
- cheltuieli operaționale care pot crește în viitor datorită unei fiabilități insuficiente, calității materialelor, siguranței în exploatare, continuității în funcționare, etc.

Aceste elemente sunt în general dificil de prevăzut, în faza inițială.

O structură ideală ar cuprinde sursa de alimentare normală, sursa de alimentare locală de rezervă (vezi punctul 1.4 din capitolul E) și sistemele adecvate de legare la pământ.

O metodă eficientă de obținere a unei rezistențe de dispersie foarte mici a prizei de pământ este să se îngroape un conductor sub formă de buclă închisă în sol, la nivelul excavației pentru fundația clădirii. Rezistența R a unui astfel de electrod (în sol omogen)

este dată de relația: $R = \frac{2\rho}{L}$, unde:

L = lungimea [m] a conductorului îngropat
 ρ = rezistivitatea solului [$\Omega \cdot m$].

Pentru n țărusi: $R = \frac{1}{n} \frac{\rho}{L}$

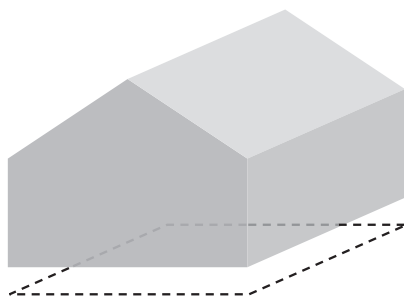


Fig. E20: Conductor îngropat sub nivelul fundației, dar nu în beton.

1.6 Instalarea și măsurarea prizei de pământ

Calitatea unei prize de pământ (rezistența de dispersie cât mai mică posibil) depinde efectiv de doi factori:

- Metoda de instalare;
- Natura solului respectiv.

Metode de instalare

Vor fi analizate cele trei tipuri obișnuite de instalare:

Inel conductor îngropat (vezi Fig. E20)

Această soluție este recomandată în special pentru clădirile noi. Priza ar trebui îngropată în jurul excavației pentru fundație. Este important ca bara conductoare să fie în contact direct cu solul (nu plasată în beton sau în pietrișul de la baza acestuia). Cel puțin patru conductoare verticale de la priza de pământ (distanțate între ele) trebuie să asigure legăturile cu instalația electrică; la acestea se leagă câteva dintre armăturile metalice din beton.

Conductorul care formează priza de pământ, în particular când este introdus în excavația pentru fundație, trebuie să fie în pământ cu cel puțin 50 cm mai jos decât betonul fundației. Nici priza de pământ nici conductoarele verticale care fac legătura cu instalația electrică, către parter, nu trebuie să fie în contact cu fundația de beton. Pentru clădirile existente, priza de pământ trebuie îngropată în jurul peretelui exterior al întregii clădiri, la o adâncime de cel puțin un metru. Ca regulă generală, toate conexiunile verticale de la priza de pământ la etajele superioare trebuie izolate pentru tensiunea nominală pe partea de JT (600 - 1000 V).

Conductoarele pot fi realizate din:

- cupru: cablu masiv ($\geq 25 \text{ mm}^2$) sau multifilar ($\geq 25 \text{ mm}^2$ și $\geq 2 \text{ mm}$ grosime);
- aluminiu: cablu ($\geq 35 \text{ mm}^2$);
- cablu din oțel galvanizat : cablu masiv ($\geq 95 \text{ mm}^2$) sau multifilar ($\geq 100 \text{ mm}^2$ și $\geq 3 \text{ mm}$ grosime).

Rezistența aproximativă R a unui astfel de electrod, în ohmi este:

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

unde:

L = lungimea [m] a conductorului îngropat

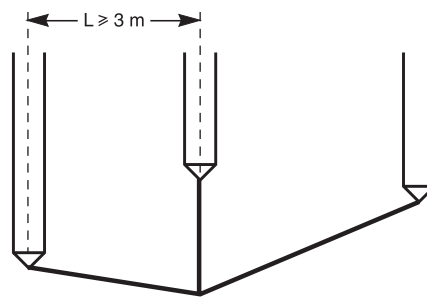
ρ = rezistivitatea solului [$\Omega \cdot m$] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de pe pagina următoare).

Electrozii verticali (vezi Fig. E21)

Electrozii sunt adesea folosiți pentru clădirile existente și pentru îmbunătățirea (reducerea rezistenței) prizei de pământ existente.

Electrozii pot fi făcuți din:

- cupru sau oțel acoperit cu cupru. În cel de-al doilea caz lungimea barei poate fi de 1 m sau 2 m. Electrozii sunt prevăzuți cu filet la capăt și contacte demontabile, putând atinge adâncimi considerabile dacă este necesar (de exemplu în funcție de nivelul apei freatice în zonele de sol cu rezistivitate mare).
- țevă din oțel galvanizat (vezi nota 1 de pe pagina următoare) $\geq 25 \text{ mm}$ diametru sau țarus $\geq 15 \text{ mm}$ diametru, lungime ≥ 2 metri în fiecare caz.



Țărusi conectați în paralel

Fig. E21: Țărusi de împământare.

Pentru electrozi verticali sub formă de placă:

$$R = \frac{0,8 \rho}{L}$$

Măsurătorile electrozilor de împământare în diferitele categorii de soluri sunt utile pentru determinarea valorii rezistivității ce trebuie aplicată în proiectarea unui sistem de împământare.

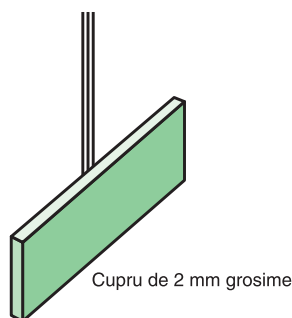


Fig. E22: Placă verticală.

Adesea este necesar să se folosească mai mult de o bară, în care caz, distanța între bare trebuie să fie mai mare decât adâncimea la care sunt introduse cu un factor de 2 până la 3.

Rezistența totală (în sol omogen) este egală cu rezistența unei bare împărțită la numărul total de bare în paralel.

Rezistența aproximativă R în ohmi, dacă distanța dintre electrozi este $> 4L$ este:

$$R = \frac{1}{n} \frac{\rho}{L}$$

unde:

L = lungimea barei în [m]

ρ = rezistivitatea solului în [$\Omega \cdot m$] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de mai jos)

n = numărul de electrozi.

Plăci verticale (vezi Fig. E22)

Plăcile rectangulare, având laturile $\geq 0,5$ metri, sunt utilizate în mod obișnuit la realizarea prizelor de pământ, fiind îngropate în plan vertical în așa fel încât centrul de simetrie să fie la cel puțin 1 metru adâncime față de suprafața solului.

Plăcile pot fi fabricate din:

■ cupru de 2 mm grosime;

■ oțel galvanizat⁽¹⁾ de 3 mm grosime. Rezistența R în [Ω] este dată (aproximativ) de:

$$R = \frac{0,8 \rho}{L}$$

unde:

L = lungimea plăcii în [m]

ρ = rezistivitatea solului în [$\Omega \cdot m$] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de mai jos).

Influența tipului de sol

Tipul de sol	Valoarea medie a rezistivității în Ωm
Teren mlăștinos, mocirlos	1 - 30
Mal aluvionar	20 - 100
Humus, pământ vegetal	10 - 150
Turbărie, turf	5 - 100
Argilă ușoară	50
Marnă, argilă compactă	100 - 200
Marnă jurasică	30 - 40
Argilă nisipoasă	50 - 500
Nisip silicios	200 - 300
Sol stâncos	1.500 - 3.000
Sol stâncos acoperit cu iarbă	300 - 500
Sol calcaros	100 - 300
Piatră calcaroasă	1.000 - 5.000
Pietriș fin calcaros	500 - 1.000
Marnă, șist argilos	50 - 300
Mică, șisturi	800
Granit și gresie	1.500 - 10.000
Granit modificat și gresie	100 - 600

Tab. E23: Rezistivitatea [Ωm] pentru diferite tipuri de sol.

Tipul de sol	Valoarea medie a rezistivității în Ωm
Sol fertil, umed, compactat	50
Sol arid, uscat, necompactat	500
Sol stâncos, foarte uscat, sau pietriș, roci fisurate	3.000

Tab. E24: Valorile rezistivității medii [$\Omega \cdot m$] pentru un electrod.

(1) Atunci când materialele conductoare galvanizate sunt utilizate pentru electrozii de împământare, un anod de sacrificiu pentru protecția catodică poate fi necesar pentru evitarea coroziunii rapide a electrozilor atunci când solul este agresiv. Anodi din aliaj special de magneziu (într-un sac poros umplut cu material cu rezistivitate mică) sunt disponibili pentru conexiunea directă a electrozilor. Pentru utilizarea acestor soluții se recomandă a se consulta un specialist.

Măsurători și evoluția în timp a rezistenței dintre o priză de pământ și pământ

Rezistența de dispersie a unei prize de pământ rămâne rareori constantă

Principalii factori care afectează această rezistență sunt:

■ Umiditatea solului:

Schimbările sezoniere în conținutul de apă al solului pot fi semnificative la adâncimi până la 2 m.

La o adâncime de un metru valoarea rezistivității (ρ) variază în raportul de 1 la 3 între o iarnă umedă și o vară uscată în regiunile temperate.

■ Îngheț:

Înghețarea pământului poate crește rezistivitatea solului cu câteva ordine de mărime. Acesta este unul din motivele de bază care recomandă instalarea prizelor de pământ la adâncime, în special în regiunile reci.

■ Îmbătrânire:

Materialele folosite pentru electrozi își schimbă proprietățile fizico-chimice în timp, din diferite motive, din care amintim:

□ reacții chimice (în soluri acide sau alcaline),

□ galvanic: datorită curenților continui vagabonzi din pământ, datorati sistemului de tracțiune electrică, etc. sau datorită diferitelor metale care formează pile electrice elementare, acțiunea diferitelor soluri pe secțiuni ale aceluiași conductor pot forma arii anodice și catodice, cu pierderi de metal la suprafață. Din nefericire, condițiile cele mai favorabile pentru rezistența redusă a prizei de pământ (adică sol cu rezistivitate mică) sunt aceleași în care curenții galvanici pot circula foarte ușor.

■ Oxidarea:

Punctele de îmbinare prin sudură sau alămire sunt cele mai vulnerabile, relativ la oxidare. Măsura preventivă care se poate aplica este de a curăța cu atenție zona de îmbinare și de a o proteja prin diferite metode.

Măsurarea rezistenței prizei de pământ

Totdeauna trebuie să se prevadă contacte demontabile sau eclise de separație, care să permită izolarea prizei de pământ de instalație, putând astfel verifica periodic rezistența de dispersie a acesteia. Pentru a face această măsurătoare sunt necesare alte două prize auxiliare, fiecare constând dintr-o bară plasată vertical în sol.

■ Metoda ampermetrică (vezi Fig. E25).

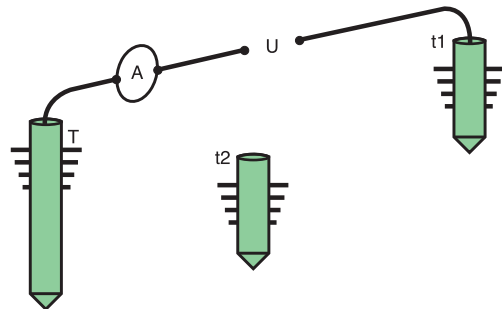


Fig. E25: Măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ prin intermediul unui ampermetru.

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

Considerând sursa având tensiunea U constantă, reglată la aceeași valoare pentru fiecare măsurătoare se obține:

$$R_T = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2} \right)$$

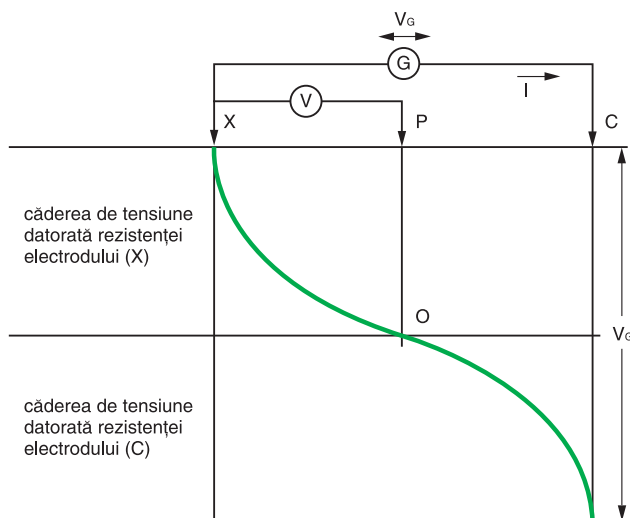
În vederea evitării erorilor datorate curenților vagabonzi din pământ (galvanici (c.c.) sau de scurgere de la rețelele de putere sau de comunicații etc.) curentul de măsurare trebuie să fie alternativ, dar la o frecvență diferită de cea a rețelei sau a armonicilor ei. Instrumentele pentru efectuarea acestor măsurători sunt prevăzute cu generator manual și funcționează cu o tensiune alternativă la frecvențe între 85 Hz și 135 Hz.

Distanțele dintre prizele de pământ nu sunt importante și pot fi considerate în diferite direcții de la priza de măsurat, în funcție de posibilitățile locale. Pentru verificarea rezultatelor este recomandabil un număr de încercări pentru diferite distanțe și direcții.

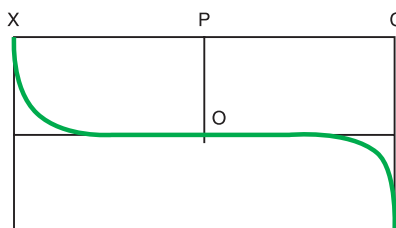
Utilizarea unui ohmmetru cu citire directă a rezistenței de dispersie a prizei de pământ

Aceste instrumente folosesc un generator manual sau electronic de tensiune (de c.a.) împreună cu doi electrozi auxiliari, distanța dintre aceștia trebuie să fie astfel încât zona de influență a prizei de testat să nu se suprapună cu cele aferente electrozilor auxiliari (C). Priza (C) cea mai îndepărtată de priza (X) de măsurat este străbătută de un curent care trece prin (X) și pământ, și ca urmare priza (P) va indica o valoare de tensiune. Această tensiune, măsurată între (X) și (P) este datorată curentului de test și este funcție de rezistența de contact față de pământ (a prizei (X) de măsurat). Este clar că pentru a obține rezultate corecte distanța (X)-(C) trebuie aleasă cu grijă. Dacă distanța (X)-(C) este mărită, zonele de rezistență ale prizelor (X) și (C) devin mai depărtate una față de alta, iar curba potențialului evoluează mai aproape de orizontală, în zona punctului (O).

În măsurătorile practice distanța (X)-(C) este crescută până când citirile aparatelor relativ la priza (P) în trei puncte diferite, anume la (P) și la 5 m de-o parte și de alta a lui (P), dau valori similare. Distanța (X)-(P) este în general 0,68 din distanța (X)-(C).



a) principiul măsurătorii este asumarea prezumției de omogenitate a solului. Unde zonele de influență ale electrozilor (C) și (X) coincid, locația electrodului (P) este dificil de determinat pentru obținerea unor rezultate satisfăcătoare.



b) aici se arată efectul gradientului de potențial când (X) și (C) sunt la o distanță mare unul de altul. Locația electrodului (P) este în acest caz ușor de determinat.

Fig. E26: Măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ (X) utilizând un ohmmetru cu citire directă.

2 Sisteme de instalare

Tablourile de distribuție, inclusiv tabloul general de distribuție de joasă tensiune (TGJT) sunt elemente foarte importante ale unei instalații electrice. Proiectarea și construcția acestora trebuie făcute conform unor standarde bine definite.

Cerințele consumatorilor determină tipul tabloului de distribuție necesar a fi instalat.

2.1 Tablouri de distribuție

Tabloul de distribuție este punctul în care alimentarea cu energie se divide în circuite separate, fiecare din ele fiind comandate și protejate de siguranțe fuzibile sau aparate de comutație. Un tablou de distribuție este compus dintr-un număr de unități funcționale, fiecare conținând toate elementele electrice și mecanice care contribuie la îndeplinirea unei funcții anume. Tabloul și unitățile funcționale reprezintă elemente cheie în siguranța instalației.

În consecință, tipul de tablou electric trebuie perfect adaptat la aplicația sa.

Proiectarea și construcția lui trebuie să corespundă atât standardelor aplicabile cât și practicilor curente.

Carcasa tabloului de distribuție furnizează o protecție duală:

- protecția aparatului de comutație, aparatelor de măsură, releelor, siguranțelor, etc. împotriva impactului mecanic, vibrațiilor și a celorlalte influențe externe a căror interferență ar afecta siguranța operațională (interferențe electromagnetice, praf, umezeală, paraziți, etc.);
- protecția personalului împotriva posibilului contact direct sau indirect (a se vedea gradele de protecție IP și IK în secțiunea 3.4 a capitolului E).

Tipuri de tablouri de distribuție

Tablourile de distribuție, pot diferi în funcție de felul aplicației și a principiilor de proiectare adoptate (mai ales în structura și dispunerea barelor colectoare).

Tablouri de distribuție destinate unor aplicații specifice

Principalele tipuri de tablouri de distribuție sunt:

- tablou general de distribuție de joasă tensiune TGJT (vezi **Fig. E27a**);
- tablou de comandă motoare MCC (Motor Control Center) (vezi **Fig. E27b**);
- tablou de distribuție secundară (vezi **Fig. E28**);
- tablou de distribuție finală (vezi **Fig. E29**).

Tablourile de distribuție pentru aplicații specifice (de exemplu încălzire, ascensoare, procese industriale pot fi amplasate:

- lângă tabloul principal de distribuție generală;
- în apropierea procesului tehnologic comandat.

Tablourile finale și secundare sunt distribuite în perimetrul instalației.

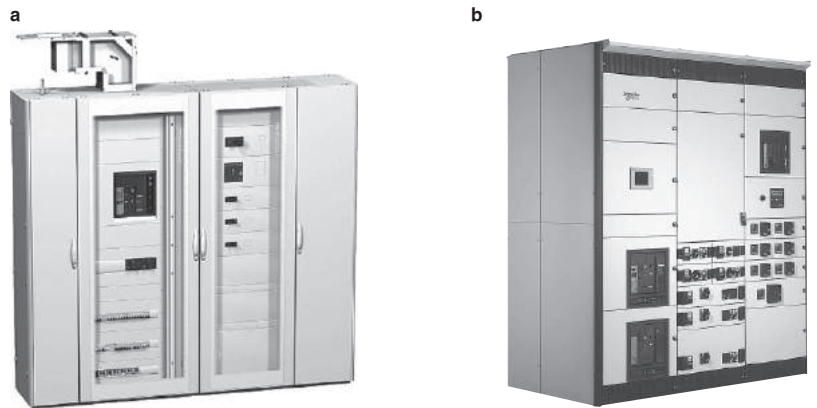


Fig. E27: [a] Tablou general de distribuție de joasă tensiune TGJT (Prisma Plus sistem P) cu sosirea prin bară capsulată - [b] Tablou de comandă motoare MCC (Okken).



Fig. E28: Tablou de distribuție secundară (Prisma Plus sistem G)

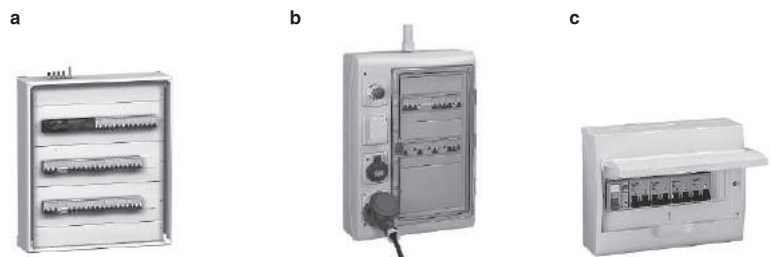


Fig. E29: Tablouri de distribuție finală: [a] Prisma Plus G Pack; [b] Kaedra; [c] Mini-Pragma.

Trebuie făcută distincție între:

■ tablourile de distribuție tradiționale în care aparatele de comutație, siguranțele, etc. sunt fixate pe un șasiu interior, în partea posterioară a carcasei;

■ tablourile de distribuție funcționale pentru aplicații specifice, bazate pe modularitate și pe o proiectare standardizată.

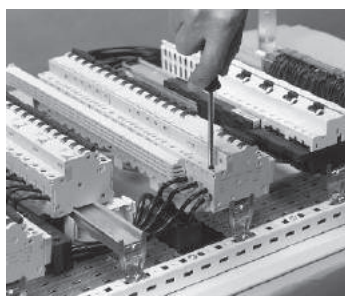


Fig. E30: Montajul unui tablou de distribuție finală cu unități funcționale fixe (Prisma Plus sistem G).

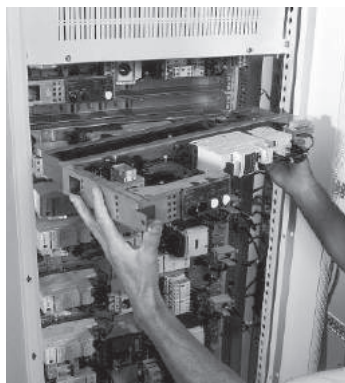


Fig. E31: Tabloul de distribuție cu unități funcționale deconectabile.



Fig. E32: Tabloul de distribuție cu unități funcționale în sertare deconectabile.

Două tehnologii pentru tablourile de distribuție

Tablourile de distribuție tradiționale

Aparatele de comutație și siguranțele fuzibile sunt localizate în mod normal pe un șasiu din interiorul carcasei. Dispozitivele indicatoare și de control (aparate de măsură, lămpi, butoane, etc.) sunt montate pe partea din față a tabloului. Amplasarea componentelor în carcasa cere un studiu amănunțit, luând în considerare dimensiunile fiecărui echipament, conexiunile necesare și spațiul aferent pentru a asigura securitatea și funcționarea corectă.

Tablourile de distribuție funcționale

Dedicate funcțiilor specifice, soluțiile sunt bazate pe folosirea modulelor funcționale, care includ aparate de comutație și dispozitive specifice, împreună cu accesorii de montaj și de conexiuni. Proiectarea unui tablou se poate face rapid, deoarece este suficient să se reunească modulele necesare, prevăzând spații în plus pentru elemente care vor fi montate ulterior, în caz de nevoie. Folosind aceste componente prefabricate, asamblarea tabloului se simplifică substanțial asigurând în același timp o siguranță deosebită și o mare capacitate de adaptare la schimbări de ultim moment sau la schimbări ulterioare.

■ Multiple avantaje

Utilizarea tablourilor de distribuție funcționale s-a răspândit treptat la toate nivelurile distribuției electrice de joasă tensiune, de la tabloul general de joasă tensiune TGJT până la tablourile pentru distribuția finală, datorită numeroaselor avantaje:

- modularitatea sistemului care face posibilă integrarea a numeroase funcții într-un singur tablou de distribuție, incluzând protecția, controlul, conducerea tehnică și monitorizarea întregii instalații. Designul modular facilitează exploatarea, mentenanța și extinderea tabloului electric,
- proiectarea tabloului electric devine foarte simplă deoarece constă pur și simplu în adăugarea de unități funcționale,
- componentele prefabricate se montează mult mai rapid,
- aceste tablouri de distribuție sunt supuse unor teste de tip pentru asigurarea unui înalt nivel de siguranță.

Noile sisteme de tablouri funcționale Prisma Plus sistem G și P fabricate de Schneider Electric acoperă cerințele până la 3200 A și oferă:

- flexibilitate și ușurință în alcătuirea tablourilor de distribuție,
- certificarea ca un tablou de distribuție este conform standardului CEI 60439 (adoptat și de România sub numele de SR EN 60439) și asigurarea unui funcționări în condiții de deplină siguranță,
- economie de timp în toate etapele, de la proiectare la instalare, exploatare și modificare sau extindere,
- adaptare ușoară, de exemplu pentru respectarea standardelor și regulilor de muncă din diferite țări.

Figurile E27a, E28, E29, sunt exemple de tablouri de distribuție funcționale la toate nivelurile de putere, în timp ce în Figura E27b se arată un tablou funcțional industrial de mare putere.

Principalele tipuri de unități funcționale

Există trei tehnologii de bază care sunt utilizate la realizarea tablourilor de distribuție funcționale.

■ Unități funcționale fixe (vezi Fig. E30)

Aceste unități nu sunt adaptate pentru separarea galvanică modulară a circuitelor (față de bare, de exemplu) astfel că orice intervenție de mentenanță, modificare etc. cere scoaterea de sub tensiune a întregului tablou. Folosirea aparatului de deconectabil pe șasiu sau deconectabil poate diminua timpii de întrerupere și îmbunătăți disponibilitatea întregii instalații.

■ Unități funcționale deconectabile (vezi Fig. E31)

Fiecare unitate funcțională este montată pe o placă de montaj demontabilă prevăzută cu elemente de izolare în amonte și cu facilități de deconectare în aval. Această unitate poate fi extrasă pentru operații de service, fără a fi necesară scoaterea de sub tensiune a întregii instalații.

■ Unități funcționale montate în sertare deconectabile (vezi Fig. E32)

Aparatele de comutație și accesorii aferente sunt montate pe un șasiu care permite debroșarea orizontală. Astfel de unități cu funcții complexe sunt folosite în general la protecția și comanda motoarelor electrice.

Izolarea galvanică se realizează atât pentru partea din aval cât și din amonte, prin debroșarea completă a unității respective, permițând înlocuirea rapidă a unității defecte fără scoaterea de sub tensiune a întregii instalații.

În scopul asigurării unui grad adecvat de siguranță în exploatare este esențială conformitatea cu standardele în vigoare.

Trei elemente ale standardului CEI 60439-1 (SR-EN 60439-1) contribuie semnificativ la siguranța în exploatare:

- definirea clară a unităților funcționale;
- formele de separare între unitățile funcționale adiacente, în concordanță cu cerințele utilizatorului;
- definirea clară a încercărilor individuale și de tip.

Standarde

Diferite standarde

Anumite tipuri de tablouri de distribuție (în special tablourile de distribuție funcționale) trebuie să corespundă standardelor specifice în conformitate cu aplicația sau mediul de funcționare.

Standardul internațional de referință este CEI 60439-1: "Type tested and partially type tested assemblies", adoptat și în România sub denumirea SR EN 60439-1: "Ansamblu prefabricat, ansamblu prefabricat derivat".

Standardul CEI 60439-1 (SR EN 60439-1)

■ Categoriile de ansambluri

Standardul face distincție între două tipuri de unități funcționale:

- ansambluri prefabricate și pretestate care nu diferă semnificativ de un tip stabilit a cărui conformitate cu standardul a fost demonstrată de testele de tip cerute în standard,
- ansambluri pretestate parțial care pot conține tipuri diferite de cele a căror conformitate cu standardul a fost demonstrată de testele de tip cerute în standard. Atunci când acestea sunt realizate profesional conform instrucțiunilor producătorului de echipament de către personal calificat, ele oferă același nivel de siguranță și calitate.

■ Unități funcționale

Același standard definește unitățile funcționale:

- parte a unui ansamblu conținând toate elementele mecanice și electrice care contribuie la îndeplinirea aceleiași funcțiuni,
- tabloul de distribuție include unitatea funcțională de intrare și una sau mai multe unități funcționale de plecare, în funcție de cerințele funcționale ale instalației. Mai mult decât atât, pentru realizarea unui tablou electric se pot folosi unități funcționale fixe, deconectabile sau debroșabile (a se vedea secțiunea 2.1 din capitolul E).

■ Forme de separare (vezi Fig. E33)

Separarea unităților funcționale în cadrul ansamblului este asigurată de forme care sunt specificate pentru diferite condiții de funcționare. Diferitele forme de separare sunt numerotate de la 1 la 4 cu variante denumite "a" sau "b". Fiecare pas înainte (de la 1 la 4) este cumulativ, adică o formă cu număr mai mare conține și caracteristicile unei forme cu număr mai mic. Standardul distinge:

- Forma 1: fără separare,
- Forma 2: separarea barelor de unitățile funcționale,
- Forma 3: separarea barelor de unitățile funcționale și separarea tuturor unităților funcționale una față de alta, cu excepția bornelor de ieșire,
- Forma 4: la fel ca Forma 3, dar incluzând separarea între bornele de ieșire ale tuturor unităților.

Decizia asupra alegerii formei de separare rezultă în urma unei înțelegeri între fabricantul de tablouri și utilizator. Sistemul funcțional Prisma Plus oferă soluții pentru formele de separare 1, 2b, 3b, 4a, 4b.

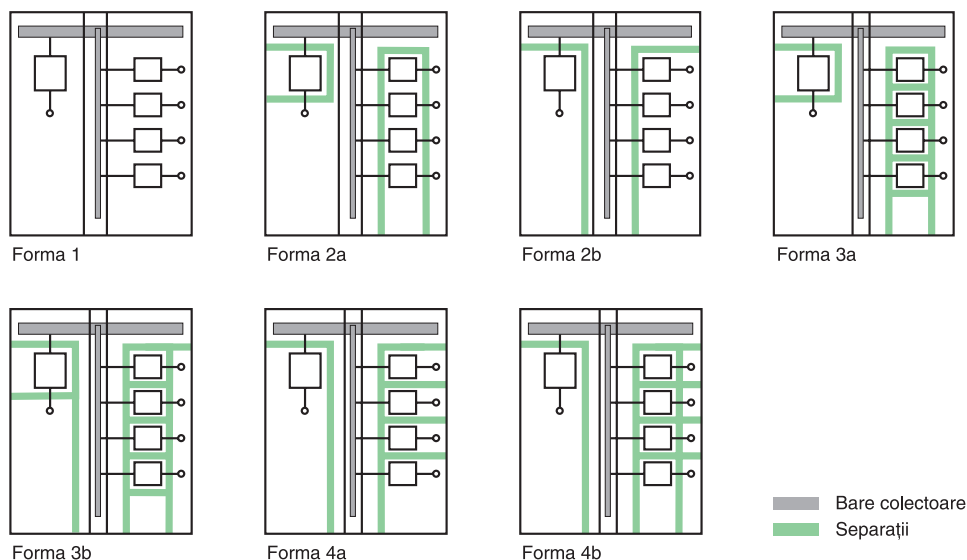


Fig. E33: Reprezentarea diferitelor forme de separare ale tablourilor de distribuție de joasă tensiune.

Accesul nelimitat la informațiile electrice și tablourile de distribuție inteligente sunt acum o realitate.

■ Testele de tip și testele de rutină

Acestea asigură conformitatea fiecărui tablou de distribuție cu standardul. Prezența documentelor de test emise de către organisme independente este o garanție pentru utilizatori.

Monitorizarea și controlul instalației electrice

Monitorizarea și controlul de la distanță a instalației electrice nu mai sunt limitate la instalațiile foarte importante. Aceste funcțiuni sunt din ce în ce mai utilizate și conduc la economii considerabile. Avantajele potențiale sunt:

- reducerea facturilor de energie;
- reducerea costurilor structurale pentru a menține instalația într-o stare de funcționare corespunzătoare;
- utilizarea mai bună a investiției, mai ales în ceea ce privește optimizarea duratei de viață a instalației;
- satisfacția utilizatorilor (dintr-o clădire sau dintr-un proces industrial) generată de fiabilitatea crescută și calitatea energiei.

Posibilitățile enumerate sunt și o opțiune sugerată de calitatea necorespunzătoare a energiei din rețeaua electrică.

Standardul de comunicații Modbus este din ce în ce mai folosit ca un standard deschis de comunicații în interiorul tabloului de distribuție și între tablourile de distribuție și aplicația de monitorizare și control. Modbus există în două forme: două perechi torsadate (RS 485) și Ethernet TCP/IP (IEEE 802.3).

Site-ul web www.modbus.org prezintă toate specificațiile rețelei și actualizează permanent lista produselor și companiilor care utilizează acest standard industrial deschis.

Utilizarea tehnologiilor "web" a contribuit la extinderea acestor aplicații ca urmare a scăderii costurilor accesării funcțiilor printr-o interfață universală (pagină web) precum și a unui grad de deschidere și evolutivitate care pur și simplu nu exista cu câțiva ani în urmă.

Două tipuri de distribuție sunt posibile:

- prin conductoare izolate sau cabluri;
- prin bare prefabricate.

2.2 Cabluri și bare capsulate prefabricate

Distribuția prin conductoare izolate și cabluri

Definiții

- Conductor



Un conductor înseamnă o singură inimă din material metalic înconjurată sau nu de o anvelopă izolantă.

- Cablu



Un cablu este format dintr-un număr de conductoare, separate electric (izolate) dar unite mecanic, în general printr-o masă protectoare flexibilă.

- Traseu de cabluri



Traseul de cabluri se referă la conductoare și/sau cabluri montate împreună, inclusiv mijloacele de susținere și de protecție cum ar fi jgheaburi de cabluri, scărițe, tuburi, suporti, ghene, canale, șanțuri, etc.

Marcarea conductoarelor

Identificarea conductoarelor trebuie să respecte trei reguli:

- Regula 1:

Marcajul în dungi verde/galben este rezervat exclusiv conductoarelor de protecție PE sau PEN.

- Regula 2:

□ când un circuit include conductor de neutru, acesta trebuie să aibă culoarea albastru deschis (sau marcat cu numărul "1" pentru cabluri multifilare, cu mai mult de 5 conductoare),

□ când un circuit nu are un conductor de neutru, conductorul albastru deschis poate fi utilizat ca și conductor de fază, dacă este parte a unui cablu cu mai mult de 1 conductor.

- Regula 3:

Conductoarele de fază pot fi de orice culoare cu excepția:

- verde și galben,
- verde,
- galben,
- albastru deschis (vezi regula 2).

2 Sisteme de instalare

Conductoarele dintr-un cablu sunt identificate fie prin culoarea lor fie prin numere (vezi Fig. E34).

Număr de conductoare din circuit	Circuit	Trasee de cabluri fixe									
		Conductoare izolate					Cabluri rigide sau flexibile multiconductor				
		Ph	Ph	Pn	N	PE	Ph	Ph	Ph	N	PE
1	Protecție sau pământ					V/G					
2	Monofazic între faze	■	■				BL	LB			
	Monofazic fază și neutru	■			LB		BL			LB	
	Monofazic între fază și neutru + conductor de protecție	■			V/G		BL			V/G	
3	Trifazic fără neutru	■	■	■			BL	B	LB		
	2 faze + neutru	■	■		LB		BL	B		LB	
	2 faze + conductor de protecție	■	■			V/G	BL	LB			V/G
	Monofazic între fază și neutru + conductor de protecție	■			LB	V/G	BL			LB	V/G
4	Trifazic cu neutru	■	■	■	LB		BL	B	BL	LB	
	Trifazic cu neutru + conductor de protecție	■	■	■		V/G	BL	B	LB		V/G
	2 faze + neutru + conductor de protecție	■	■		LB	V/G	BL	B		LB	V/G
	Trifazic + conductor de protecție PEN	■	■	■	V/G		BL	B	LB	V/G	
5	Trifazic + neutru + conductor de protecție PE	■	■	■	LB	V/G	BL	B	BL	LB	V/G
> 5		Conductorul de protecție V/G; Alte conductoare numerotate BL. Numărul "1" este rezervat pentru conductorul neutru dacă există.									

V/G: Galben/Verde

BL: Negru

■: Așa cum este indicat în regula 3

LB: Albastru deschis

B: Maro

Fig. E34: Identificarea conductoarelor în funcție de tipul circuitului.

Notă: Dacă circuitul include un conductor de protecție și cablul disponibil nu are un conductor galben/verde, conductorul de protecție poate fi:

- un conductor separat galben/verde;
- conductorul albastru dacă circuitul nu are conductor neutru;
- un conductor negru dacă circuitul are conductor neutru.

În ultimele două cazuri conductorul utilizat trebuie marcat cu bandă galben/verde la capete, pe toată lungimea vizibilă a conductorului.

Cablurile de alimentare ale echipamentelor sunt marcate similar cu cablurile multiconductor (vezi Fig. E35).

Distribuția și metodele de instalare (vezi Fig. E36)

Distribuția are loc prin trasee de cabluri care susțin conductoare izolate individuale sau cabluri și includ un sistem de fixare și protecție mecanică.

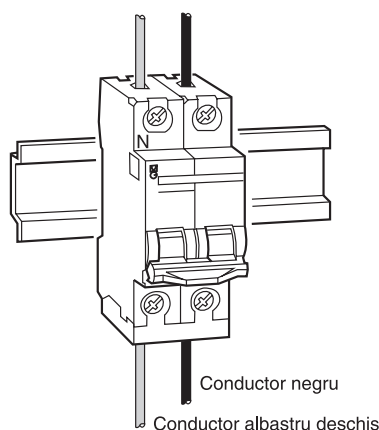


Fig. E35: Identificarea conductoarelor unui întrerupător automat cu fază și neutru.

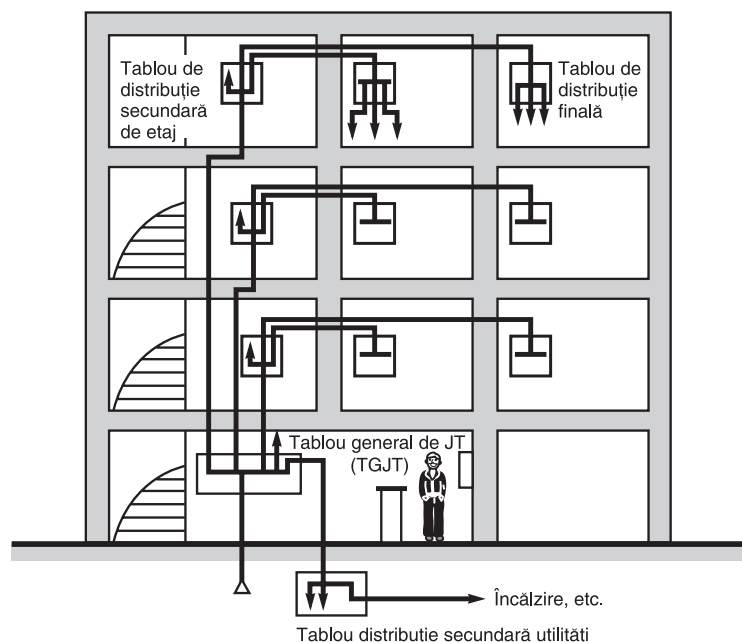


Fig. E36: Distribuție radială utilizând cabluri într-un hotel.

Barele capsulate prefabricate se disting prin ușurința în instalare, flexibilitatea și numărul mare de puncte de conectare.

Barele capsulate prefabricate

Barele capsulate prefabricate sunt construite pentru distribuția energiei (de la 40 la 5000 A) și iluminat (în cazul acestei aplicații ele au un dublu rol, de alimentare cu energie și de suport fizic al lămpii).

Componentele unui sistem de bare capsulate prefabricate

Un sistem de bare capsulate prefabricate este compus dintr-un set de conductori protejați de o carcasă (vezi Fig. E37). Utilizate pentru transportul și distribuția energiei electrice sistemele de bare capsulate prefabricate au componentele necesare pentru îndeplinirea acestor funcții: conectori, lungimi, coturi, elemente de fixare, etc. Punctele de derivație plasate la intervale regulate fac energia disponibilă în orice punct al instalației.

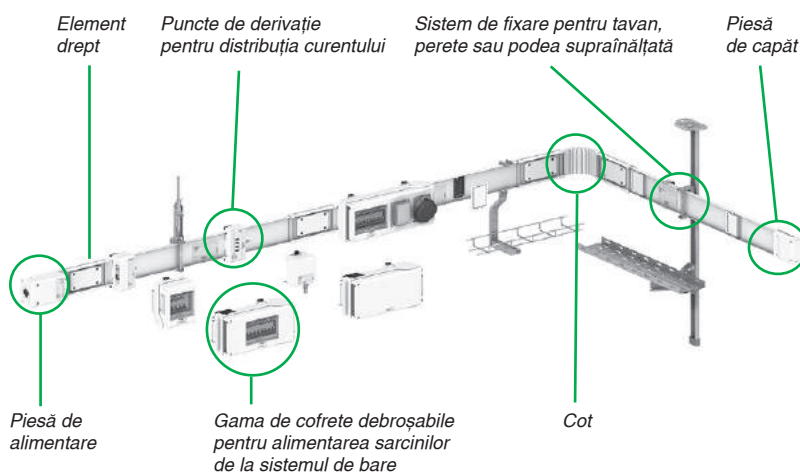


Fig. E37: Sistem de bare capsulate prefabricate pentru distribuție de curent de la 25 la 5000 A.

Tipuri de bare capsulate prefabricate

Sistemele de bare capsulate prefabricate sunt prezente la toate nivelurile distribuției electrice: de la legătura între transformator și tabloul principal de joasă tensiune (TGJT) până la distribuția la prize și iluminat în birouri sau distribuția de putere în ateliere.

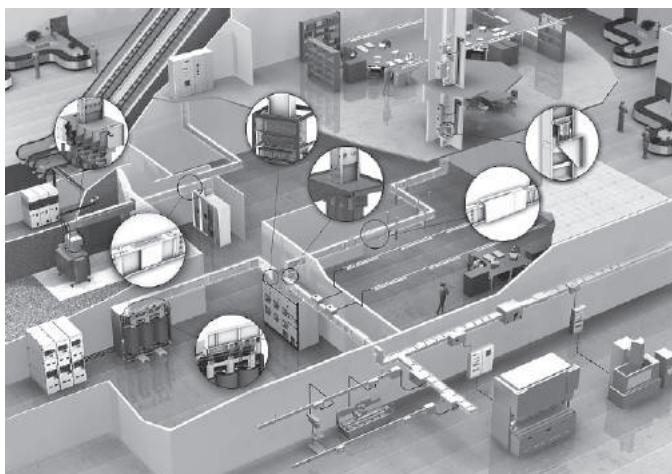


Fig. E38: Distribuție radială utilizând bare capsulate prefabricate.

Vorbim aici de o arhitectură distribuită.

În mare există trei categorii de bare capsulate prefabricate.

■ De la transformator către tabloul general de joasă tensiune (TGJT)

Instalarea barei capsulate prefabricate poate fi considerată permanentă și este probabil că nu va fi niciodată modificată. Nu există puncte de derivație. Soluția este frecvent utilizată pentru trasee scurte, pentru curenți mai mari de 1600/2000 A, adică atunci când utilizarea mai multor cabluri în paralel este dificilă. Barele se pot utiliza și pentru legăturile dintre TGJT și tablourile de distribuție din aval.

Caracteristicile barelor capsulate prefabricate pentru distribuția de putere permit a fi utilizate pentru curenții operaționali de la 1000 la 5000 A și sunt stabile la curenții de scurtcircuit de scurtă durată de 150 kA.

■ Pentru distribuție secundară cu densitatea punctelor de derivație mică sau mare
În aval de barele capsulate prefabricate pentru distribuția principală, putem identifica două tipuri de aplicații:

□ aplicații industriale de dimensiuni medii (ateliere industriale cu prese de injecție și mașini de prelucrat metale sau supermarket-uri cu sarcini importante). Curenții operaționali și curenții de scurtcircuit pot fi destul de importanți (100 la 1000 A, respectiv 20 la 70 kA),

□ obiective mici (mici ateliere cu mașini unelte, fabrici de textile cu mașini individuale, supermarket-uri cu sarcini reduse). Curenții operaționali și curenții de scurtcircuit sunt destul de mici (40 la 400 A, respectiv 10 la 40 kA).

Distribuția secundară utilizând bare capsulate prefabricate răspunde la următoarele cerințe ale utilizatorilor:

□ modificări și evoluții facile ale instalației datorită existenței unui număr ridicat de trape de derivație,

□ continuitate în serviciu, prin posibilitatea conectării sub tensiune a cofretelor de derivație în condiții de deplină siguranță.

Conceptul de subdistribuție este aplicabil, de asemenea, pentru distribuția cu coloane verticale între 100 și 5000 A în clădirile cu mai multe etaje.

■ Distribuție de iluminat

Circuitele de iluminat pot fi distribuite utilizând bare capsulate prefabricate care pot asigura sau nu susținerea corpurilor de iluminat.

□ barele capsulate prefabricate proiectate pentru susținerea corpurilor de iluminat
Aceste bare capsulate prefabricate alimentează și susțin corpurile de iluminat (reflectoare industriale, lămpi cu descărcare, etc.). Ele sunt utilizate în clădirile industriale, supermarket-uri, magazine universale și depozite. Barele capsulate prefabricate sunt extrem de rigide și au fost proiectate pentru unul sau două circuite de 25 sau 40 A. Trapele de derivație se găsesc la fiecare 1,5 m.

□ barele capsulate prefabricate care nu pot susține corpurile de iluminat
Similare cu sistemele de cabluri prefabricate, aceste bare sunt utilizate pentru alimentarea tuturor tipurilor de corpuri de iluminat fixate de structura clădirii. Ele sunt utilizate în clădirile comerciale (birouri, magazine, restaurante, hoteluri, etc.), în special în tavanele false. Barele sunt flexibile și proiectate pentru un circuit de 20 A. Trapele de derivație se găsesc la fiecare 1,5 m sau 3 m.

Sistemele de bare capsulate prefabricate îndeplinesc cerințele unui număr important de clădiri.

■ Clădiri industriale: garaje, ateliere, ferme, centre logistice, etc.;

■ Clădiri comerciale: magazine, centre comerciale, supermarket-uri, hoteluri, etc.;

■ Clădiri terțiare: birouri, școli, spitale, săli de sport, vapoare de croazieră, etc.

Standarde

Barele capsulate prefabricate trebuie să îndeplinească regulile stabilite de CEI 60439-2.

Acesta definește cerințele impuse fabricantului în proiectarea unui sistem de bare capsulate prefabricate (de exemplu creșterea temperaturii, ținerea la scurtcircuit, rezistență mecanică, etc.) precum și metodele de testare necesare.

Standardul CEI 60439-2 definește 13 teste de tip obligatorii asupra componentelor sistemului.

Prin asamblarea elementelor sistemului pe șantier, în acord cu instrucțiunile de montaj, va rezulta un sistem conform cu standardul.

Avantajele sistemelor de bare capsulate prefabricate

Flexibilitate

■ Configurație ușor de modificat (modificările pe șantier pentru schimbarea liniilor de producție, reconfigurarea sau extinderea spațiului, etc.);

■ Componente reutilizabile (componentele rămân intacte): când o instalație este supusă unei modificări majore, bara capsulată este pur și simplu demontată și reutilizată;

■ Disponibilitatea energiei oriunde în instalație (posibilitatea de a avea o trapă de derivație la fiecare metru);

■ O gamă largă de cofrete de derivație.

Simplitate

- Proiectarea poate fi făcută independent de distribuția și amplasarea receptoarelor;
- Performanțele sunt independente de implementare; în cazul cablurilor trebuie aplicati mai mulți coeficienți de declasare;
- Sistem de distribuție clar;
- Reducerea timpului de instalare; utilizarea sistemelor de bare capsulate prefabricate permite reducerea timpului de instalare cu până la 50% față de metoda tradițională cu cabluri;
- Garanția fabricantului;
- Timp de execuție controlat: conceptul de bare capsulate prefabricate elimină surprizele neașteptate la montaj. Timpul de montaj este precis și cunoscut în avans și orice problemă apărută poate fi rezolvată cu operativitate;
- Ușor de implementat; componentele modulare sunt ușor de manevrat, rapid și simplu de montat.

Fiabilitate

- Componente de încredere fiind fabricate în uzină;
- Componentele previn asamblarea greșită;
- Asamblarea secvențială a componentelor drepte și cofretelor de derivație elimină posibilitatea erorilor.

Continuitatea în serviciu

- Numărul mare de trape de derivație ușurează alimentarea cu energie electrică a unui nou consumator. Conectarea și deconectarea este rapidă și poate fi executată în siguranță fără scoaterea de sub tensiune a instalației. Cele două operații (adăugare sau modificare) au loc deci cu instalația în funcțiune.
- Depistare a defectului ușoară și rapidă deoarece consumatorii sunt aproape de traseu.
- Mentenanță inexistentă sau extrem de redusă.

Contribuție majoră la dezvoltarea durabilă

- Sistemele de bare capsulate prefabricate permit combinarea circuitelor. Comparând cu soluția tradițională de distribuție în cablu, consumul de cupru și de izolatori ca materie primă este de trei ori mai mic datorită conceptului de rețea distribuită (vezi **Fig. E39**);

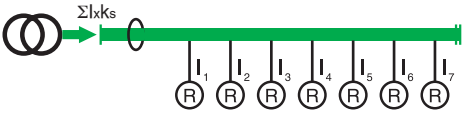



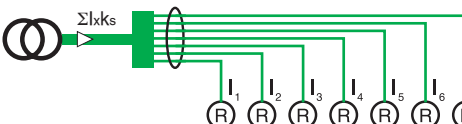



Tipul distribuției	Conductoare	Izolatori	Consum
Distribuție			
 <p>Coeficient de simultaneitate = 0,6</p>	 <p>Aluminiu: 128 mm² Cupru echivalent: 86 mm²</p>	 <p>4 kg</p>	 <p>1.000 J</p>
Centralizată			
 <p>Coeficient de simultaneitate = 0,6</p>	 <p>Cupru: 250 mm²</p>	 <p>12 kg</p>	 <p>1.600 J</p>

Fig. E39: Exemplu: 30 m de Canalis KS 250 A echipat cu plecări de 10 și 25 A, 4 poli.

- Elemente reutilizabile și ansamblul componentelor deplin reciclabile;
- Nu conțin PVC și nu generează gaze toxice sau deșeuri;
- Reducerea riscului datorat expunerii la câmpuri electromagnetice.

Noi caracteristici funcționale pentru Canalis

Sistemele de bare capsulate prefabricate devin din ce în ce mai bune. Printre noile caracteristici găsim:

- performanțe crescute cu gradul de protecție IP 55 și noi calibre de la 160 până la 1000 A (KS);
- noi oferte pentru elemente precablate de iluminat;
- noi accesorii de fixare, sisteme rapide, suporturi comune pentru circuitele VDI.

2 Sisteme de instalare

Sistemele de bare capsulate prefabricate integrate în mediul ambiant

- Culoare albă pentru intensificarea mediului de lucru, integrată natural în gama produselor de distribuție electrică;
- Conformitatea cu normele europene de reducere a substanțelor periculoase (directiva RoHS).

Exemple de bare capsulate prefabricate Canalis

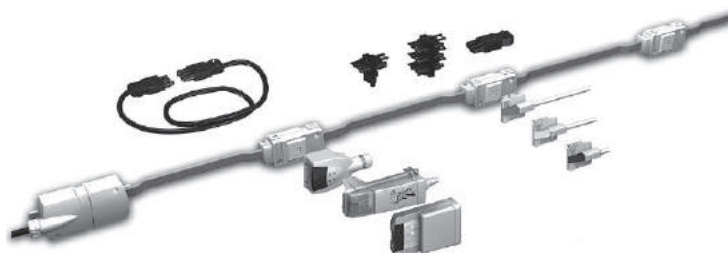


Fig. E40: Bară capsulată prefabricată flexibilă pentru distribuție de iluminat pentru corpuri de iluminat suspendate separat: Canalis KDP (20 A).

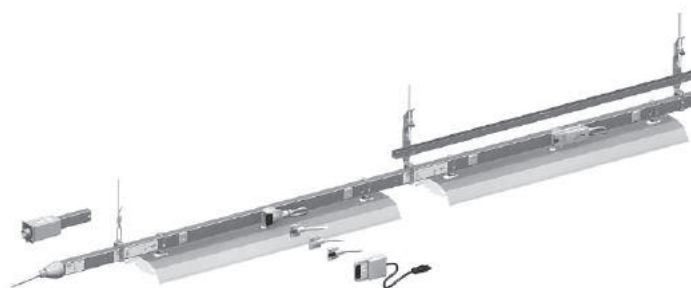


Fig. E41: Bară capsulată prefabricată pentru distribuție de iluminat cu susținerea corpurilor de iluminat: Canalis KBA și KBB (25 la 40 A).

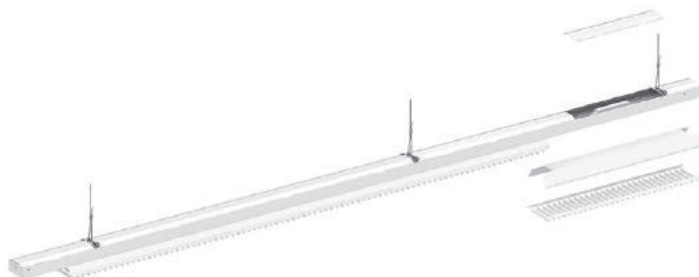


Fig. E42: Șir luminos: Canalis KBX (20 A).

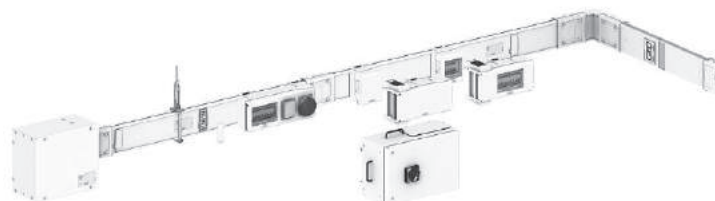


Fig. E43: Bară capsulată prefabricată pentru distribuție de mică și medie putere: Canalis KN (40 la 160 A).

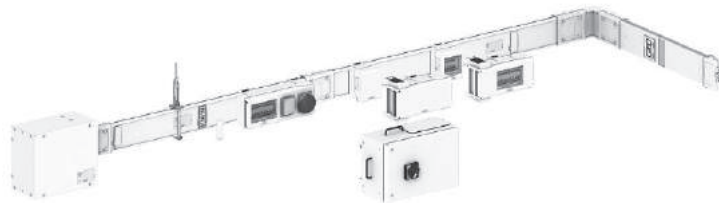


Fig. E44: Bară capsulată prefabricată pentru distribuție de putere medie:
Canalis KS (1000 la 1000 A).

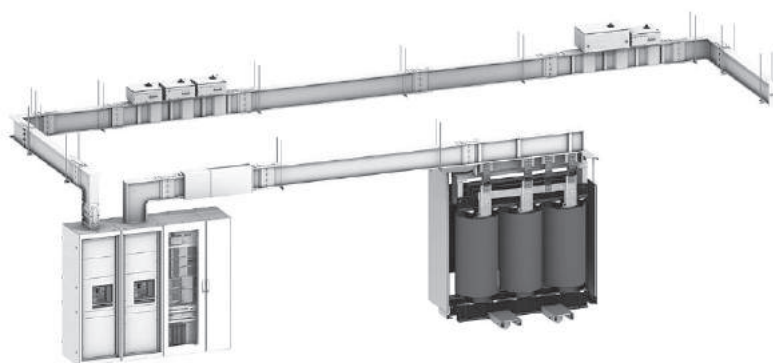


Fig. E45: Bară capsulată prefabricată pentru distribuție de mare putere:
Canalis KT (1000 la 5000 A).

Pentru configurarea instalațiilor de bare capsulate prefabricate Canalis sunt disponibile, în limba română, următoarele programe de calcul:

- CanFAST 3.0 pentru iluminat, puteri mici și medii;
- CanBRASS 6.0 pentru toată gama de puteri;
- CanCAD 4.0 pentru puteri medii și mari. Acest soft funcționează sub AutoCAD.

3 Influențe externe (CEI 60364-5-51)

Influențele externe trebuie luate în considerare când se aleg:

- măsurile specifice de asigurare a securității persoanelor (în particular în zone sau instalații electrice cu caracter special);
- caracteristicile echipamentului electric cum ar fi gradul de protecție IP, rezistența mecanică IK, etc.

Dacă mai multe influențe externe intervin în același timp, ele pot avea efecte independente sau se pot influența reciproc așa încât gradul de protecție trebuie ales în consecință.

3.1 Definiții și standarde de referință

Fiecare instalație electrică este plasată într-un mediu specific, care prezintă, într-o măsură mai mare sau mai mică, un anumit risc:

- pentru persoane;
- pentru echipamentele care constituie instalația.

În consecință, condițiile de mediu influențează definirea parametrilor și alegerea materialelor specifice instalației, precum și alegerea măsurilor de protecție adecvate pentru securitatea persoanelor.

Condițiile de mediu ale unei instalații electrice se exprimă prin sintagma "influențe externe".

Multe standarde naționale, referitoare la influențele externe, includ o schemă de clasificare care este bazată sau este foarte asemănătoare, cu standardul internațional CEI 60364-5-51.

3.2 Clasificare

Fiecare condiție de influență externă este indicată de un cod care cuprinde un grup de două litere majuscule și un număr, după cum urmează:

Prima literă (A, B sau C)

Prima literă este legată de categoria generală de influență externă.

- A = mediu ambiant;
- B = utilizare;
- C = tip de construcție al clădirilor respective.

A doua literă

A doua literă este legată de natura influenței externe.

Numărul

Numărul se referă la clasa din care face parte fiecare influență externă.

Litera adițională (opțional)

Utilizată numai dacă protecția efectivă a persoanelor este mai mare decât cea indicată de prima cifră din codul IP.

Atunci când trebuie specificată numai protecția persoanelor, cele două cifre ale codului IP sunt înlocuite de X-uri.

Exemplu: IP XXB

Exemplu

AC2 înseamnă:

- A = mediu
- AC = mediu-altitudine
- AC2 = mediu-altitudine > 2000 m

3.3 Lista influențelor externe

Tabelul E46 de mai jos este extras din CEI 60364-5-51, care este documentul de referință în astfel de situații.

Cod	Influențe externe			Caracteristici necesare pentru echipament
A - Mediu				
AA	Temperatura ambiantă (°C)			Echipament proiectat special sau măsuri corespunzătoare
	Minim	Maxim		
AA1	- 60° C	+ 5° C		Normal (precauții speciale în anumite cazuri)
AA2	- 40° C	+ 5° C		
AA3	- 25° C	+ 5° C		
AA4	- 5° C	+ 40° C		Normal
AA5	+ 5° C	+ 40° C		Echipament proiectat special sau măsuri corespunzătoare
AA6	+ 5° C	+ 60° C		
AA7	- 25° C	+ 55° C		
AA8	- 50° C	+ 40° C		

Tab. E46: Lista influențelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (se continuă pe pagina următoare)

3 Influențe externe
(CEI 60364-5-51)

Cod	Influențe externe						Caracteristici necesare pentru echipament
A - Mediu							
AB	Temperatura ambiantă (°C)						
	Temperatură aer °C		Umiditate relativă %		Umiditate absolută g/m³		
	Low	High	Low	High	Low	High	
AB1	- 60° C	+ 5° C	3	100	0,003	7	Trebuie luate măsuri corespunzătoare
AB2	- 40° C	+ 5° C	10	100	0,1	7	
AB3	- 25° C	+ 5° C	10	100	0,5	7	
AB4	- 5° C	+ 40° C	5	95	1	29	Normal
AB5	+ 5° C	+ 40° C	5	85	1	25	Normal
AB6	+ 5° C	+ 60° C	10	100	1	35	Trebuie luate măsuri corespunzătoare
AB7	- 25° C	+ 55° C	10	100	0.5	29	
AB8	- 50° C	+ 40° C	15	100	0.04	36	
AC	Altitudine						
AC1	≤ 2000 m						Normal
AC2	> 2000 m						Poate necesita precautii (declarare)
AD	Prezența apei						
AD1	Neglijabilă		Exterior sau locații neprotejate la intemperii				IPX0
AD2	Stropi în cădere liberă						IPX1 sau IPX2
AD3	Pulverizare						IPX3
AD4	Împroșcare						IPX4
AD5	Jeturi		Locații unde un furtun cu apă este folosit regulat				IPX5
AD6	Valuri		Locații litorale (diguri, cheiuri, plaje, etc.)				IPX6
AD7	Imersie		Apă 150 mm deasupra celui mai înalt punct și echipamentul la mai puțin de 1 m de suprafață				IPX7
AD8	Submersie		Echipamentul este permanent și total acoperit				IPX8
AE	Prezența corpurilor străine solide						
			Cele mai mici dimensiuni		Exemplu		
AE1	Neglijabilă						IP0X
AE2	Obiecte mici		2,5 mm		Scule		IP3X
AE3	Obiecte foarte mici		1 mm		Sârmă		IP4X
AE4	Praf nu prea dens						IP5X dacă penetrarea prafului nu împiedică funcționarea
AE5	Praf moderat						IP6X dacă praful nu trebuie să penetreze
AE6	Praf dens						IP6X
AF	Prezența substanțelor corozive sau poluante						
AF1	Neglijabilă						Normal
AF2	Atmosferică						În funcție de natura substanței
AF3	Intermitentă, accidental						Protecție împotriva coroziunii
AF4	Continuă						Echipament proiectat special
AG	Reacția la impact mecanic						
AG1	Severitate scăzută						Normal
AG2	Severitate medie						Standard (daca este aplicabil) sau echip. pregătite special
AG3	Severitate ridicată						Protecție crescută
AH	Vibrații						
AH1	Severitate scăzută		Aplicații casnice sau similare				Normal
AH2	Severitate medie		Condiții industriale normale				Echipament proiectat special sau măsuri speciale
AH3	Severitate ridicată		Condiții industriale severe				
AJ	Alte solicitări mecanice						
AK	Prezența florei și/sau mușcăiului						
AH1	Fără riscuri						Normal
AH2	Cu riscuri						
AL	Prezența faunei						
AH1	Fără riscuri						Normal
AH2	Cu riscuri						
AM	Influențe electromagnetice, electrostatice sau ionizări / Fenomene electromagnetice de joasă frecvență / Armonici						
AM1	Armonici						A se referi la standardele CEI aplicabile
AM2	Tensiune de semnalizare						
AM3	Variații ale amplitudinii tensiunii						
AM4	Dezechilibre ale tensiunii						
AM5	Variații ale frecvenței						
AM6	Tensiuni induse de joasă frecvență						
AM7	Curent continuu în rețelele de curent alternativ						
AM8	Câmpuri magnetice						
AM9	Câmpuri electrice						
AM21	Oscilații de tensiuni sau curenți induși						

Tab. E46: Lista influențelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (se continuă pe pagina următoare)

3 Influențe externe (CEI 60364-5-51)

Cod	Influențe externe	Caracteristici necesare pentru echipament
A - Mediu		
AM22	Fenomene tranzitorii pe scala de nanosecunde	A se referi la standardele CEI aplicabile
AM23	Fenomene tranzitorii pe scala de milisecunde	
AM24	Fenomene tranzitorii oscilante	
AM25	Fenomene de înaltă frecvență	
AM31	Descărcări electrostatice	
AM41	Ionizări	
AN	Radiații solare	
AN1	Slabe	Normal
AN2	Medii	
AN3	Puternice	
AP	Efect seismic	
AP1	Neglijabil	Normal
AP2	Slab	
AP3	Mediu	
AP4	Puternic	
AQ	Trăsnete	
AQ1	Neglijabil	Normal
AQ2	Expunere indirectă	
AQ3	Expunere directă	
AR	Mișcarea aerului	
AQ1	Slabă	Normal
AQ2	Medie	
AQ3	Puternică	
AS	Vânt	
AQ1	Slab	Normal
AQ2	Mediu	
AQ3	Puternic	
B - Utilizare		
BA	Calificarea persoanelor	
BA1	Obişnuită	Normal
BA2	Copii	
BA3	Handicapați	
BA4	Înstruiți	
BA5	Calificați	
BB	Rezistența electrică a corpului uman	
BC	Contactul persoanelor cu potențialul pământului	
BC1	Nici unul	Clasă de echipament corespunzătoare cu CEI 61140
BC2	Rar	
BC3	Frecvent	
BC4	Continuu	
BD	Condiții de evacuare în caz de urgență	
BD1	Joasă densitate/ieșire accesibilă	Normal
BD2	Joasă densitate/ieșire dificilă	
BD3	Înaltă densitate/ieșire accesibilă	
BD4	Înaltă densitate/ieșire dificilă	
BE	Natura materialelor procesate sau depozitate	
BE1	Fără risc semnificativ	Normal
BE2	Risc de incendiu	
BE3	Risc de explozie	
BE4	Risc de contaminare	
C - Construcția de clădiri		
CA	Materialele de construcție	
CA1	Necombustibile	Normal
CA2	Combustibile	
CB	Proiectarea clădirilor	
CB1	Riscuri neglijabile	Normal
CB2	Propagarea incendiului	
CB3	Mișcare	
CB4	Flexibil sau instabil	

Tab. E46: Lista influențelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (sfârșit)

3.4 Grade de protecție pentru echipament: codurile IP și IK

Definiția codurilor IP (vezi Fig. E47)

Gradul de protecție furnizat de o carcasă este indicat de codul IP recomandat de CEI 60529.

Protecția se referă la următoarele influențe externe:

- penetrarea corpurilor solide;
- protecția persoanelor împotriva accesului la părțile sub tensiune;
- protecția împotriva pătrunderii prafului;
- protecția împotriva pătrunderii lichidelor.

Notă: codul IP se aplică la echipament electric pentru tensiuni de maxim 72,5 kV inclusiv.

Elemente ale codurilor IP și semnificația lor

O scurtă descriere a elementelor codurilor IP este dată în tabela de mai jos (vezi Tab. E48).

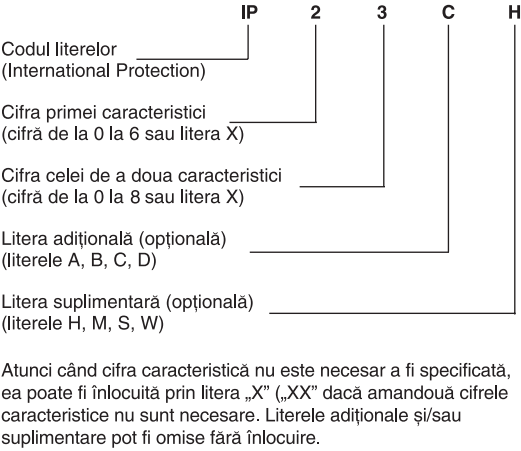


Fig. E47: Secvența codului IP.

Element	Cifre sau litere	Semnificația pentru protecția echipamentului	Semnificația pentru protecția persoanelor
Codul literelor	IP		
Cifra primei caracteristici	0 1 2 3 4 5 6	Împotriva pătrunderii corpurilor străine solide (neprotejat) diametru ≥ 50 mm diametru ≥ 12,5 mm diametru ≥ 2,5 mm diametru ≥ 1,0 mm Protejat la praf Etanș	Împotriva accesului la părțile periculoase cu (neprotejat) Dosul palmei Degetul Unealtă Sârmă Sârmă
Cifra celei de-a doua caracteristici	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Împotriva pătrunderii apei cu efecte nedorite (neprotejat) Picături verticale Picături, unghi de 15° Pulverizare Împroșcare Jet de apă Jet puternic Imersie temporară Imersie continuă	
Litera adițională (opțional)	A B C D		Împotriva accesului la părțile periculoase cu Dosul palmei Degetul Unealtă Sârmă
Litera suplimentară (opțional)	H M S W	Informații suplimentare specifice: Aparate de înaltă tensiune Mișcări în cursul testului cu apă Staționar în cursul testului cu apă Condițiile meteo	

Tab. E48: Elemente ale codului IP.

3 Influențe externe (CEI 60364-5-51)

Definiția codurilor IK

Standardul CEI 62262 definește codurile IK care caracterizează capacitatea unui echipament de a rezista la impact mecanic pe toate părțile (vezi **Tab. E49**).

Codul IK	Energia de impact (în Joules)	Codul AG
00	0	
01	≤ 0,14	
02	≤ 0,20	AG1
03	≤ 0,35	
04	≤ 0,50	
05	≤ 0,70	
06	≤ 1	
07	≤ 2	AG2
08	≤ 5	AG3
09	≤ 10	
10	≤ 20	AG4

Tab. E49: Elemente ale codului IK.

Specificarea codurilor IP și IK pentru tablourile de distribuție

Gradele de protecție IP și IK ale unei carcase trebuie specificate în funcție de diversele influențe externe definite de standardul CEI 60364-5-51, în particular:

- prezența corpurilor solide (codul AE);
- prezența apei (codul AD);
- solicitările mecanice (fără cod);
- calificarea persoanelor (codul BA);
- ...

Tablourile de distribuție Prisma Plus sunt destinate pentru instalații interioare. Dacă regulile, standardele, reglementările unei anumite țări nu specifică altfel, Schneider Electric recomandă următoarele valori pentru IP și IK (vezi **Tab. E50** și **Tab. E51**).

Recomandări pentru IP

Codurile IP în funcție de condiții		
Normal, fără riscul căderii verticale a apei	Camere tehnice	30
Normal, cu riscul căderii verticale a apei	Coridoare	31
Risc sever de apă împrăscată în toate direcțiile	Ateliere	54/55

Tab. E50: Recomandări pentru IP.

Recomandări pentru IK

Codurile IK în funcție de condiții		
Fără risc de impact major	Camere tehnice	07
Risc semnificativ de impact major ce ar putea afecta aparatele	Coridoare	08 (carcasă cu ușa)
Risc maxim de impact ce ar putea afecta carcasa	Ateliere	10

Tab. E51: Recomandări pentru IK.

Capitolul F

Protecția împotriva șocurilor electrice

Cuprins

1	General	F2
	1.1 Șocul electric	F2
	1.2 Protecția împotriva șocului electric	F3
	1.3 Contactul direct și indirect	F3
2	Protecția împotriva contactului direct	F4
	2.1 Măsuri împotriva contactului direct	F4
	2.2 Măsuri suplimentare de protecție împotriva contactului direct	F5
3	Protecția împotriva contactului indirect	F6
	3.1 Măsuri de protecție prin deconectarea automată a sursei de alimentare	F6
	3.2 Deconectarea automată în cazul sistemelor TT	F7
	3.3 Deconectarea automată în cazul sistemelor TN	F8
	3.4 Deconectarea automată la al doilea defect în cazul sistemelor IT	F10
	3.5 Măsuri de protecție împotriva contactelor directe și indirecte fără deconectarea automată a sursei de alimentare	F13
4	Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație	F17
	4.1 Măsuri de protecție împotriva riscului de incendiu cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD)	F17
	4.2 Protecția împotriva defectelor de punere la pământ	F17
5	Implementarea sistemului TT	F19
	5.1 Măsuri de protecție	F19
	5.2 Tipuri de dispozitive de curent diferențial rezidual	F20
	5.3 Coordonarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual	F22
6	Implementarea sistemului TN	F25
	6.1 Condiții preliminare	F25
	6.2 Protecția împotriva contactelor indirecte	F25
	6.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate	F29
	6.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu	F30
	6.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare	F30
7	Implementarea sistemului IT	F31
	7.1 Condiții preliminare	F31
	7.2 Protecția împotriva contactelor indirecte	F32
	7.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate	F36
	7.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu	F37
	7.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare	F37
8	Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)	F38
	8.1 Descriere	F38
	8.2 Recomandări pentru utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD)	F38

Când un curent mai mare de 30 mA trece printr-o parte a corpului uman persoana în cauză are serios de suferit dacă acest curent nu este întrerupt într-un timp foarte scurt. Protecția persoanelor împotriva șocului electric în instalațiile de joasă tensiune trebuie realizată în conformitate cu standardele naționale în vigoare, cu regulamentele statutare, normative, ghiduri practice, etc. Standardele CEI relevante sunt: CEI 60364, seria CEI 60479, CEI 61008, CEI 61009 și CEI 60947-2.

1.1 Șocul electric

Șocul electric este un efect fiziologic al trecerii curentului electric prin corpul uman. Trecerea curentului electric prin corpul uman afectează în mod esențial musculatura, funcțiile respiratorii și circulatorii și uneori are ca rezultat arsuri serioase. Gradul de pericol pentru victimă depinde de mărimea curentului, de suprafața corpului prin care acesta trece și de durata trecerii.

Publicația CEI 60479-1 din 1994 definește patru zone curent/durată, în interiorul cărora sunt descrise efectele patologice (vezi Fig. F1).

Orice persoană care vine în contact cu părți active ale instalației este supusă riscului de șoc electric.

Curba C1 indică faptul că, atunci când un curent mai mare de 30 mA trece prin corpul uman dintr-o parte în cealaltă persoana în cauză poate fi ucisă dacă acest curent nu este întrerupt într-un timp relativ scurt.

Punctul 500 ms/100 mA aproape de curba C1 corespunde cu o probabilitate de fibrilație de 0,14%.

Protecția persoanelor împotriva șocului electric în instalațiile de joasă tensiune trebuie realizată în conformitate cu standardele naționale în vigoare, cu regulamentele naționale în vigoare, cu regulamentele statutare, normative, ghiduri oficiale, etc. Standardele CEI în vigoare sunt: seria CEI 60364, seria CEI 60479, CEI 60755, seria CEI 61008, seria CEI 61009 și CEI 60947-2.

F2

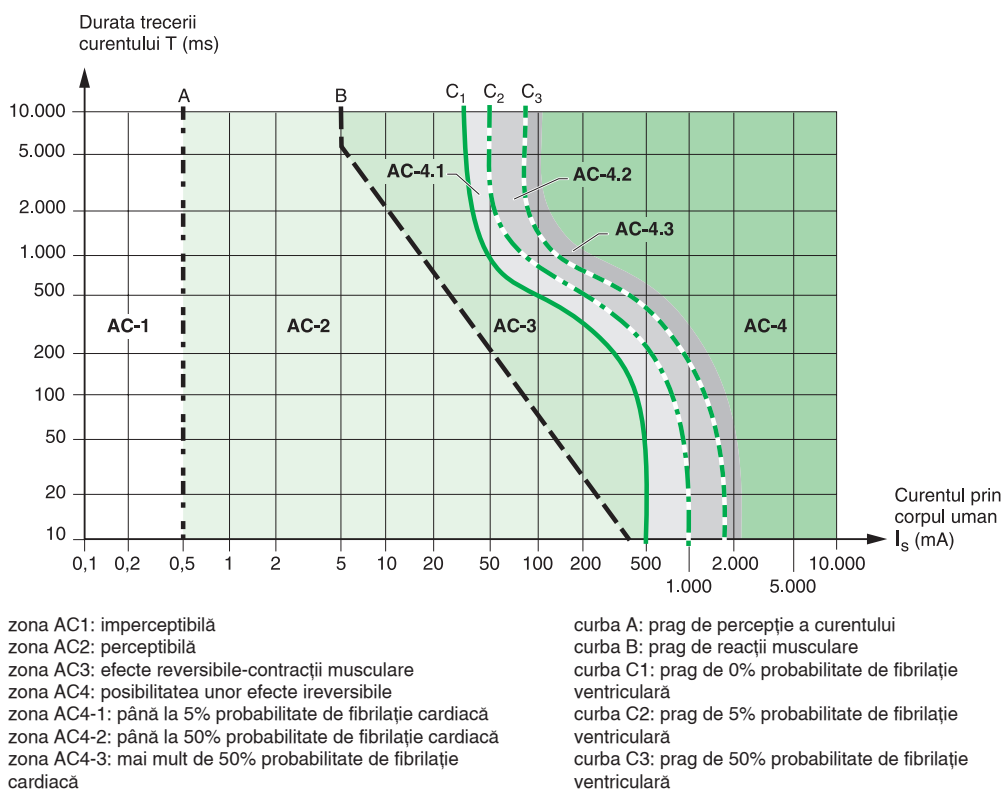


Fig. F1: Zone curent/durată ale efectelor trecerii curentului electric prin corpul uman de la mâna stângă spre picioare.

1.2 Protecția împotriva șocului electric

Regulile fundamentale ale protecției împotriva șocului electric sunt stabilite în standardul CEI 61140 care acoperă atât instalațiile cât și echipamentele electrice. Părțile active nu trebuie să fie accesibile în mod accidental, iar părțile accesibile nu trebuie să fie periculoase.

Această regulă se aplică:

- în condiții normale;
- în condițiile unui singur defect.

Protecția în condiții normale corespunde protecției împotriva contactului direct (protecția de bază) iar protecția în condițiile unui singur defect corespunde protecției împotriva contactului indirect (protecția la defect).

Măsurile sporite de protecție se referă la ambele situații.

1.3 Contactul direct și indirect

Contactul direct

Contactul direct se referă la cazul unei persoane care vine în contact direct cu un conductor activ în condiții normale (vezi **Fig. F2**).

Standardul CEI 61140 a redenumit “protecția împotriva contactului direct” cu termenul de “protecție de bază”. Denumirea anterioară este păstrată cu titlul de informație.

Contactul indirect

Un contact indirect se referă la cazul unei persoane care vine în contact cu o parte metalică accesibilă care în mod normal nu se află dar poate ajunge în mod accidental sub tensiune (datorită unor defecte de izolație sau altor cauze).

Curentul de defect aduce părțile metalice accesibile la o tensiune periculoasă care poate fi la originea unui curent de atingere care circulă prin persoana ce vine în contact cu această parte metalică (vezi **Fig. F3**).

Standardul CEI 61140 a redenumit “protecția împotriva contactului indirect” cu termenul de “protecție la defect”. Denumirea anterioară este păstrată cu titlul de informație.

Deseori se cer luate două măsuri împotriva riscului unui contact direct deoarece s-a dovedit că, în practică, o singură măsură nu este totdeauna suficientă.

Standardele și regulamentele disting două categorii de contacte periculoase:

- *contactul direct;*
- *contactul indirect.*

și prevăd măsuri de protecție pentru fiecare categorie.

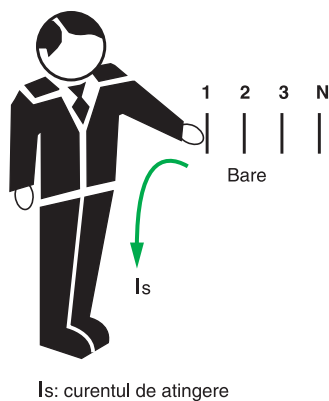


Fig. F2: Contactul direct.

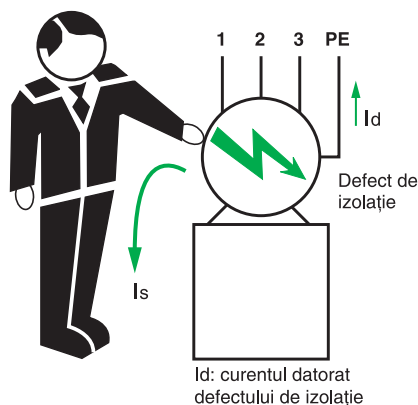


Fig F3: Contactul indirect.

2 Protecția împotriva contactului direct

Există două măsuri complementare care se utilizează de obicei împotriva pericolului contactului direct:

- prevenirea în mod fizic a contactului cu părți active ale instalației prin utilizarea izolației, prin bariere, inaccesibilitate, etc.;
- protecții suplimentare în cazul în care contactul direct are loc în ciuda sau datorită unor greșeli ale măsurilor de protecție mai sus menționate. Această protecție se realizează cu dispozitive de protecție împotriva curentului de defect la pământ, de mare sensibilitate ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$) și care acționează într-un timp scurt. Aceste dispozitive sunt eficiente în majoritatea cazurilor în care se produce contactul direct.

Standardele CEI și cele naționale disting în mod frecvent două tipuri de protecții:

- completă (izolație, carcase), etc.;
- parțială sau specifică.

2.1 Măsuri de protecție împotriva contactului direct

Protecția prin izolarea părților active

Această protecție constă dintr-o izolare care este în conformitate cu standardele în vigoare (vezi **Fig. F4**). Vopselele, lacurile, emailurile nu asigură o protecție adecvată.

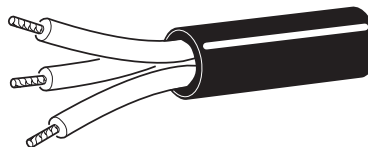


Fig. F4: Protecția împotriva contactului direct prin izolarea cablului trifazat printr-o manta exterioară.

Protecția cu ajutorul barierelor și carcaselor

Această măsură este larg utilizată întrucât multe dintre componente și materiale sunt instalate în carcase, panouri de comandă și tablouri de distribuție (vezi **Fig. F5**). Pentru a se considera că asigură o protecție efectivă împotriva contactelor directe accidentale, aceste echipamente trebuie să aibă un grad de protecție de cel puțin IP 2X sau IP XXB (a se vedea Capitolul E, subcapitolul 3.4).

Mai mult, un element de deschidere dintr-o carcasă (ușă, panou frontal, sertare, etc.) trebuie să fie detașat, deschis sau debroșat:

- cu ajutorul unei chei sau scule speciale destinate acestui scop;
- numai după izolarea completă a părților active din carcasă;
- cu o intercalare automată a unui ecran care poate fi detașat numai cu o cheie sau cu o sculă destinată acestui scop. Carcasa metalică și toate părțile metalice ale ecranelor trebuie să fie conectate la conductorul de protecție (PE) al instalației.

Măsuri parțiale de protecție

- Protecția cu ajutorul obstacolelor sau prin amplasare în afara zonei de accesibilitate. Acest tip de protecție este rezervată locațiilor în care accesul este permis doar personalului autorizat.

Modul de realizare a acestui tip de protecție este prezentat în CEI 60364-4-41.

Măsuri particulare de protecție

- Protecția prin utilizarea unor tensiuni foarte joase de siguranță (TFJS) sau prin limitarea energiei de descărcare.

Aceste măsuri sunt utilizate doar în cazul circuitelor de mică putere și în cazuri speciale, așa cum sunt descrise în secțiunea 3.5.



Fig. F5: Exemple de carcase pentru protecție.

2 Protecția împotriva contactului direct

O măsură suplimentară de protecție împotriva contactelor directe accidentale este utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual, care acționează la 30 mA și chiar mai jos, și care sunt cunoscute ca RCD (Residual Current Device) de sensibilitate mare.

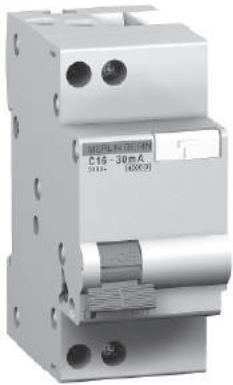


Fig. F6: RCD de sensibilitate mare.

2.2 Măsuri suplimentare de protecție împotriva contactului direct

Toate măsurile de protecție anterioare sunt preventive, dar experiența arată faptul că din diferite motive ele nu pot fi considerate perfecte. Printre aceste motive se află:

- lipsa unei mentenanțe corespunzătoare;
- imprudența, neglijența;
- uzura normală sau anormală a izolației: de ex. îndoirea sau răzuirea conductoarelor de legătură;
- contactele accidentale;
- imersia în apă, situație în care izolația nu mai este suficientă.

Pentru a proteja utilizatorii și în aceste situații sunt utilizate dispozitive sensibile, cu declanșare rapidă bazată pe detecția curentului rezidual către pământ (care se poate scurge sau nu printr-un organism viu), pentru a deconecta în mod automat sursa de alimentare, suficient de rapid pentru a împiedica producerea de prejudicii permanente sau chiar moartea prin electrocutare (vezi **Fig. F6**).

Aceste dispozitive funcționează pe principiul măsurării curentului diferențial, în care orice diferență dintre curentul de intrare în circuit și cel de ieșire (într-un sistem alimentat de la o sursă legată la pământ) se scurge la pământ fie printr-un defect de izolație, fie printr-un contact realizat de o persoană care atinge un conductor activ. Dispozitivele de curent diferențial rezidual (RCD) standardizate suficient de sensibile pentru protecția împotriva contactului direct sunt calibrate la un curent diferențial de 30 mA.

În conformitate cu CEI 60364-4-41 protecția suplimentară realizată cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$) trebuie aplicată circuitelor care alimentează prize având un curent nominal $\leq 20 \text{ A}$ în toate cazurile, și pentru circuite care alimentează echipamente mobile având curent nominal $\leq 32 \text{ A}$ pentru uz exterior.

Această protecție suplimentară este impusă în anumite țări pentru circuite de prize de până la 32 A și chiar mai mult dacă acestea se găsesc în spații umede și/sau temporare (ex: organizări de șantier).

Este de asemenea recomandată limitarea numărului de prize protejate printr-un RCD (de ex: 10 prize pentru un RCD).

În capitolul P, secțiunea 3, sunt menționate diferite zone în care dispozitivele RCD de mare sensibilitate sunt obligatorii (în anumite țări), dar în orice caz sunt puternic recomandate ca o protecție eficientă împotriva contactelor directe și indirecte accidentale.

3 Protecția împotriva contactului indirect

Măsurile de protecție sunt:

- deconectarea automată a sursei de alimentare (la primul sau la al doilea defect în funcție de sistemul de tratare al neutrlui);
- măsuri speciale de protecție în funcție de situație.

Protecția împotriva contactelor individuale accidentale prin deconectarea automată a sursei de alimentare se poate obține dacă părțile conductoare accesibile ale echipamentului sunt corect legate la pământ.

Părțile conductoare accesibile utilizate în fabricarea echipamentelor electrice sunt separate de părțile active ale echipamentului prin ceea ce se numește izolația de bază. Deteriorarea acestei izolații de bază va face ca și acest material potențial conductor să fie pus sub tensiune. Atingerea unei părți a unui echipament electric care în mod normal nu este sub tensiune, dar care a ajuns sub tensiune datorită acestor deteriorări ale izolației definește contactul indirect. Diferite măsuri sunt luate pentru protecția împotriva acestor atingeri accidentale, incluzând:

- deconectarea automată a sursei de alimentare;
- măsuri speciale, cum ar fi:
- utilizarea unor materiale cu izolație de clasă II sau o izolație echivalentă ca nivel,
- amplasarea echipamentelor în afara zonelor de accesibilitate, sau intercalarea de bariere,
- legături echipotențiale,
- separarea galvanică prin utilizarea transformatoarelor de separație.

3.1 Măsuri de protecție prin deconectarea automată a sursei de alimentare

Principii de bază

Această măsură de protecție depinde de două cerințe fundamentale și anume:

- de modul de conectare la pământ a tuturor părților conductoare accesibile ale echipamentului electric și de modul de realizare a rețelei de împământare;
- deconectarea automată a tensiunii de alimentare a secțiunii defecte a instalației trebuie să se facă în așa fel încât cerințele de siguranță ale raportului tensiune de atingere/durată să fie îndeplinite pentru orice valoare a tensiunii de atingere $U_c^{(1)}$ (vezi Fig. F7).

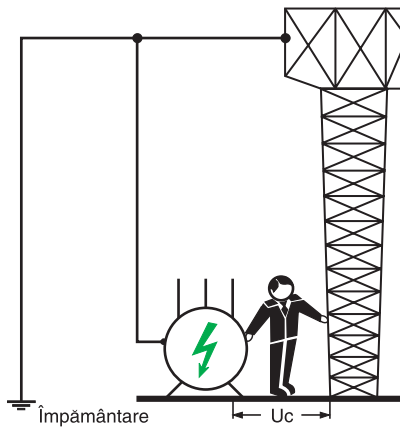


Fig. F7: Tensiunea de atingere periculoasă U_c .

Cu cât valoarea tensiunii de atingere este mai mare, cu atât mai rapid trebuie să declanșeze protecția (vezi Tab. F8). Valoarea cea mai mare a tensiunii de atingere U_c care poate fi suportată un timp nedefinit, fără consecințe asupra organismului uman, este de 50 V c.a.

Recapitulare a limitelor teoretice ale timpilor de deconectare

U_o (V)	$50 < U_o \leq 120$	$120 < U_o \leq 230$	$230 < U_o \leq 400$	$U_o > 400$
Sistem TN sau IT	0,8	0,4	0,2	0,1
TT	0,3	0,2	0,07	0,04

Tab. F8: Durate maxime ale tensiunii de atingere în c.a (în secunde).

(1) Tensiunea de atingere U_c este tensiunea existentă (ca urmare a unor defecte de izolație) între părțile conductoare accesibile și orice alt element conducător care se află la un potențial diferit (în general al pământului).

3 Protecția împotriva contactului indirect

Deconectarea automată în cazul sistemelor TT se realizează cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Residual Current Device) având o sensibilitate

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A}$$

unde R_A este rezistența de dispersie a prizei de pământ.

3.2 Deconectarea automată în cazul sistemului TT

Principii de bază:

În cazul acestui sistem, toate părțile conductoare accesibile și cele conductoare externe ale instalației trebuie să fie conectate la aceeași priză de pământ. Punctul neutru al sursei de alimentare este în mod normal conectat la pământ printr-o priză de pământ separată, în afara zonei de influență a prizei de pământ a instalației, dar acest lucru nu este o necesitate. Impedanța buclei de defect constă, în principal, din impedanțele celor două prize de pământ (a sursei și a instalației) conectate în serie, de aceea valoarea curentului de defect la pământ este, în general, prea mică pentru ca relele de supracurent sau fuzibilele să declanșeze, prin urmare utilizarea unui dispozitiv de curent diferențial rezidual este esențială.

Acest principiu de protecție este de asemenea valabil în cazul unei singure prize de pământ, respectiv în cazul consumatorului tip post de transformare într-o instalație unde spațiul limitat poate impune adoptarea sistemului de tratare TN, dar unde nu toate celelalte condiții impuse de sistemul TN pot fi respectate.

Protecția prin deconectarea automată a sursei utilizată în sistemul TT este realizată de dispozitive RCD cu o sensibilitate:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A}$$

unde:

R_A este rezistența prizei de pământ a instalației

$I_{\Delta n}$ este curentul rezidual nominal al RCD.

În cazul alimentărilor temporare (organizare de șantier) și locațiilor din agricultură și horticultură, se va înlocui valoarea 50 V cu 25 V.

Exemple: (vezi Fig. F9)

■ rezistența prizei de pământ a unei surse cu neutrul legat la pământ R_n este 10 Ω ;

■ rezistența prizei de pământ a instalației este $R_A = 20 \Omega$;

■ curentul prin bucla de punere la pământ: $I_d = 7,7 \text{ A}$;

■ tensiunea de atingere $U_f = I_d \times R_A = 154 \text{ V}$ și deci periculoasă dar

$I_{\Delta n} = 50/20 = 2,5 \text{ A}$, așa ca un dispozitiv RCD standard de 300 mA va declanșa în cca. 30 ms (vezi Tab. F10) fără nici o temporizare și va întrerupe circuitul defect, acolo unde tensiunea de atingere apare la nivelul părților conductoare accesibile.

$U_o^{(1)} \text{ (V)}$	$T \text{ (s)}$
$50 < U_o \leq 120$	0,3
$120 < U_o \leq 230$	0,2
$230 < U_o \leq 400$	0,07
$U_o > 400$	0,04

(1) U_o este tensiunea nominală de fază.

Tab. F10: Timpul maxim de deconectare pentru circuitele de c.a. mai mici de 32 A.

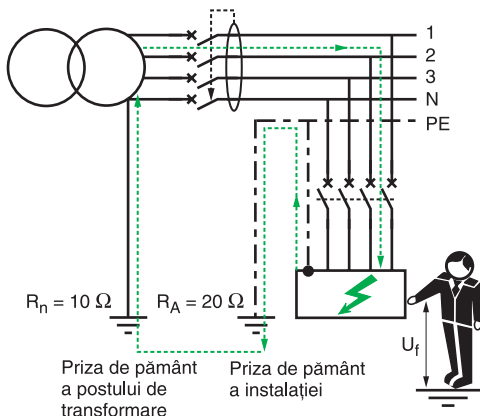


Fig. F9: Deconectarea automată a alimentării în cazul sistemelor TT

Timpul maxim de deconectare

Timpul de deconectare al RCD este, în general, mai mic decât cel cerut în majoritatea standardelor naționale; această caracteristică ușurează utilizarea și permite realizarea unor protecții efectiv selective.

Standardul CEI 60364-4-41 specifică timpii maximi de deconectare ale dispozitivelor de protecție utilizate în sistemul TT împotriva contactelor indirecte:

■ pentru circuitele terminale cu un curent nominal inferior lui 32 A timpul maxim de deconectare nu va depăși valorile indicate în Tab. F10;

■ pentru celelalte circuite, timpul maxim de deconectare este stabilit la 1 s. Această limită permite obținerea selectivității între dispozitivele RCD atunci când acestea sunt instalate pe circuite de distribuție. RCD este termenul general utilizat pentru dispozitivele care acționează pe principiul curentului diferențial rezidual. RCCB (Residual Current Circuit Breaker - întreruptor automat de curent rezidual) așa cum este definit în seriile de standarde CEI 61008 este o clasă specifică de RCD.

Tipul G (general) și tipul S (selectiv), conform CEI 61008 au caracteristicile de declanșare timp/curent așa cum este indicat în Tab. F11. Aceste caracteristici indică un anumit grad de selectivitate a declanșărilor între diferite combinații de tipuri și calibre, așa cum este indicat în subcapitolul 4.3.

În conformitate cu CEI 60947-2, RCD de tip industrial are mult mai multe posibilități de selectivitate datorită flexibilității în ceea ce privește temporizarea.

$\times I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Uz domestic	Instantaneu	0,3	0,15	0,04	0,04
	Tip S	0,5	0,2	0,15	0,15
Uz industrial	Instantaneu	0,3	0,15	0,04	0,04
	Temporizare (0,06)	0,5	0,2	0,15	0,15
	Temporizare (altele)	în conformitate cu indicațiile producătorului			

Tab. F11: Timpul maxim de declanșare al RCD (în secunde).

Deconectarea automată în cazul sistemelor TN se realizează prin dispozitive de protecție la supracurenți sau prin dispozitive de curent diferențial rezidual.

F8

3.3 Deconectarea automată în cazul sistemelor TN

Principii de bază

În cazul acestui sistem, toate părțile metalice conductoare accesibile și cele exterioare ale instalației sunt conectate direct la priza de pământ prin intermediul conductorului de protecție.

Asa cum este menționat în capitolul E, subcapitolul 1.2, modul în care această conectare directă este realizată, depinde dacă este utilizată metoda de implementare a TN-C, TN-S sau TN-C-S. În Fig. F12 este prezentată metoda TN-C în care conductorul neutru reprezintă atât Conductorul de Protecție cât și Conductorul Neutru (PEN - Protective Earth and Neutral). În toate sistemele TN orice defect de izolație reprezintă un curent de scurtcircuit între fază și neutru. Nivelul ridicat al acestor curenți de scurtcircuit permite utilizarea protecției la supracurent dar poate genera creșteri ale tensiunii de atingere la locul de defect, pe durata deconectării, de peste 50% din valoarea tensiunii de fază.

În practică, în rețelele de distribuție publică, în mod normal, prizele de pământ sunt realizate la intervale egale în lungul conductorului de protecție (PE) sau (PEN) al rețelei, în timp ce consumatorului i se cere adeseori să realizeze o priză de pământ la punctul de intrare în instalația de utilizare.

În instalațiile mari există adeseori prize de pământ dispuse în jurul locațiilor receptorilor, pentru a reduce tensiunea de atingere cât mai mult posibil. În cazul blocurilor de apartamente, toate părțile conductoare accesibile sunt conectate la conductorul de protecție la fiecare nivel. Pentru a asigura o protecție adecvată, curentul de punere la pământ :

$$I_d = \frac{U_o}{Z_s} \text{ sau } 0,8 \frac{U_o}{Z_c} \text{ trebuie să fie mai mare sau egal cu } I_a.$$

unde:

U_o = tensiunea de fază (între fază și neutru)

I_d = curentul de defect

I_a = curentul egal cu valoarea impusă la care dispozitivul de protecție declanșează în timpul specificat

Z_s = impedanța buclei de defect egală cu suma impedanțelor sursei, a conductoarelor active până în punctul de defect și a conductorului de protecție de la punctul de defect până la sursă

Z_c = impedanța buclei circuitului de defect (a se vedea "metoda convențională", subcapitolul 6.2).

Notă: Zona de la priza de pământ înapoi la sursă are în general o impedanță mult mai mare decât celelalte menționate și deci poate fi neglijată.

Exemplu (vezi Fig. F12)

Tensiunea de atingere accidentală este $U_f = \frac{230}{2} = 115 \text{ V}$

Impedanța buclei de defect este: $Z_s = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$.

Dacă predominante sunt Z_{BC} și Z_{DE} , atunci:

$$Z_s = 2\rho \frac{L}{S} = 64,3 \text{ m}\Omega, \text{ deci:}$$

$$I_d = \frac{230}{64,3 \times 10^{-3}} = 3.576 \text{ A, } (\approx 22 I_n \text{ pentru întreruptorul automat NS 160}).$$

Declanșatorul magnetic instantaneu al întreruptorului este reglat la o valoare de câteva ori mai mică decât această valoare a curentului de scurtcircuit, și deci declanșarea în cel mai scurt timp posibil este asigurată.

Notă: În anumite cazuri se pot relua calculele pornind de la premiza că există o cădere de tensiune de cca. 20%. Această metodă care este recomandată și este explicată în capitolul F, subcapitolul 6.2, "metoda convențională" conduce în acest exemplu la un curent de defect estimat de:

$$\frac{230 \times 0,8 \times 10^3}{64,3} = 2.816 \text{ A, } (\approx 18 I_n).$$

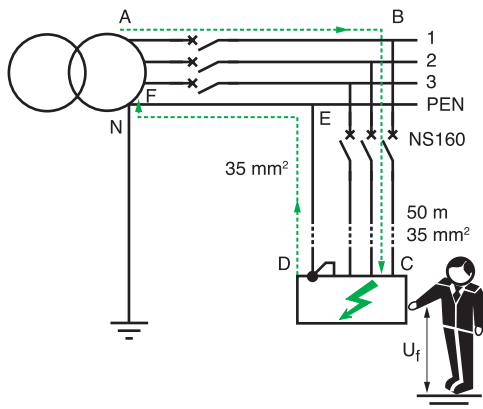


Fig. F12: Deconectarea automată în sistemele TN.

3 Protecția împotriva contactului indirect

Timpul maxim de deconectare

Standardul CEI 60364-4-41 specifică timpii maximi de deconectare ai dispozitivelor de protecție utilizate în sistemul TN pentru protecția împotriva contactelor indirecte:

- pentru circuitele terminale cu un curent nominal inferior lui 32 A timpul maxim de deconectare nu va depăși valorile indicate în **Tab. F13**.
- pentru celelalte circuite timpul maxim de deconectare este stabilit la 5 s. Această limită permite obținerea selectivității între dispozitivele de protecție atunci când acestea sunt instalate pe circuite de distribuție.

Notă: Utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual poate fi necesară în cazul sistemelor TN. Utilizarea RCD pentru sistemele TN-C-S înseamnă că, de fapt, conductorul de protecție este separat de conductorul neutru în amonte de RCD. Această separare se face uzual, la intrarea în tablou.

$U_o^{(1)}$ (V)	T (s)
$50 < U_o \leq 120$	0,8
$120 < U_o \leq 230$	0,4
$230 < U_o \leq 400$	0,2
$U_o > 400$	0,1

(1) U_o este tensiunea nominală de fază (fază-pământ).

Tab. F13: Timpul maxim de declanșare pentru circuite terminale de c.a. care nu depășesc 32 A.

Dacă protecția urmează să fie asigurată de un întreruptor automat este suficient să se verifice faptul că valoarea curentului de defect depășește întotdeauna reglajul magnetic al protecției instantanee sau temporizate de scurtă durată a declanșatorului (I_m).

I_a poate fi determinat pornind de la curbele de fuziune ale siguranțelor fuzibile. În orice caz protecția nu poate fi asigurată dacă impedanța buclei de defect Z_s sau Z_c este mai mare decât o anumită valoare.

Protecția cu ajutorul întreruptoarelor automate (vezi Fig. F14)

Declanșatorul instantaneu al întreruptorului automat va elimina curentul de scurtcircuit de punere la pământ în mai puțin de 0,1 secunde.

În consecință, deconectarea automată în timpul maxim permis va fi totdeauna posibilă, atâta timp cât toate tipurile de declanșatoare magnetice, electronice, instantanee sau temporizate de scurtă durată permit $I_a = I_m$. Toleranța maximă admisă de către standardele în vigoare trebuie totdeauna luată în considerare.

Prin urmare în cazul în care curentul de defect, $\frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ determinat prin

calcul (sau estimat pe șantier) va fi mai mare decât curentul de declanșare instantaneu sau temporizat de scurtă durată al întreruptorului automat, declanșarea în limita timpului maxim admis este practic asigurată.

Protecția cu ajutorul siguranțelor fuzibile (vezi Fig. F15)

Valoarea curentului care asigură funcționarea corectă a unei siguranțe fuzibile poate fi evaluată din curba curent/timp a siguranței fuzibile în cauză. I_a poate fi determinat din curba de funcționare a fuzibilului; în orice caz, protecția nu poate fi realizată dacă impedanța buclei de defect, Z_c sau Z_s depășește o anumită valoare.

Curentul de defect $\frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ determinat mai sus depășește cu mult valoarea necesară topirii siguranței fuzibile. Condiția de verificat este ca $I_a < \frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8 \frac{U_o}{Z_c}$ așa cum este indicat în **Fig. F15**.

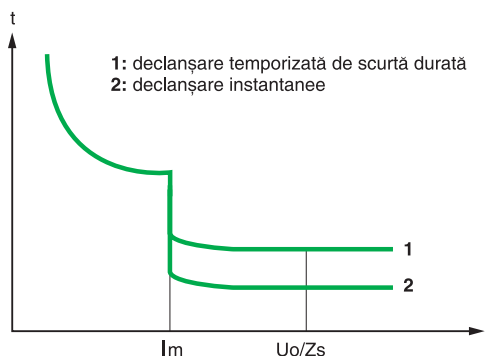


Fig. F14: Deconectarea cu ajutorul întreruptorului automat în sistemele TN.

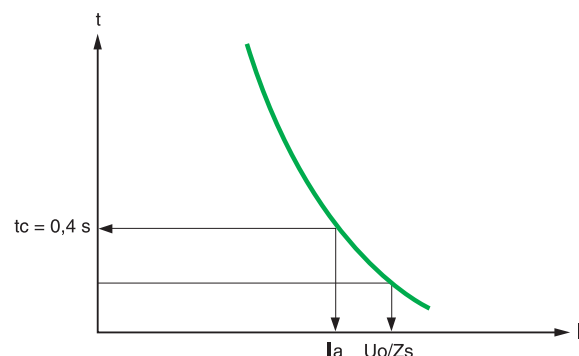


Fig. F15: Deconectarea cu ajutorul siguranțelor fuzibile în sistemele TN.

În cazul sistemelor IT primul defect de punere la pământ nu trebuie să determine nici o deconectare.



Fig. F16: Dispozitiv pentru realizarea controlului izolației între fază și pământ, obligatoriu în sistemele IT.

Exemplu: Tensiunea nominală de fază a rețelei este 230 V și timpul maxim de deconectare dat în graficul din **Fig. F15** este 0,4 s.

Valoarea corespunzătoare a I_a poate fi citită din grafic. Utilizând tensiunea (230 V) și curentul I_a impedanța totală a buclei de defect sau impedanța buclei circuitului poate

fi calculată cu ajutorul formulelor: $Z_s = \frac{230}{I_a}$ sau $Z_c = 0,8 \frac{230}{I_a}$

Valorile impedanțelor din circuit nu trebuie să depășească niciodată valorile mai sus calculate, și ar fi de preferat să fie substanțial mai mici pentru a se asigura o funcționare satisfăcătoare a siguranței fuzibile.

Protecția cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Rezidual Current Devices) în cazul sistemelor TN-S

Dispozitivele de curent diferențial rezidual trebuie utilizate atunci când:

- impedanța buclei de defect nu poate fi determinată precis (lungimi de cabluri dificil de estimat, prezența unor materiale metalice în vecinătatea conductoarelor, etc.);
- curenții de defect sunt atât de mici, încât timpii de deconectare maximi admisibili nu pot fi obținuți de către dispozitivele de protecție la supracurenți.

Curenții nominali de declanșare pentru dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt de ordinul amperilor, adică mult mai puțin decât nivelul curentului de defect, ceea ce le face foarte eficiente în cazul unor curenți de defect mici.

În practică, acestea sunt deseori utilizate în distribuția de joasă tensiune; în multe țări deconectarea automată a circuitelor terminale trebuie realizată cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual.

3.4 Deconectarea automată la al doilea defect în cazul sistemelor IT

În acest tip de sistem:

- sursa este izolată de pământ sau este conectată la pământ printr-o impedanță de valoare foarte mare;
- toate părțile conductoare accesibile exterioare sunt conectate la priza de pământ.

Primul defect

Atunci când are loc un prim defect real, numit "primul defect" valoarea curentului de defect este foarte mică astfel încât regula $I_d \times R_A \leq 50 \text{ V}$ (vezi paragraful 3.2) este îndeplinită și deci, nu poate apărea o tensiune de atingere periculoasă.

În practică curentul I_d este de valoare mică, ceea ce nu este periculos nici pentru personalul de exploatare, nici pentru instalație.

Totusi, în acest caz:

- trebuie realizată o permanentă monitorizare a izolației, cuplată cu un semnal de alarmă (audio sau/și luminoasă) care să funcționeze în situația apariției primului defect (vezi **Fig. F16**).

- localizarea și îndepărtarea primului defect este imperios necesară pentru a se obține toate avantajele sistemului IT. Continuitatea alimentării este cel mai mare avantaj pe care îl are acest sistem de tratare al neutrului.

Pentru o rețea alcătuită din cca. 1 km de conductoare noi, impedanța (capacitivă) de scurgere către pământ Z_f este de ordinul a 3500 Ω pe fază. În funcționarea normală curentul capacitiv către pământ⁽¹⁾ se calculează cu formula:

$$\frac{U_0}{Z_f} = \frac{230}{3.500} = 66 \text{ mA pe fază.}$$

În timpul unui defect între fază și pământ, așa cum este indicat în **Fig. F17**, curentul care trece prin priza de pământ de rezistență R_{nA} este dat de suma vectorială a curentului capacitiv din cele două faze neafectate. Tensiunile fazelor neafectate au crescut cu $\sqrt{3} U_0$ (datorită existenței defectului pe a treia fază), deci curenții capacitivi cresc proporțional. Acești curenți sunt defazați unul față de celălalt cu 60°, deci, atunci când ei se adună vectorial, curentul total devine: $3 \times 66 \text{ mA} = 198 \text{ mA}$ (în exemplul prezentat).

Tensiunea de atingere U_f este atunci, egală cu $198 \times 5 \times 10^{-3} = 0,99 \text{ V}$, prin urmare, este total nepericuloasă.

Curentul de scurtcircuit este dat de suma vectorială dintre curentul rezistiv I_{d1} (153 mA) și de cel capacitiv I_{d2} (198 mA). Întrucât părțile active accesibile ale instalației sunt conectate direct la pământ, impedanța Z_{ct} de conectare la pământ a sursei nu mai joacă nici un rol în calculul tensiunii de atingere.

(1) În condiții de izolație corespunzătoare, curentul rezistiv de scurgere la pământ se presupune a fi neglijabil în acest exemplu.

3 Protecția împotriva contactului indirect

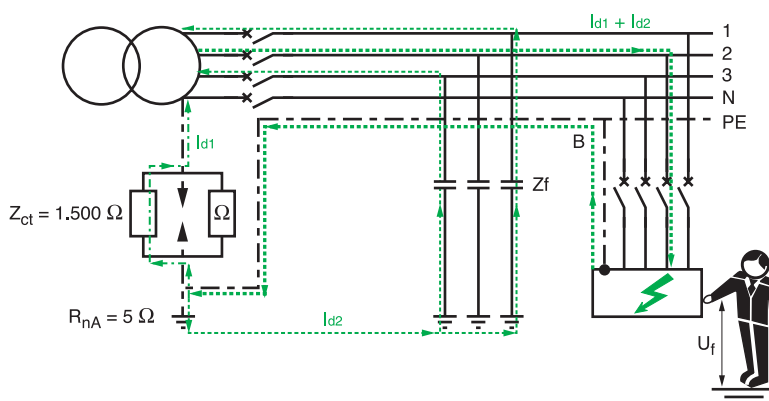


Fig. F17: Calea curentului de defect la primul defect în cazul sistemelor IT.

Cazul celui de al doilea defect

La apariția unui al doilea defect, pe o altă fază sau pe conductorul neutru al instalației, deconectarea rapidă devine imperios necesară. Îndepărtarea defectului se realizează în mod diferit în fiecare din următoarele cazuri:

Primul caz

Se referă la instalația în care toate părțile conductoare accesibile sunt conectate la un conductor PE comun, așa cum se indică în Fig. F18.

În acest caz nici o priză de pământ nu se găsește pe traiectoria curentului de defect, prin urmare curentul de defect are o valoare ridicată și, în mod evident, va trebui să declanșeze protecția la supracurent, adică întreruptoarele automate sau fuzibilele. Primul defect poate avea loc la un capăt al circuitului, în timp ce al doilea defect poate avea loc la capătul opus. De aceea, este uzual de a se dubla impedanța buclei de defect atunci când se calculează pragul magnetic de declanșare al protecției la supracurent.

Atunci când sistemul include un conductor pentru nulul de lucru pe lângă cele trei conductoare de fază, un curent de scurtcircuit mic va apare atunci când unul (din cele două) defecte are loc între conductorul neutru și pământ (toate cele patru conductoare sunt izolate de pământ în schema IT). În instalațiile IT cu 4 conductoare, pentru calculul nivelurilor de protecție se folosește tensiunea de fază (fază-neutru), exemplu:

$$0,8 \frac{U_0}{2 Z_c} \geq I_a^{(1)}, \text{ unde}$$

U_0 = tensiunea de fază

Z_c = impedanța circuitului buclei de defect (vezi F3.3)

I_a = reglajul protecției la supracurent.

În cazul instalațiilor cu neutru nedistribuit (3 conductoare) tensiunea utilizată pentru calculul curentului de defect este tensiunea de linie (între faze), exemplu:

$$0,8 \frac{\sqrt{3} U_0}{2 Z_c} \geq I_a^{(1)}$$

■ Timpii maximi de deconectare

Timpii de deconectare pentru sistemele IT depind de felul în care sunt interconectate cele două prize de pământ, a instalației și a sursei de alimentare.

Pentru circuitele terminale care alimentează echipamente electrice cu un curent nominal care nu depășește 32 A și având părțile conductoare accesibile conectate la o priză de pământ comună cu cea a sursei de alimentare, timpii maximi de deconectare sunt dați în Fig. F8. Pentru alte circuite interconectate având o priză de pământ comună, timpul de deconectare este de 5 s. Aceasta se datorează faptului că orice situație de al doilea defect petrecută în acest grup de circuite reprezintă, în fapt un curent de scurtcircuit similar sistemului TN.

Pentru circuitele terminale care alimentează echipamente electrice cu un curent nominal care nu depășește 32 A și având părțile conductoare accesibile conectate la prize de pământ independente diferite de priza de pământ a sursei de alimentare, timpii maximi de deconectare sunt dați în Fig. F13. Pentru alte grupuri de circuite având prize de pământ independente de cea a sursei de alimentare, timpul maxim de deconectare este 1 s. Aceasta se datorează faptului că orice situație de al doilea defect rezultă dintr-un defect de izolație dintr-un grup și un defect de izolație din alt grup va genera un curent de defect care va fi limitat de diferitele prize de pământ ca și în cazul sistemului TT.

Existența simultană a două defecte de punere la pământ (dacă nu sunt amândouă pe aceeași fază) este periculoasă și trebuie îndepărtată rapid cu ajutorul siguranțelor fuzibile sau întreruptoarelor automate. Declanșarea întreruptorului automat depinde de modul de conectare la priza de pământ și dacă sunt utilizate sau nu prize de pământ separate.

(1) Bazat pe "metoda convențională" descrisă în primul exemplu de la subcapitolul 3.3.

3 Protecția împotriva contactului indirect

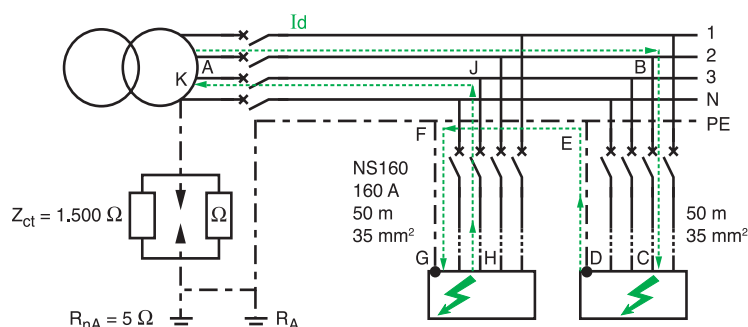


Fig. F18: Întreruptorul automat declanșează în situația celui de al doilea defect atunci când părțile conductoare accesibile sunt conectate la un conductor de protecție comun.

■ Protecția prin întreruptor automat

În cazul aratat în **Fig. F18**, pot fi stabilite reglajele protecției instantanee sau temporizată de scurtă durată a declanșatorului. Timpii de deconectare recomandați mai sus pot fi respectați cu ușurință.

Exemplu: În cazul indicat în **Fig. F18**, alegerea și reglarea protecției la scurtcircuit furnizate de întreruptorul automat Compact NS 160 este adecvată pentru îndepărtarea unui scurtcircuit bifazat (fază-fază) care ar avea loc la capetele circuitelor respective.

De reținut: Într-un sistem IT, cele două circuite implicate în scurtcircuitul bifazat se presupune ca au aceeași lungime, aceeași secțiune a conductorului, iar conductorul de PE are aceeași secțiune cu conductorul de fază. În astfel de cazuri, dacă se utilizează "metoda convențională" (subcapitolul 6.2) impedanța buclei de defect va fi de două ori mai mare decât cea calculată pentru unul din circuite în sistemul TN, așa cum se arată în capitolul F, subcapitolul 3.3.

Astfel, rezistența buclei 1, $FGHJ = 2R_{JH} = 2\rho \frac{L}{a}$ în mΩ, unde:

ρ = rezistivitatea electrică a cuprului (Ω/mm^2) (a unui țarus din cupru, lung de 1m și având secțiunea de 1 mm^2)

L = lungimea, în metri, a circuitului

a = secțiunea, în mm^2

$FGHJ = 2 \times 22,5 \times 50/35 = 64,3 \text{ m}\Omega$, iar rezistența buclei

B, C, D, E, F, G, H, J va fi $2 \times 64,3 = 129 \text{ m}\Omega$.

Curentul de defect va fi deci: $0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 10^3/129 = 2470 \text{ A}$.

■ Protecția prin siguranțe fuzibile

Curentul la pentru care siguranța fuzibilă funcționează trebuie ales astfel încât să asigure întreruperea circuitului în timpul specificat, folosind curbele de funcționare ale siguranțelor fuzibile descrise mai sus în **Fig. F15**.

Curentul indicat trebuie să fie semnificativ mai mic decât curentul de defect calculat pentru circuitul respectiv.

■ Protecția prin întreruptoare cu dispozitive de curent diferențial rezidual (RCCB)

În cazuri particulare, RCCB-urile sunt necesare. Astfel, protecția împotriva contactelor accidentale indirecte poate fi realizată utilizând un RCCB, pentru fiecare circuit.

Al doilea caz

Se referă la cazul în care părțile conductoare accesibile ale instalației sunt conectate la prize de pământ individuale sau atunci când instalația cuprinde grupuri de circuite conectate la prize de pământ individuale (câte o priză pentru fiecare grup).

Dacă părțile conductoare accesibile ale instalației sunt conectate la prize de pământ individuale, atunci este posibil ca al doilea defect să se producă între circuite sau grupuri de circuite diferite. În acest caz este necesară o protecție suplimentară celei descrise mai sus pentru cazul 1 și se referă la dispozitive de curent diferențial rezidual plasate împreună cu întreruptoarele care protejează fiecare circuit sau grup de circuite.

Motivul pentru această cerință este acela că prizele de pământ ale diferitelor grupuri sunt conectate prin intermediul pământului astfel încât scurtcircuitul bifazat va fi în general limitat la trecerea prin prizele de pământ de către rezistența acestor prize și

3 Protecția împotriva contactului indirect

deci protecția cu ajutorul dispozitivelor de protecție la supracurenți nu este posibilă. De aceea sunt necesare dispozitive de curent diferențial rezidual sensibile, dar curentul nominal al acestora trebuie, evident, să fie superior celui produs în cazul

Capacitatea de punere la pământ (μF)	Curentul la primul defect (A)
1	0,07
5	0,36
30	2,17

Nota: 1 μF reprezintă capacitatea față de pământ pentru un cablu cu patru conductoare având 1 km lungime.

Tab. F19: Corespondența dintre capacitatea de punere la pământ și curentul de scurgere la pământ în cazul primului defect.

primului defect (a se vedea **Tab. F19**).

În cazul unui al doilea defect care se petrece în interiorul unui grup de circuite având o priză de pământ comună, protecția la supracurent funcționează, așa cum s-a descris mai sus, pentru primul caz.

Nota 1: A se vedea capitolul G, subcapitolul 7.2, protecția conductorului neutru.

Nota 2: În instalațiile trifazate cu 4 conductoare protecția împotriva supracurenților în conductorul neutru este preferabil să se realizeze, uneori, cu ajutorul unui

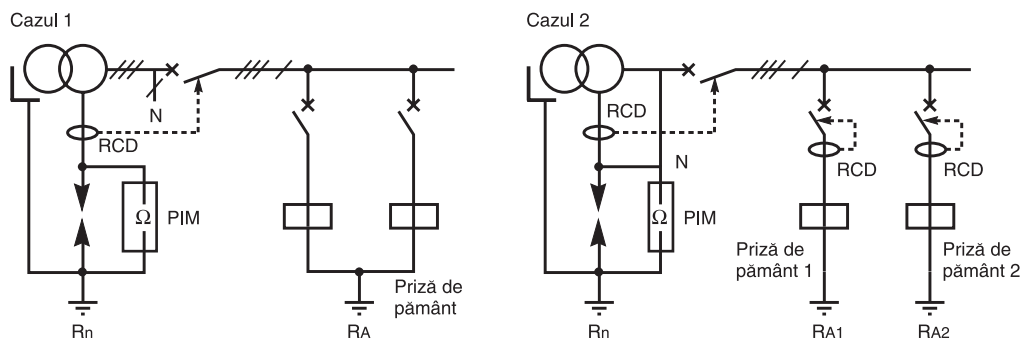


Fig. F20: Utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual în cazul în care părțile conductoare accesibile sunt conectate individual sau în grup la prizele de pământ, în cazul sistemelor IT.

transformator de curent de tip tor, instalat pe conductorul de neutru (vezi **Fig. F 20**).

3.5 Măsurile de protecție împotriva contactelor directe și indirecte fără deconectarea automată a sursei de alimentare

Utilizarea tensiunilor foarte joase de siguranță (TFJS)

TFJS se utilizează în situațiile în care funcționarea echipamentelor electrice implică riscuri serioase de accidente (bazine de înot, parcuri de distracții, etc.). Această măsură depinde de puterea sursei de alimentare la tensiune foarte joasă de la înfășurarea secundară a transformatoarelor de separație, special proiectate în conformitate cu standardele naționale sau internaționale (CEI 60742). Nivelul de ținere la impuls al izolației dintre înfășurările primară și secundară este foarte mare și/sau între înfășurări este uneori incorporat un ecran metalic împământat. Tensiunea în secundar nu depășește niciodată valoarea efectivă de 50 V.

Pentru o protecție corespunzătoare împotriva contactelor indirecte trebuie respectate în exploatare trei condiții:

- nici un conductor activ al circuitelor de TFJS nu trebuie conectat la prizele de pământ;
- părțile conductoare accesibile ale unei surse de foarte joasă tensiune nu trebuie conectate la prizele de pământ, sau la alte părți conductoare active interne sau exterioare;
- toate părțile conductoare active ale circuitelor de TFJS și ale altor circuite cu

Tensiunile foarte joase de siguranță sunt folosite în cazuri ce presupun riscuri crescute: bazine de înot, lămpi portabile sau alte echipamente portabile pentru uz exterior, etc.

3 Protecția împotriva contactului indirect

Aceste măsuri impun următoarele:

- circuitele de TFJS trebuie de obicei protejate prin tuburi dedicate exclusiv acestora cu excepția cazului în care au fost utilizate conductoare cu izolația compatibilă cu cea mai mare tensiune a celorlalte circuite din traseu;
- prizele aferente sistemelor de TFJS nu trebuie să aibă prin construcție borne de protecție și nu vor fi conectate la priza de pământ. Fișele și prizele din TFJS trebuie să fie de o formă specifică astfel încât să nu fie posibilă conectarea lor greșită la alte tensiuni.

Notă: În condiții normale, când TFJS este mai mică decât 25 V, sistemul nu necesită protecție împotriva contactelor directe accidentale. Cerințe speciale sunt indicate în capitolul P, subcapitolul 3: "Zone speciale".

Utilizarea tensiunilor foarte joase de protecție (TFJP) (vezi Fig. F21)

Această metodă se utilizează în general acolo unde se impun tensiuni foarte joase sau sunt preferate din motive de siguranță, altele decât în zonele de risc crescut menționate anterior. Conceptul este asemănător cel al TFJS, dar circuitul secundar este conectat la pământ într-un punct.

CEI 60364-4-41 definește, în mod precis, semnificația TFJP. Protecția împotriva contactelor directe accidentale este în general necesară, cu excepția cazului în care echipamentul se găsește într-o zonă cu legături echipotențiale, atunci când tensiunea nominală efectivă, nu depășește 25 V, iar echipamentul este utilizat, în mod normal în zone uscate în care nu sunt previzibile contacte directe pentru corpul omenesc. În toate celelalte cazuri, unde nu este prevăzută protecția împotriva contactului direct, tensiunea efectivă maximă admisă este de 6 V.

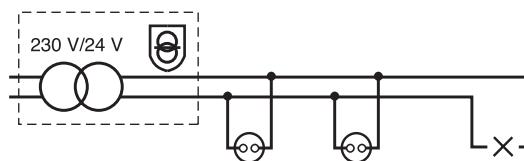


Fig. F21: Sursă de alimentare de foarte joasă tensiune, de la un transformator de separație.

Utilizarea tensiunilor foarte joase funcționale (TFJF)

Acolo unde, din motive funcționale, o tensiune de 50 V sau mai mică este utilizată, însă nu toate prevederile relative la TFJS sau TFJP sunt îndeplinite, trebuie luate în considerare măsuri adecvate prevăzute în CEI 60364-4-41 pentru a se asigura protecția împotriva atât a contactelor directe cât și a celor indirecte accidentale, în conformitate cu amplasarea și cu destinația acestor circuite.

Notă: Astfel de condiții ar putea fi întâlnite, spre exemplu, atunci când circuitele includ echipamente (precum transformatoare, rele, întreruptoare cu comandă la distanță, contactoare) insuficient izolate în raport cu circuitele cu tensiuni mai mari.

Separarea electrică a circuitelor (vezi Fig. F22)

Principiul separării electrice a circuitelor (în general circuite monofazate) din motive de siguranță, se bazează pe următoarele considerente.

Cele două conductoare de la înfășurarea secundară monofazată a unui transformator de separație sunt izolate față de pământ.

Dacă o persoană vine în contact direct cu unul dintre conductoare, un curent de valoare foarte mică va circula prin persoana respectivă, prin pământ și înapoi, la celălalt conductor, evident, prin capacitatea inerentă a celui conductor în raport cu pământul. Întrucât capacitatea conductorului în raport cu pământul este foarte mică, curentul este în general sub nivelul de percepție. Pe măsură ce lungimea circuitului crește, curentul generat de contactul direct va crește progresiv până la o valoare la care devine un șoc electric periculos.

Chiar dacă o lungime a circuitului mică exclude orice pericol din partea curentului capacitiv, o valoare scăzută a rezistenței de izolație în raport cu pământul poate determina un pericol, întrucât calea de curent pornește de la persoana care a produs contactul direct, prin pământ și apoi înapoi la celălalt conductor printr-o rezistență de izolație conductor-pământ scăzută. Din aceste motive lungimile relativ scăzute ale cablurilor bine izolate sunt esențiale în cazul sistemelor separate.

Transformatoarele sunt special proiectate pentru această funcțiune, cu un grad mărit al rezistenței de izolație dintre înfășurarea primară și cea secundară sau cu o protecție echivalentă precum cea a unui ecran metalic conectat la pământ între înfășurări. Construcția transformatorului este în conformitate cu clasa II de izolație standard.

F14

Se recomandă utilizarea separării electrice a circuitelor pentru cabluri de lungimi relativ mici și având nivele relativ ridicate ale rezistenței de izolație. Este preferabil să se utilizeze pentru cazuri individuale.

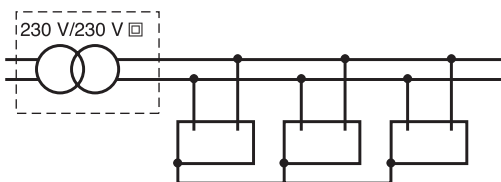


Fig. F22: Alimentare de siguranță printr-un transformator de separație de clasă II de izolație.

3 Protecția împotriva contactului indirect

Așa cum s-a indicat mai înainte, utilizarea corectă a acestui principiu implică următoarele:

- nici un conductor sau parte conductoare accesibilă din circuitul secundar să nu fie conectată la priza de pământ;
 - lungimea circuitelor din secundar trebuie să fie limitată pentru a evita valori mari ale capacității⁽¹⁾;
 - trebuie realizată o rezistență mare de izolație pentru cablaj și receptoare.
- Aceste condiții limitează aplicarea acestei măsuri de siguranță, în general, la un singur receptor.

În cazul în care mai multe receptoare sunt alimentate printr-un transformator de separație este necesar să se realizeze următoarele cerințe :

- părțile conductoare accesibile ale tuturor receptoarelor să fie conectate împreună printr-un conductor de protecție izolat, dar care nu este conectat la priza de pământ;
- prizele trebuie să fie prevăzute cu contact de protecție. Rolul acestui contact de protecție este acela de a asigura interconectarea tuturor părților conductoare accesibile.

În cazul unui al doilea defect protecția la supracurent trebuie să ducă la deconectarea automată a circuitului, în aceleași condiții ca cele impuse în cazul sistemelor IT.

Simbol:



Echipamentele de clasă II

Aceste aparate sunt cunoscute ca având "dublă izolație", întrucât în cazul echipamentelor de clasă II acestea sunt prevăzute pe lângă izolația de bază și cu o izolație suplimentară (vezi **Fig. 23**). Nici o parte conductoare a aparatelor de clasă II nu trebuie conectată la un conductor de protecție:

- cele mai multe dintre aparatele portabile sau semi-mobile, anumite corpuri de iluminat sau tipuri de transformatoare sunt proiectate pentru a avea dublă izolație. Este important să se aibă în vedere anumite reguli speciale de exploatare în cazul echipamentelor clasă II și să se verifice regulat dacă aceasta este menținută (dacă izolația exterioară nu s-a deteriorat, etc.). Aparatele electronice, radiourile, televizoarele au nivele de siguranță echivalente clasei II, dar nu sunt considerate aparate de clasă II.
- izolația suplimentară într-o instalație electrică: CEI 60364-4-41 (subcapit. 413-2) și anumite standarde naționale precum NFC15-100 (Franța) descriu detaliat măsurile necesare pentru a se realiza o izolație suplimentară în timpul lucrărilor de montaj aferente unei instalații electrice.

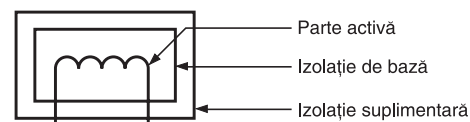


Fig. F23: Principiul nivelului de izolație de clasă II.

Un exemplu simplu este cel al introducerii unui cablu într-un tub protector de PVC. Metodele sunt de asemenea descrise și pentru cazul tablourilor de distribuție.

- pentru tablourile de distribuție și echipamente similare, CEI 60439-1 descrie un set de cerințe care realizează "izolația totală", echivalentă cu clasa II.
- multe standarde naționale reunesc anumite cabluri ca fiind echivalente clasei II de izolație.

În principiu protecția prin amplasarea părților conductoare în afara unor zone accesibile sau interpunerea de obstacole necesită utilizarea unei pardoseli izolante și, prin urmare nu este ușor de realizat.

Amplasarea în afara unor zone accesibile sau interpunerea de obstacole

Prin aceste mijloace este foarte puțin probabil să se atingă simultan o parte conductoare activă și o parte conductoare aflată la potențialul pământului (vezi **Fig. 24**). În practică, această măsură poate fi aplicată numai în zonele uscate și se implementează în conformitate cu următoarele cerințe:

- Pardoseala și pereții camerei trebuie să fie izolanți, de exemplu, rezistența de izolație față de pământ trebuie să fie:

- 50 kΩ (pentru instalații cu tensiuni ≤ 500 V),
- 100 kΩ (500 V < tensiunea în instalație ≤ 1000 V).

Rezistența de izolație este măsurată utilizând un instrument tip "megohmetru" (generator acționat manual sau un model electronic alimentat la baterie) între un electrod amplasat pe pardoseală sau pe perete și pământ (de exemplu cel mai apropiat conductor de protecție conectat la priza de pământ). Presiunea de contact la nivelul electrodului trebuie să fie, evident, aceeași la toate testele.

Fiecare furnizor de astfel de mijloace de măsurare furnizează electrozi adecvați fiecărui produs, deci trebuie avut grijă ca electrozii utilizați să fie cei furnizați împreună cu instrumentul de măsură.

(1) CEI 364-4-41 recomandă ca produsul dintre tensiunea nominală a circuitului în volți și lungimea în metri a întregului sistem de cablaj să nu depășească 100000, și ca lungimea totală a sistemului de cablaj să nu depășească 500 m.

3 Protecția împotriva contactului indirect

- Amplasarea echipamentelor și obstacolelor trebuie făcută astfel încât să nu fie posibil contactul simultan cu două părți conductoare accesibile ale instalației sau cu una conductoare accesibilă a instalației și una conductoare accesibilă externă;
- Nici un conductor de protecție accesibil nu trebuie amplasat în spațiul respectiv;
- Accesul în spațiul respectiv trebuie astfel realizat încât persoanele care intră să nu fie expuse riscurilor. De exemplu o persoană care se găsește pe o pardoseală conductoare în afara spațiului respectiv nu trebuie să aibă acces (prin ușă) la părți active conductoare precum, spre exemplu, întreruptorul de iluminat montat într-o cutie metalică de tip industrial.

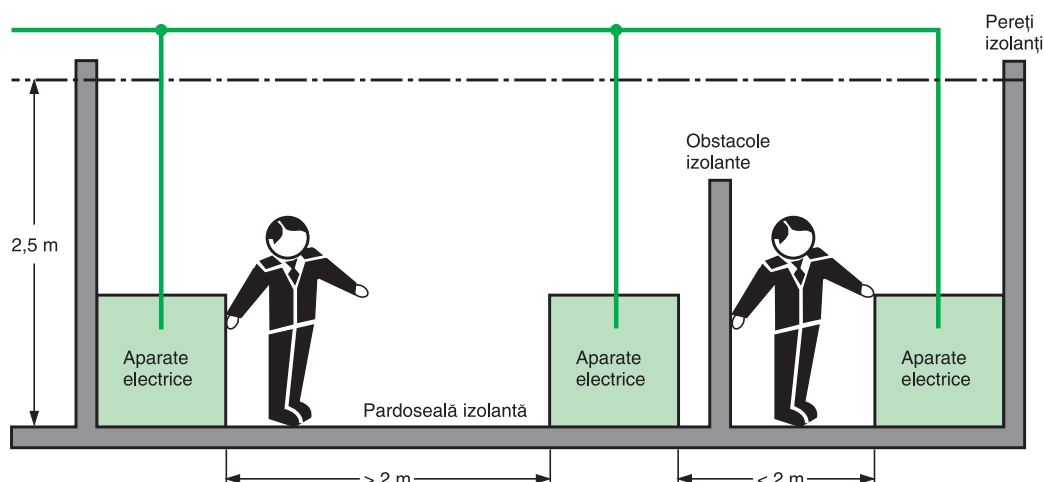


Fig. F24: Protecția prin amplasarea în afara unor zone accesibile sau întreruperea de obstacole.

Camerele echipotențiale izolate față de pământ sunt asociate cu instalații particulare (laboratoare, etc.) și generează anumite dificultăți în ceea ce privește proiectarea și execuția instalațiilor electrice.

Camere echipotențiale izolate față de pământ

În acest caz, toate părțile active accesibile, inclusiv podeaua⁽¹⁾ sunt conectate prin intermediul unui conductor de secțiune suficient de mare astfel încât să nu existe nici o diferență semnificativă de potențial între oricare două puncte. Deteriorarea izolației dintre un conductor activ și carcasa metalică a unui aparat va duce întreaga construcție (cușcă) la un potențial egal cu cel dintre fază și pământ, dar nici un curent electric de defect nu va circula. Însă, în aceste condiții, o persoană care intră în încăpere va fi supusă riscului întrucât va pași pe o podea aflată sub tensiune. Prin urmare, vor trebui luate măsuri speciale de protecție a persoanelor (ex.: podea izolantă la intrări, etc.). De asemenea, vor trebui utilizate echipamente speciale pentru controlul izolației în absența unui curent de defect semnificativ.

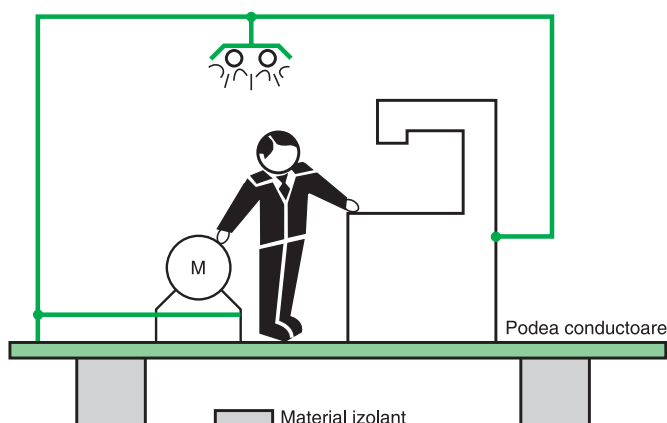


Fig. F25: Legături echipotențiale pentru toate părțile conductoare simultan accesibile.

(1) Părțile conductoare externe instalației care pătrund sau ies în/din spațiul echipotențial (precum țevile de apă, etc.) trebuie protejate în materiale adecvate izolante și excluse din rețeaua de echipotențialitate întrucât acestea sunt, probabil, legate la un conductor de protecție (legat la pământ în altă zonă a instalației).

4 Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație

Dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt echipamente destinate efectiv asigurării protecției împotriva riscului de incendiu datorat unor defecte de izolație, deoarece acestea pot detecta scurgeri de curent către pământ (ex.: 300 mA), care sunt destul de mici pentru a nu putea fi detectate de către alte protecții, dar suficient de mari pentru a produce incendii.

4.1 Măsurile de protecție împotriva riscului de incendiu cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Residual Current Devices)

Dispozitivele de protecție de curent diferențial rezidual (RCD) sunt echipamente destinate efectiv asigurării protecției împotriva riscului de incendiu datorat unor defecte de izolație. Acest tip de curent de defect este de fapt prea mic pentru a fi detectat de alte protecții (la supracurenți).

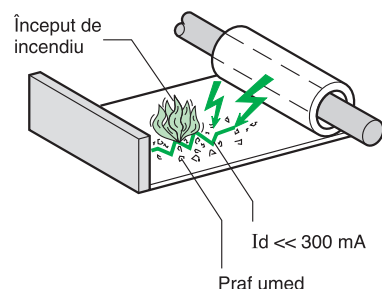
Pentru sistemele TT, IT, TN-S în care scurgerile de curent către pământ pot apărea, utilizarea unor dispozitive de protecție împotriva curentului rezidual cu sensibilitatea de 300 mA asigură o bună protecție împotriva riscului de incendiu produs de un astfel de defect.

Diferite investigații au arătat faptul că pierderile în cazul producerii unor incendii în clădiri industriale și din sectorul terțiar pot fi foarte mari.

Analiza acestui fenomen a arătat faptul că riscul de incendiu este legat de supraîncălzirea datorată unei coordonări necorespunzătoare dintre valoarea maximă admisă a curentului prin cablu (sau prin conductorul izolat) și pragul protecției la supracurent.

Supraîncălzirea se poate datora, de asemenea, modificărilor produse instalației inițiale (ex.: pozarea suplimentară de cabluri pe același suport).

Supraîncălzirea poate fi cauza producerii arcului electric în mediile umede. Aceste arcuri se dezvoltă atunci când există un defect de izolație și dacă impedanța buclei de defect este mai mare decât $0,6 \Omega$. Anumite teste arată faptul că un curent de defect de 300 mA poate induce un risc real de incendiu (vezi Fig. F26).



Anumite teste au arătat faptul că o scurgere foarte mică de curent (câțiva mA) se poate dezvolta și, de la 300 mA poate induce un incendiu în medii umede și în prezența prafului.

Fig. F26: Originea incendiilor în clădiri.

4.2 Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP - Ground Fault Protection)

Diferite tipuri de protecții împotriva punerilor la pământ (vezi Fig. F27)

În funcție de tipul dispozitivului de măsurare a curentului de scurgere la pământ, există trei tipuri de protecții GFP:

■ "Residual Sensing" RS - senzori reziduali

Curentul de defect de izolație este calculat utilizând suma vectorială a curenților din secundarele transformatoarelor de curent. Transformatorul de curent de pe conductorul neutru este deseori în afara întreruptorului automat.

■ "Source Ground Return" SGR - măsura curentului de întoarcere prin pământ către sursă

Curentul de defect de izolație este măsurat pe legătura dintre punctul neutru al transformatorului de joasă tensiune și pământ. Transformatorul de curent este în afara întreruptorului automat.

■ "Zero Sequence" ZS - măsura curentului de secvență homopolară

Defectul de izolație este măsurat direct cu ajutorul unui transformator de curent toroidal, care face suma curenților din conductoarele active. Acest tip de protecție împotriva punerilor la pământ este utilizat numai la valori mici ale curenților de defect.

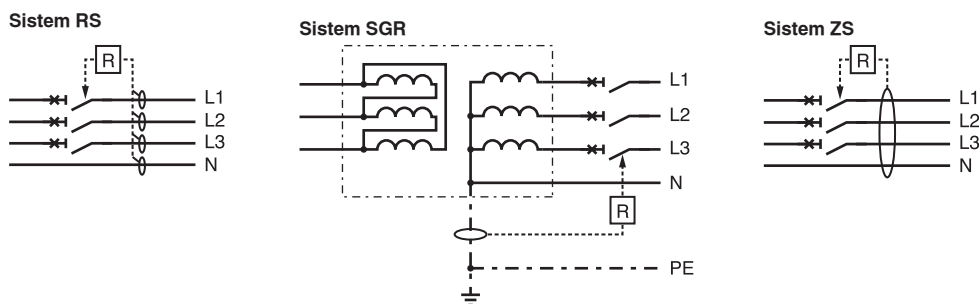


Fig. F27: Diferite tipuri de protecție împotriva punerilor la pământ.

4 Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație

Utilizarea în instalație a dispozitivelor GFP - Groung Fault Protection

Tipul/nivelul instalației	Distribuția principală	Distribuție secundară	Observații
Source Ground Return (SGR)	<input type="checkbox"/>		Utilizat
Residual Sensing (RS)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Utilizat des
Zero Sequence (ZS)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Utilizat rar

- ☐ Posibil.
☒ Recomandat sau impus.

5.1 Măsurile de protecție

Protecția împotriva contactului indirect

Cazul general

Protecția împotriva contactelor indirecte este asigurată prin utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual - RCD, ale căror praguri de sensibilitate $I_{\Delta n}$ îndeplinesc

$$\text{condiția } I_{\Delta n} \leq \frac{50 \text{ V}^{(1)}}{R_A}$$

Alegerea pragului de sensibilitate a dispozitivelor de curent diferențial rezidual se face în funcție de rezistența R_A a prizei de pământ a instalației și este dată în **Tab. F28**.

Cazul circuitelor de distribuție (vezi Fig. F29)

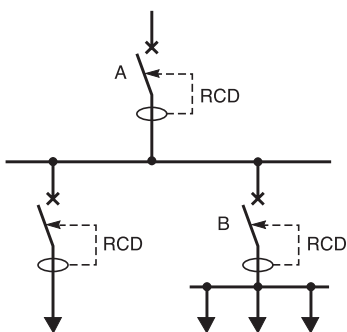


Fig. F29: Circuite de distribuție.

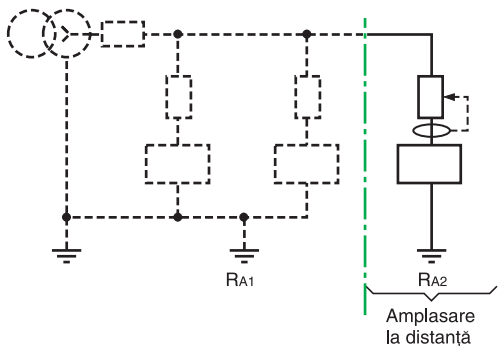


Fig. F30: Prize de pământ separate.

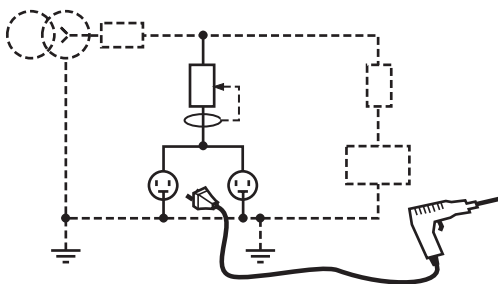


Fig. F31: Circuite care alimentează prize.

$I_{\Delta n}$	Rezistența maximă a prizei de pământ	
	(50 V)	(25 V)
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1666 Ω	833 Ω

Tab. F28: Valorile limită superioare pentru rezistențele prizei de pământ, care nu trebuie depășite, pentru nivele date ale sensibilității dispozitivelor de curent diferențial rezidual, la tensiuni U_L de 50 V și 25 V.

Standardul CEI 60364-4-41 și anumite standarde naționale admit un timp maxim de declanșare de 1 sec. în cazul circuitelor de distribuție (spre deosebire de circuitele de distribuție finală). Aceasta permite obținerea unui anumit grad de selectivitate:

- la nivelul A: temporizare la declanșare a dispozitivului de curent diferențial rezidual, ex.: tipul "S";
- la nivelul B: declanșare instantanee a dispozitivului de curent diferențial rezidual.

Cazul în care părțile active accesibile ale aparatelor sau grupurilor de aparate sunt conectate la prize de pământ independente (vezi Fig. F30)

Protecția împotriva contactelor indirecte este realizată cu ajutorul dispozitivului de curent diferențial rezidual amplasat la nivelul întreruptorului care protejează fiecare aparat sau grup de aparate conectate la prize de pământ separate. Sensibilitatea fiecărui astfel de dispozitiv trebuie să fie compatibilă cu rezistența de dispersie a prizei de pământ la care este conectat aparatul respectiv.

Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (vezi Fig. F31)

Standardul CEI 60364-4-41 recomandă utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate ($\leq 30 \text{ mA}$) pentru protecția circuitelor de prize având un curent nominal $\leq 20 \text{ A}$, în toate cazurile.

Utilizarea unor astfel de RCD este recomandată de asemenea, în următoarele situații:

- circuite de priză amplasate în zonele umede, pentru orice valoare a curentului nominal;
- circuite de priză amplasate temporar în anumite zone;
- circuite care alimentează incinte pentru spălătorii sau bazine de înot;
- circuite care alimentează organizări de șantier, rulote, bărci de agrement, târguri mobile.

A se vedea 2.2 și capitolul P, secțiunea 3.

(1) La organizări de șantier, clădiri din mediul agricol, etc., se utilizează tensiunea limită de 25 V.

Cazul zonelor cu risc crescut de incendiu (vezi Fig. 32)

Protecția cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD) la nivelul fiecărui întreruptor este absolut necesară în zonele cu risc și chiar obligatorie în anumite țări.

Sensibilitatea lor trebuie să fie ≤ 500 mA, dar pentru protecția împotriva riscului de incendiu este recomandată o sensibilitate de 300 mA.

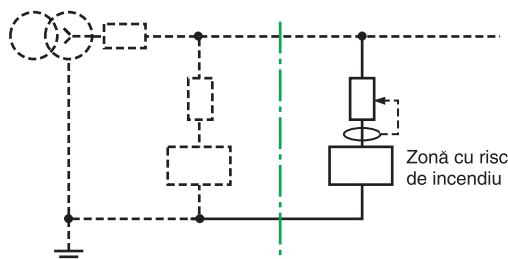


Fig. F32: Zonă cu risc de incendiu.

F20

Protecția în cazul în care părțile conductoare accesibile nu sunt conectate la priza de pământ (vezi Fig. 33)

(În cazuri de instalații existente amplasate în zone uscate și în care nu este posibilă realizarea unei prize de pământ sau dacă conductorul de protecție s-a deteriorat). Dispozitivele de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (≤ 30 mA) asigură pe de o parte protecția împotriva contactelor indirecte accidentale dar, de asemenea, reprezintă și o măsură suplimentară de protecție împotriva pericolului de producere a contactelor directe.

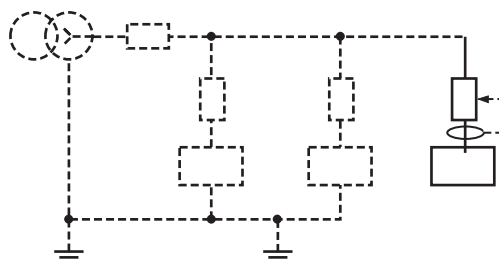


Fig. F33: Părți conductoare accesibile neconectate la priza de pământ (A).

5.2 Tipuri de dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

Dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt, în mod uzual, încorporate sau asociate următoarelor:

- întreruptoarelor automate în carcasă turnată de tip industrial (MCCB) în conformitate cu CEI 60947-2 și anexelor B și M;
- întreruptoarelor automate miniatură de tip industrial (MCB) în conformitate cu CEI 60947-2 și anexelor B și M;
- întreruptoarelor automate miniatură pentru uz casnic sau similar (MCB) în conformitate cu CEI 60898, CEI 61008, CEI 61009;
- separatoarelor de sarcină în conformitate cu standardele naționale;
- releelor cu transformatoare de curent toroidale separate (de tip inel), în conformitate cu CEI 60947-2, Anexa M.

5 Implementarea sistemului TT

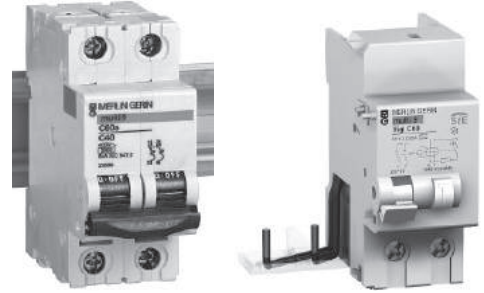
Întreruptoarele automate de tip industrial cu module de curent diferențial rezidual integrate sunt în conformitate cu standardul CEI 60947-2 și cu anexa B.

Dispozitivele de curent diferențial rezidual (RCD) sunt obligatoriu de utilizat în cazul instalațiilor proiectate în sistemul TT, acolo unde capacitatea lor de a obține selectivitate cu alte dispozitive de curent diferențial rezidual permit declanșări temporizate, asigurându-se astfel, un nivel ridicat de continuitate în serviciu.

Întreruptoare automate de tip industrial cu dispozitive de curent diferențial rezidual integrate sau atașabile (vezi Fig. 34)



Întreruptoarele automate de tip industrial Vigi Compact.



Întreruptoarele automate de tip industrial tip Multi 9, cu modul de curent diferențial rezidual, Vigi, atașat.

Fig. F34: Întreruptoare de tip industrial cu module de protecție împotriva curentului rezidual.

Miniîntreruptoarele automate pentru uz casnic sau similar cu module de protecție împotriva curentului rezidual integrate sunt în conformitate cu CEI 60898, CEI 61008 și CEI 61009.

Întreruptoarele automate cu montaj pe sina DIN (ex. Compact sau Multi 9) pot fi asociate cu dispozitive de curent diferențial rezidual (ex. Blocuri Vigi). Ansamblul asigură, astfel, funcții complete de protecție (separare, protecție împotriva curenților de scurtcircuit, suprasarcină și curenți de defect la pământ).

Miniîntreruptoare cu RCD pentru utilizări casnice (vezi Fig. F35)



Întreruptorul automat de protecție de la intrarea unui circuit poate avea dispozitiv de curent diferențial rezidual integrat cu caracteristici de temporizare (tip S).



Sistemul monobloc, întreruptor automat cu bloc Vigi integrat pentru protecția circuitelor de priză pentru aplicațiile din sectorul casnic și terțiar.

Fig. F35: Întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferențial rezidual pentru aplicațiile din sectorul casnic.

Separatoarele de sarcină cu dispozitive de curent diferențial rezidual sunt în conformitate cu standarde naționale particulare. Dispozitivele de curent diferențial rezidual cu transformatoare de curent toroidale separate sunt în conformitate cu CEI 60947-2 anexa M.

Întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferențial rezidual realizate cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate (vezi Fig. F37)

Dispozitivul de curent diferențial rezidual realizat cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate poate fi asociat cu întreruptoare sau cu contactoare.



Fig. F37: Dispozitiv de curent diferențial rezidual (RCD) realizat cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate.

F22

5.3 Coordonarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual

Coordonarea RCD-urilor din punctul de vedere al selectivității declanșărilor se realizează fie prin temporizările declanșărilor, fie prin divizarea circuitelor care sunt protejate individual sau în grup, sau prin combinarea celor două metode. Astfel, selectivitatea evită declanșarea oricărui dispozitiv de curent diferențial rezidual, altul decât cel aflat imediat în amonte de locul producerii defectului:

■ cu dispozitivele disponibile în mod curent, este posibil să se realizeze selectivitatea până la trei sau patru nivele de distribuție:

- la nivelul tabloului general de distribuție,
- la nivelul tabloului intermediar de distribuție,
- la nivelul tablourile secundare,
- la nivelul prizelor, pentru protecția fiecărui aparat;

■ în general, la tablourile de distribuție (și la cele secundare, dacă există) și la nivelul protecției individuale a fiecărui aparat, dispozitivele pentru deconectarea automată în cazul contactului indirect accidental sunt instalate împreună cu protecția suplimentară împotriva contactelor directe accidentale.

Selectivitatea între RCD-uri

Recomandările generale referitoare la modul în care se poate obține selectivitatea între două dispozitive de curent diferențial rezidual sunt următoarele:

- raportul dintre pragurile nominale de declanșare ale dispozitivelor din amonte și aval > 2 ;
- temporizarea declanșării RCD-ului din amonte.

Selectivitatea se obține prin utilizarea câtorva valori standardizate de sensibilitate: 30 mA, 100 mA, 300 mA și 1 A și a unor temporizări ale declanșării așa cum se arată în Fig. F38.

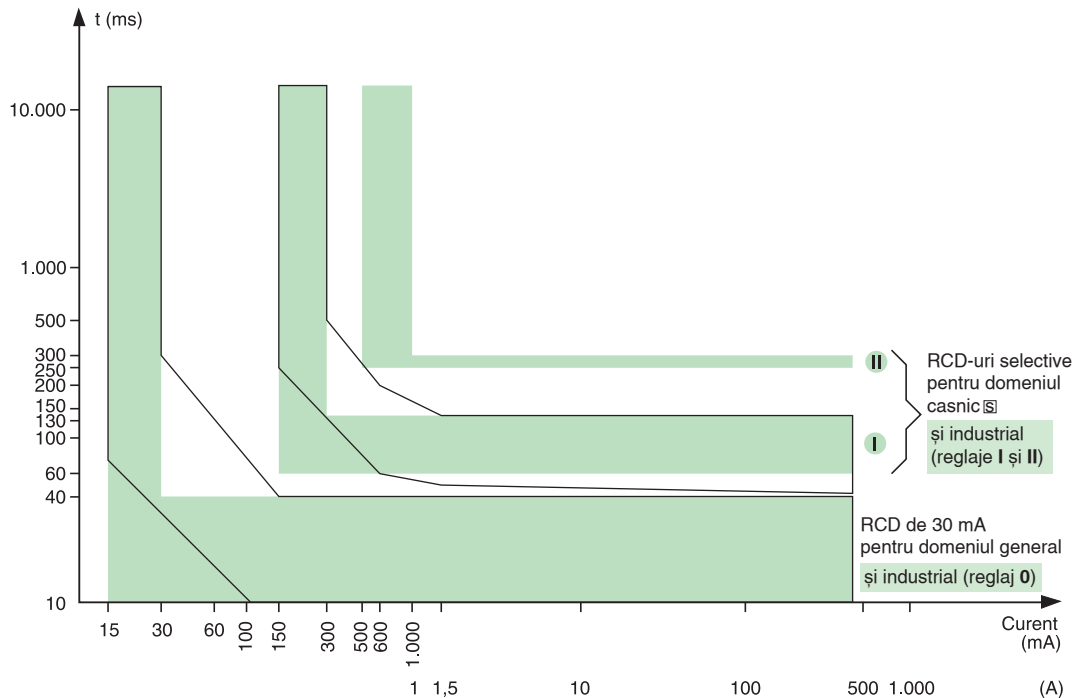


Fig. F38: Selectivitatea totală pentru două nivele.

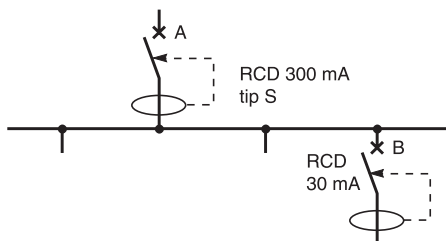


Fig. F39: Selectivitatea totală pentru două nivele.

Selectivitatea între două nivele (vezi Fig. F39)

Protecția

- Nivelul A: RCD temporizat reglat la I (pentru dispozitivele industriale) sau tipul S (pentru domeniul casnic) pentru protecție împotriva contactelor indirecte;
- Nivelul B: RCD instantaneu, de mare sensibilitate pe circuite alimentând prize sau aparate de mare risc (mașini de spălat, etc. A se vedea, de asemenea, capitolul P, subcapitolul 3).

Soluțiile Schneider Electric

- Nivelul A: întreruptoare Compact sau Multi 9 cu dispozitive de curent diferențial rezidual respective (Vigi NS160 sau Vigi NC100) cu reglaj tip I sau S;
- Nivelul B: întreruptoare cu module RCD integrate (DPN Vigi) sau atașabile (ex. Vigi C60).

Notă: Reglajul dispozitivului de curent diferențial rezidual din amonte trebuie să fie în conformitate cu regulile de selectivitate și să țină cont de toți curenții reziduali din aval.

Selectivitatea la 3 sau 4 nivele (vezi Fig. F40)

Protecția

- Nivelul A: RCD temporizat (reglaj III);
- Nivelul B: RCD temporizat (reglaj II);
- Nivelul C: RCD temporizat (reglaj I) sau tip S;
- Nivelul D: RCD instantaneu.

Soluțiile Schneider Electric

- Nivelul A: întreruptor asociat cu un dispozitiv de curent diferențial rezidual cu transformator toroidal (Vigirex RH54A);
- Nivelul B: Vigicomact sau Vigirex;
- Nivelul C: Vigirex, Vigicomact sau Vigi C60;
- Nivelul D:
 - Vigicomact, sau
 - Vigirex, sau
 - Multi 9 cu RCD integrat sau cu modul atașat: DPN Vigi sau Vigi C60.

Notă: Reglajul dispozitivului de curent diferențial rezidual din amonte trebuie să fie în conformitate cu regulile de selectivitate și să țină cont de toți curenții reziduali din aval.

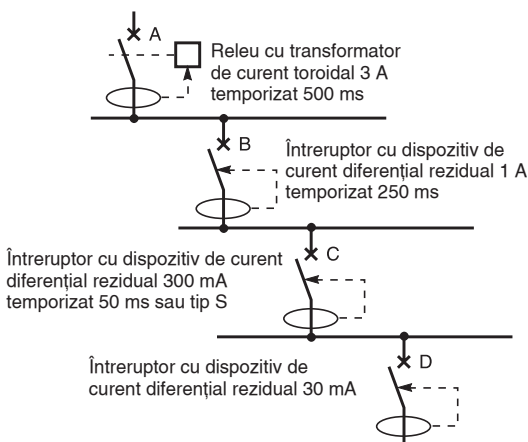


Fig. F40: Selectivitatea totală pe 3 sau 4 nivele.

Selectivitatea protecției pe trei nivele (vezi Fig. F41)

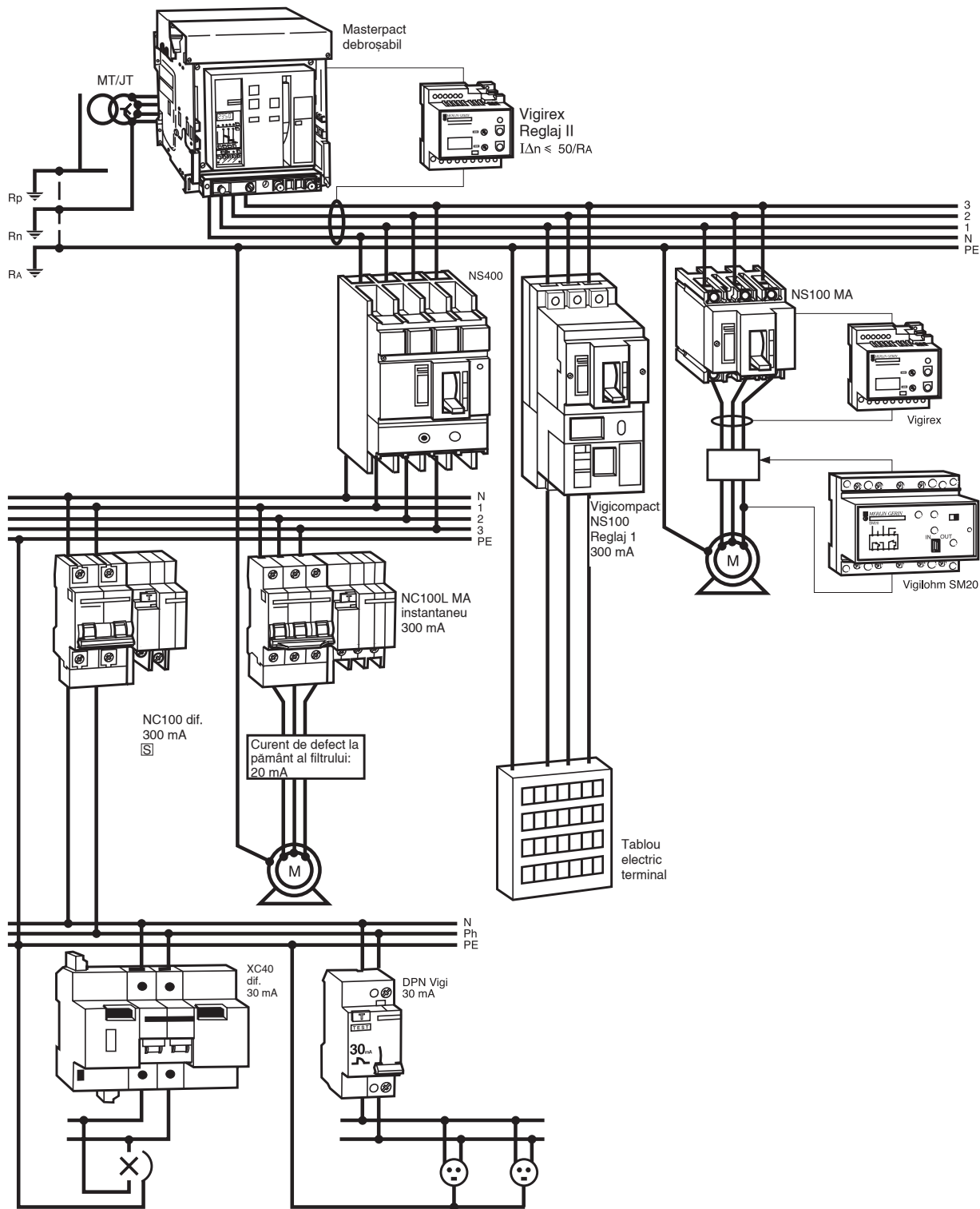


Fig. F41: Instalație tipică pe 3 nivele: protecția circuitelor de distribuție în sistemul TT. Motorul este protejat printr-o protecție specifică.

6 Implementarea sistemului TN

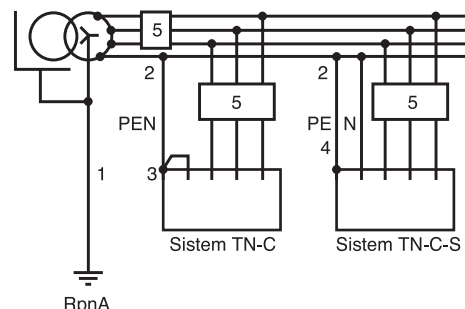
6.1 Condiții preliminare

La faza de proiectare trebuie luate în calcul lungimile maxime ale cablurilor în aval de întreruptoare sau fuzibile, în timp ce, în practică, la execuția instalațiilor electrice trebuie respectate, în mod riguros, anumite reguli.

Anumite condiții trebuie respectate, așa cum se indică mai jos și sunt ilustrate în **Fig. F42**.

1. Conductorul de protecție PE trebuie conectat la priza de pământ cât de bine posibil.
2. Conductorul de protecție PE nu trebuie să treacă prin conducte fero-magnetice, tubulaturi, etc. sau să fie pozat pe suprafețe de oțel, întrucât anumite efecte inductive și/sau de vecinătate pot conduce la o creștere a impedanței efective a acestuia.
3. În cazul conductorului PEN (conductorul de nul de lucru este utilizat de asemenea, și în calitate de nul de protecție), conexiunea trebuie făcută direct la borna de împământare a aparatului (vezi **Fig. F42**) înainte de a fi conectat și la borna de neutru a acestuia.
4. Pentru conductoarele de cupru $\leq 6\text{mm}^2$ și de aluminiu $\leq 10\text{mm}^2$ sau acolo unde cablul este mobil, nulurile de lucru și de protecție trebuie separate (ex.: în acest caz trebuie adoptat sistemul TN-S).
5. Defectele de punere la pământ trebuie eliminate de către dispozitivele de protecție la supracurenți, de exemplu: întreruptoare sau fuzibile.

Lista anterioară indică condițiile care trebuie respectate în implementarea schemei TN pentru protecția împotriva contactelor indirecte.



Note:

- Schema TN impune ca neutrul transformatorului MT/JT, părțile accesibile conductoare interioare și exterioare ale postului de transformare și ale instalației să fie conectate la o priză de pământ comună;
- Pentru un post de transformare la care contorizarea se face pe joasă tensiune, se impune utilizarea unui mijloc de separație vizibilă la începutul zonei de joasă tensiune;
- Conductorul PEN nu poate fi întrerupt în nici o situație. Echipamentele de comandă și protecție posibil de utilizat în sistemele TN sunt:
 - tripolare atunci când circuitele prezintă conductor PEN,
 - tetrapolar (tripolar + neutru), atunci când circuitul are nulul de lucru separat de cel de protecție.

Fig. F42: Implementarea sistemului TN de tratare a neutrului.

6.2 Protecția împotriva contactelor indirecte

Metode de determinare a curenților de scurtcircuit

În sistemele TN, un scurtcircuit la pământ determină, de obicei, un curent suficient de mare pentru ca dispozitivul de protecție la supracurenți să declanșeze. Impedanțele sursei și ale rețelei din amonte sunt mult mai mici decât cele ale circuitelor din instalație, astfel încât orice limitare a curentului de punere la pământ va fi determinată de conductoarele din instalație (conductoarele lungi și flexibile măresc în mare proporție impedanța buclei de defect, ceea ce determină o reducere a curentului de scurtcircuit).

Cele mai recente recomandări ale CEl pentru protecția împotriva contactelor indirecte în sistemele TN se referă la timpii maximi de declanșare admiși în raport cu tensiunea nominală a sistemului (vezi **Fig. F12**, subcapitolul 3.3).

Trei metode de calcul sunt utilizate în mod uzual:

- metoda impedanțelor, bazată pe suma trigonometrică a sistemului de rezistențe și reactanțe inductive;
- metoda de compunere;
- metoda convențională bazată pe o valoare prezumată a căderii de tensiune și pe utilizarea de tabele.

Pentru realizarea calculelor, metodele moderne agreează utilizarea programelor speciale de calcul acceptate de autoritățile naționale în domeniu și bazate pe metoda impedanțelor, așa cum este ECODIAL 3. Autoritățile naționale, publică, de asemenea, ghiduri care includ valori tipice, lungimi de conductoare, etc.

Justificarea acestor recomandări este aceea că, în sistemele TN, curentul de defect care trebuie să circule pentru a ridica potențialul părților conductoare accesibile la 50 V sau mai mult, este atât de mare încât poate avea loc una din următoarele două posibilități:

- sau calea de defect se topește singură, practic instantaneu;
- sau conductorul "se sudează" creând un defect net, conducând astfel la o valoare a curentului de defect care să determine declanșarea dispozitivelor de protecție la supracurenți.

Pentru a se asigura o funcționare optimă a dispozitivelor de protecție la supracurenți în ultimul caz, valoarea prezumată a curentului de scurtcircuit cu punere la pământ trebuie calculată cu o precizie rezonabilă încă din faza de proiectare.

O analiză riguroasă necesită utilizarea tehnicilor de descompunere în componente simetrice, pe rând, pentru fiecare circuit. Principiul este simplu dar cantitatea de calcule este greu de justificat, în special pentru impedanțele homopolare care sunt extrem de greu de determinat cu o precizie acceptabilă, în instalațiile de joasă tensiune.

Sunt preferate, prin urmare, alte metode, mai simple, de precizie acceptabilă. Cele trei metode practice sunt:

- **Metoda impedanțelor**, bazată pe suma tuturor impedanțelor buclei de defect (numai de secvența directă), pentru fiecare circuit.

- **Metoda de compunere** care este o estimare a curentului de scurtcircuit la capătul circuitului dinspre sarcină bazată pe cunoașterea valorii curentului de scurtcircuit la capătul circuitului spre sarcină.

- **Metoda convențională** de calcul a valorii minime a curentului de punere la pământ prin utilizarea tabelor de valori pentru obținerea rapidă de rezultate. Aceste metode pot fi utilizate în cazul în care cablurile care alcătuiesc bucla de defect sunt alăturate și nu sunt separate prin materiale fero-magnetice.

Metoda impedanțelor

Această metodă are la bază însumarea impedanțelor de secvență directă ale fiecărei componente a buclei de defect (cabluri, conductor de protecție, transformator, etc.) unde este calculat curentul de scurtcircuit de punere la pământ cu ajutorul formulei:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}}$$

unde:

$(\sum R)^2$ = (suma rezistențelor buclei de defect)² în faza de proiectare

$(\sum X)^2$ = (suma reactanțelor inductive ale buclei de defect)²

U = tensiunea nominală fază-nul a sistemului.

Aplicarea acestei metode nu este totdeauna ușoară, deoarece presupune cunoașterea tuturor parametrilor și caracteristicilor elementelor buclei de defect. În multe cazuri, ghidurile naționale pot furniza valori tipice în scopul estimării unei valori aproximative.

Metoda de compunere

Această metodă permite calcularea curentului de scurtcircuit la capătul circuitului pornind de la valoarea cunoscută a curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sursă, cu ajutorul formulei aproximative:

$$I = I_{sc} \frac{U}{U + Z_s \cdot I_{sc}}$$

unde

I_{sc} = valoarea curentului de scurtcircuit din amonte

I = valoarea curentului de scurtcircuit din aval

U = tensiunea de fază a sistemului

Z_s = impedanța circuitului.

Notă: Această metodă utilizează suma aritmetică⁽¹⁾ a impedanțelor individuale, spre deosebire de cazul "metodei impedanțelor".

Metoda convențională

Această metodă se consideră a fi suficient de precisă pentru a stabili valorile maxime pentru lungimile cablurilor.

Principiu metodei

Principiul de bază în calculul curentului de scurtcircuit este presupunerea că valoarea tensiunii la capătul din amonte al circuitului respectiv (de exemplu: acolo unde este amplasat dispozitivul de protecție) rămâne cca. 80% din valoarea nominală a tensiunii de fază. Această valoare de 80% din valoarea nominală a tensiunii de fază împreună cu impedanța circuitului este utilizată pentru calculul curentului de scurtcircuit.

⁽¹⁾ În acest fel, valoarea calculată a curentului de scurtcircuit va fi mai mică decât cea reală. Dacă reglajul la supracurent al dispozitivului de protecție se bazează pe această valoare, atunci funcționarea releului de protecție sau a fuzibilului este asigurată.

6 Implementarea sistemului TN

Lungimea maximă a oricărui circuit în instalațiile având sistemul TN este:

$$\frac{0,8 U_o S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

Următoarele tabele dau lungimile maxime care trebuie respectate pentru ca persoanele să fie protejate împotriva riscului de contact indirect, de către dispozitivele de protecție.

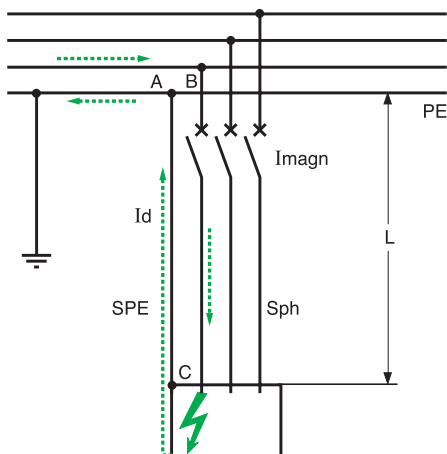


Fig. F43: Calculul L_{max} în sistemul TN utilizând metoda convențională.

Acest coeficient ține cont de toate căderile de tensiune din amonte până la punctul considerat. În cazul cablurilor de joasă tensiune, când toate conductoarele sistemului trifazat - 4 conductoare sunt învecinate (ceea ce reprezintă cazul normal), reactanța inductivă internă și între conductoare este neglijabilă în comparație cu rezistența cablului.

Această aproximare este considerată corectă pentru cabluri până la 120 mm². Peste această secțiune, rezistența crește în felul următor:

Secțiunea cablului (mm ²)	Valoarea rezistenței
S = 150 mm ²	R + 15%
S = 185 mm ²	R + 20%
S = 240 mm ²	R + 25%

Lungimea maximă a unui circuit în sistemul TN este dată de formula:

$$L_{max} = \frac{0,8 U_o S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

unde:

L_{max} = lungimea maximă, în metri

U_o = tensiunea de fază, în volți = 230 V pentru sistemul 230/400 V

ρ = rezistivitatea în condiții normale de temperatură în funcționare, în $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$ (= 22,5 x 10⁻³ pentru cupru; = 36 x 10⁻³ pentru aluminiu)

I_a = reglajul protecției pentru declanșarea instantanee a întreruptorului sau curentul care asigură funcționarea fuzibilului respectiv, în timpul specificat.

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{pe}}$$

S_{ph} = secțiunea conductorului de fază a circuitului considerat, în mm²

S_{pe} = secțiunea conductorului de protecție a circuitului considerat, în mm².

(vezi Fig. F43).

Tabele

Tabelele următoare ce sunt aplicabile în cazul sistemelor TN, au fost construite pe baza "metodei convenționale" descrise mai sus.

Tabelele stabilesc lungimile maxime ale circuitelor, dincolo de care rezistența conductoarelor limitează valoarea curentului de scurtcircuit până la un nivel inferior celui care determină declanșarea întreruptorului (sau funcționarea fuzibilului) care protejează circuitul, suficient de rapid pentru a se asigura protecția împotriva contactului indirect.

Factorul de corecție m

Tabelul F44 indică factorul de corecție care trebuie aplicat valorilor date în **Tabelele** de la **F45** până la **F48**, în funcție de raportul S_{ph}/S_{pe} , de tipul de circuit și de materialul conductorului.

Tabelele iau în considerare:

- tipul de protecție: întreruptor sau fuzibil;
- reglajul protecției;
- secțiunile conductoarelor de fază și de protecție;
- sistemul de tratare al neutrlui (vezi Fig. F49 de la pag. F29);
- curba de declanșare a întreruptorului (ex.: B, C sau D).

Tabelele pot fi utilizate pentru sistemele 230/400 V.

Tabele echivalente pentru protecție cu ajutorul Compact NS și Multi 9 (Merlin Gerin) sunt incluse în cataloagele de produs.

Circuit	Material conductor	m = S _{ph} /S _{pe} (sau PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N sau P + N	Cupru	1	0,67	0,50	0,40
	Aluminiu	0,62	0,42	0,31	0,25

Tab. F44: Factor de corecție de aplicat lungimilor date în tabelele de la F45 la F48 în sistemul TN.

Circuite protejate prin întreruptoare automate de uz general (Tab. F45)

Secțiunea nominală a conductoarelor	Reglajul de declanșare instantanee sau temporizată de scurtă durată I _m (A)																														
	mm ²	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4												
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	5	4										
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4								
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5	4						
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4				
16				427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4			
25					417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7				
35						467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9				
50							495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13				
70								417	370	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19						
95									452	396	362	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25							
120										457	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32								
150											435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35								
185												459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41								
240																400	320	256	200	160	128	102	80	64	51						

Tab. F45: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și reglaje de declanșare instantanee pentru întreruptoare de uz general în sistemul TN, 230/400 V cu m = 1.

Circuite protejate prin Compact NS⁽¹⁾ sau Multi 9⁽¹⁾ pentru uz industrial sau casnic (Tab.46 până la Tab.48)

Sph	Curent nominal (A)															
mm²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	1200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
2,5		1000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16
4			1066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26
6				1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
10						800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64
16							800	640	512	400	320	256	203	160	128	102
25									800	625	500	400	317	250	200	160
35										875	700	560	444	350	280	224
50												760	603	475	380	304

Tab. F46: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă B⁽²⁾ în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu m = 1.

Sph	Curent nominal (A)															
mm²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5
2,5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19
10					667	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80
35							875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50									760	594	475	380	301	237	190	152

Tab. F47: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă C⁽²⁾ în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu m = 1.

(1) Produse marca Merlin Gerin.

(2) Pentru definiția protecției întreruptoarelor automate "curbă B" și "curbă C" se va consulta capitolul H, subcapitolul 4.2.

Sph	Curent nominal (A)															
mm ²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2,5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	80	46	36	29	23	18	14	11	9
6		857	571	429	286	171	107	120	69	54	43	34	27	21	17	14
10			952	714	476	286	179	200	114	89	71	57	45	36	29	23
16					762	457	286	320	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	500	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	700	400	313	250	200	159	125	80	100
50								848	543	424	339	271	215	170	136	109

Tab. F48: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă D⁽¹⁾ în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu $m = 1$.

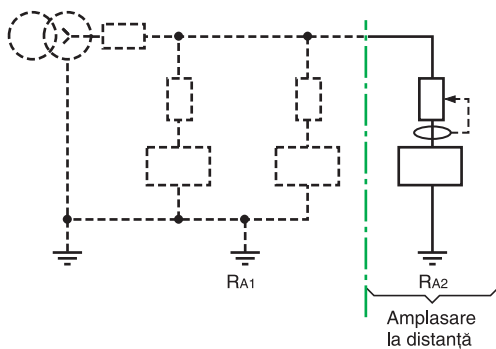


Fig. F49: Prize de pământ separate.

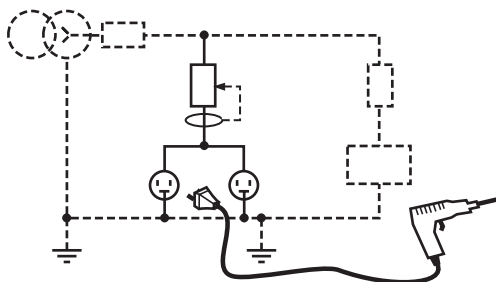


Fig. F50: Circuit de alimentare pentru prize.

Exemplu

O instalație trifazată cu 4 conductoare are neutrul tratat în sistemul TN-C. Un circuit realizat dintr-un cablu din aluminiu având conductorul de fază cu secțiunea de 50 mm² și PEN de 25 mm² este protejat printr-un întreruptor automat curbă B, având calibrul nominal de 63 A.

Care este lungimea maximă a circuitului până la care protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale este asigurată prin funcționarea releului magnetic instantaneu al întreruptorului automat?

Tabelul F46 dă, pentru 50 mm² și întreruptor 63 A, curbă B, 603 m, căreia i se aplică un factor de corecție 0,42 (**Tab. F44** pentru $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} = 2$).

Lungimea maximă a circuitului este, deci: $603 \times 0,42 = 253$ m.

Cazul particular în care una sau mai multe părți conductoare accesibile sunt conectate la prize de pământ separate

Trebuie asigurată protecția împotriva contactelor indirecte prin RCD montate pe fiecare circuit care alimentează aparate sau grupuri de aparate ale căror părți conductoare accesibile sunt conectate la prize de pământ separate.

Sensibilitatea acestor dispozitive de curent diferențial rezidual trebuie adaptată în funcție de rezistența prizei de pământ (R_{A2} în **Fig. F49**). A se vedea specificațiile aplicabile sistemului TT.

6.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate

În conformitate cu CEI 60364-4-471 dispozitivele de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (≤ 30 mA) trebuie utilizate pentru protecția circuitelor de priză având un curent nominal ≤ 20 A, în toate cazurile. Utilizarea acestor RCD este, de asemenea recomandată în următoarele situații:

- pe circuite de prize amplasate în zone umede oricare ar fi calibrul;
- pe circuite de prize din instalațiile temporare;
- pe circuite care alimentează spălătorii sau bazine de înot;
- pe circuite care alimentează organizările de șantier, rulote, bărci de agrement sau târguri mobile.

A se vedea 2.2 și Capitolul P, secțiunea 3.

(1) Pentru definiția protecției întreruptoarelor automate "curbă D" se va consulta capitolul H, subcapitol 4.2.

6.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu

În conformitate cu CEI 60364-422-3.10, în zonele cu risc crescut de incendiu, circuitele trebuie protejate cu RCD de sensibilitate ≤ 500 mA. Aceasta exclude sistemul TN-C, fiind obligatoriu sistemul TN-S.

Sensibilitatea de 300 mA este obligatorie în anumite țări (vezi Fig. F51).

6.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare

În cazul în care curentul de punere la pământ este limitat, datorită unei impedanțe ridicate a buclei de defect astfel încât dispozitivele de protecție la supracurent nu pot declanșa într-un timp admis, pot fi luate în considerare următoarele posibilități:

Propunerea 1 (vezi Fig. F52):

■ instalarea unui întrerupător care are un prag magnetic de valoare mai mică, de exemplu:

$$2I_n \leq I_{rm} \leq 4I_n$$

Aceasta permite protecția persoanelor în cazul circuitelor lungi. Trebuie totuși verificat să nu existe declanșări intempestive ale protecției la supracurenți în cazul apariției unor curenți tranzitorii, precum cei de la pornirile de motoare.

■ soluții Schneider Electric

□ întreruptoare Compact cu curba de declanșare tip G ($2I_n \leq I_{rm} \leq 4I_n$),

□ întreruptoare Multi 9, curbă B.

Propunerea 2 (vezi Fig. F53)

■ instalarea pe circuit a unui dispozitiv de curent diferențial rezidual. Dispozitivul nu trebuie să fie de mare sensibilitate (de la câțiva amperi până la câțiva zeci de amperi). Acolo unde există prize, circuitele trebuie protejate, în orice caz, cu dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (≤ 30 mA); în general, un dispozitiv de curent diferențial rezidual la un anumit număr de prize pe un circuit comun.

■ soluții Schneider Electric

□ dispozitive de curent diferențial rezidual Multi 9, NG 125: $I_{\Delta n} = 1$ sau 3 A

□ Vigicompact REH sau REM: $I_{\Delta n} = 3$ la 30 A

□ Întreruptoare Multi 9, curbă B.

Propunerea 3

Creșterea secțiunii conductorului de protecție PE sau PEN și/sau a conductoarelor de fază în scopul reducerii impedanței buclei de defect.

Propunerea 4

Adaugarea unor conductoare echipotențiale suplimentare. Aceasta are un efect similar propunerii 3, adică reducerea rezistenței buclei de defect, îmbunătățind, în același timp, măsurile de protecție existente împotriva tensiunilor de atingere. Eficiența acestei măsuri poate fi verificată printr-un test de rezistență efectuat între fiecare parte conductoare accesibilă și conductorul local, principal, de protecție.

În cazul sistemelor TN-C, legătura echipotențială indicată în Fig. F54 nu este permisă, prin urmare, trebuie adoptată propunerea 3.

F30

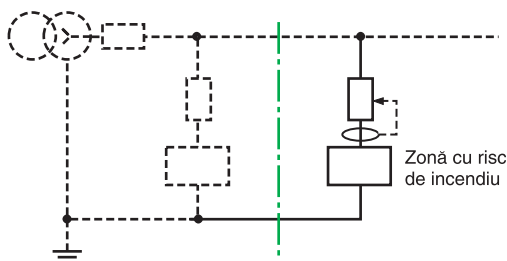


Fig. F51: Zone cu risc de incendiu.

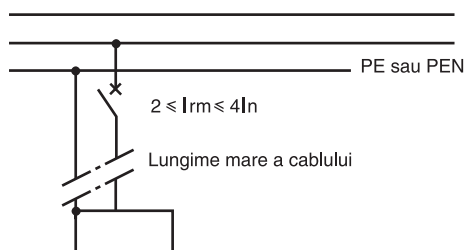


Fig. F52: Întrerupător cu prag scăzut de declanșare magnetică.

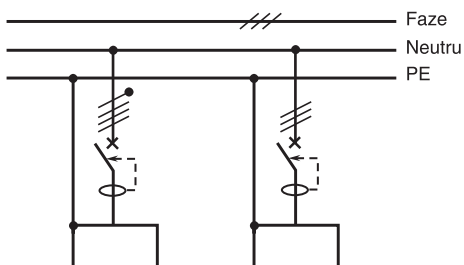


Fig. F53: Dispozitive de curent diferențial rezidual în sistemele TN în cazul unor bucle de defect de mare impedanță.

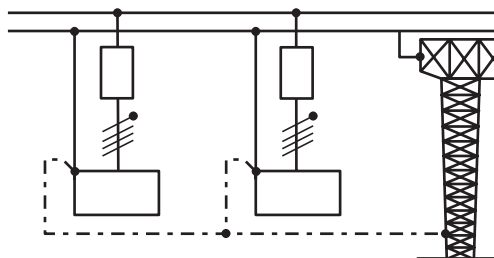


Fig. F54: Îmbunătățirea legăturii echipotențiale.

7 Implementarea sistemului IT

Caracteristica principală a sistemului IT este aceea că, în eventualitatea unui defect de punere la pământ, sistemul poate continua să funcționeze. Acest defect se va numi “primul defect”.

În acest sistem, toate părțile conductoare accesibile ale instalației sunt conectate printr-un conductor de protecție PE la priza de pământ a instalației, în timp ce punctul neutru al transformatorului poate fi:

- fie izolat față de pământ
- fie conectat la pământ printr-o impedanță de valoare foarte mare (în mod normal $1000\ \Omega$ sau mai mult).

Aceasta înseamnă că valoarea curentului în cazul unui defect de punere la pământ va fi de ordinul miliamperilor, ceea ce nu determină efecte negative în punctul de defect și nici nu generează tensiuni de atingere periculoase sau pericol de incendiu. Sistemul poate permite, prin urmare, funcționarea normală în continuare până când este posibilă intervenția în scop de remediere.

Prin urmare, acest sistem permite o bună continuitate a serviciilor.

În practică, acest sistem impune anumite măsuri specifice pentru o exploatare satisfăcătoare:

- controlul permanent al izolației în raport cu pământul, ceea ce înseamnă semnalizarea (audio sau vizuală) a producerii primului defect;
- utilizarea unui dispozitiv de limitare a tensiunii pe care punctul neutru al transformatorului o poate atinge în raport cu pământul;
- existența unui personal calificat în scopul localizării primului defect. Localizarea primului defect este relativ ușor de realizat cu ajutorul unor dispozitive speciale care sunt disponibile în mod curent;
- montarea unor întreruptoare automate adecvate care să declanșeze în eventualitatea unui al “doilea defect” care s-ar produce înainte de îndepărtarea primului. Al doilea defect (prin definiție) este un defect de punere la pământ care apare pe un alt conductor activ decât în cazul primului defect, sau pe conductorul neutru⁽¹⁾.

Al doilea defect determină un curent de scurtcircuit prin pământ și/sau prin legătura conductoarelor (PE) de protecție.

F31

7.1 Condiții preliminare (vezi Tab. 55 și Fig. 56)

Funcții minimale impuse	Componente și dispozitive	Exemple
Protecția împotriva supratensiunilor la frecvența rețelei	(1) Limitator de tensiune	Cardew C
Legare la pământ prin rezistor (pentru variația impedanței de legare la pământ)	(2) Rezistor	Impedance Zx
Controlul permanent al izolației și semnalizarea primului defect	(3) Dispozitiv pentru controlul permanent al izolației cu posibilități de semnalizare	Vigilohm TR22A sau XM200
Eliminarea automată a celui de-al doilea defect și protecția conductorului de nul împotriva supracurenților	(4) Întreruptoare tetrapolare (dacă neutrul este distribuit) cu patru poli protejați	Întreruptoare Compact sau RCD-MS
Localizarea primului defect	(5) Cu dispozitive pentru localizarea defectului sau prin deschideri succesive de circuite	Sistemul Vigilohm

Fig. F55: Funcțiile esențiale în sistemele IT și exemple cu produsele Merlin Gerin.

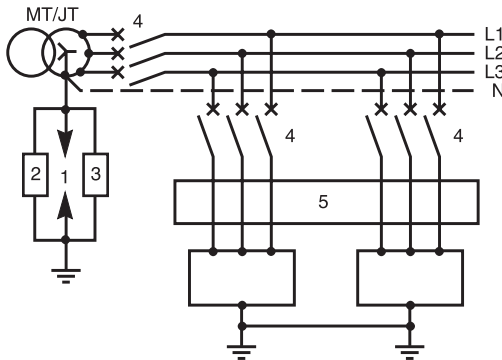


Fig. F56: Pozițiile funcțiilor esențiale în sistemul trifazat cu trei conductoare IT.

(1) Pentru sistemele cu neutru distribuit, cum este indicat în Fig. F60.

Sistemele moderne de monitorizare existente în prezent facilitează localizarea și îndepărtarea primului defect.

F32

Sistemele de localizare a defectelor sunt în conformitate cu standardul CEI 61157-9.

7.2 Protecția împotriva contactelor indirecte

Condițiile primului defect

Curentul de punere la pământ care circulă în cazul primului defect este de ordinul de mărime al miliamperilor.

Tensiunea de defect față de pământ este produsul dintre valoarea acestui curent și rezistența prizei de pământ a instalației împreună cu cea a conductorului de protecție PE (măsurat din locul de defect și până la prizele de pământ). Această valoare a tensiunii este, în mod evident, nepericuloasă și poate ajunge, în cel mai rău caz, la câțiva volți (ex: printr-o rezistență de 1000 Ω poate trece un curent de 230 mA⁽¹⁾ iar o priză de pământ de slabă calitate, având 50 Ω , poate ajunge la o tensiune de 11,5 V). Obligativ, însă, dispozitivul pentru controlul permanent a izolației va semnaliza apariția acestui prim defect în instalație.

Principiul monitorizării primului defect

De la un generator de curent de foarte joasă frecvență sau de curent continuu (pentru a reduce efectele capacității cablului până la niveluri neglijabile) se aplică o tensiune între punctul neutru al transformatorului și pământ. Această tensiune determină un curent de valoare mică, în conformitate cu valoarea rezistenței de izolație a întregii instalații în raport cu pământul, care circulă în întreaga instalație, inclusiv prin oricare aparat conectat.

Instrumente de joasă frecvență pot fi utilizate în sistemele de curent alternativ care generează componente tranzitorii de curent continuu în condiții de defect. Anumite variante pot deosebi componentele rezistive de cele capacitive ale curentului de punere la pământ.

Dezvoltări moderne permit urmărirea evoluției defectelor de izolație, prin măsurarea valorilor curenților de punere la pământ care apar, în scopul prevenirii apariției primului defect.

Exemple de echipamente

■ Localizarea manuală a defectelor (vezi Fig. F57)

Generatorul poate fi de construcție fixă (ex. XM 100) sau portabil (ex. GR10X, care permite verificarea circuitelor scoase de sub tensiune), iar receptorul, împreună cu senzorul magnetic tip clește, sunt portabile.

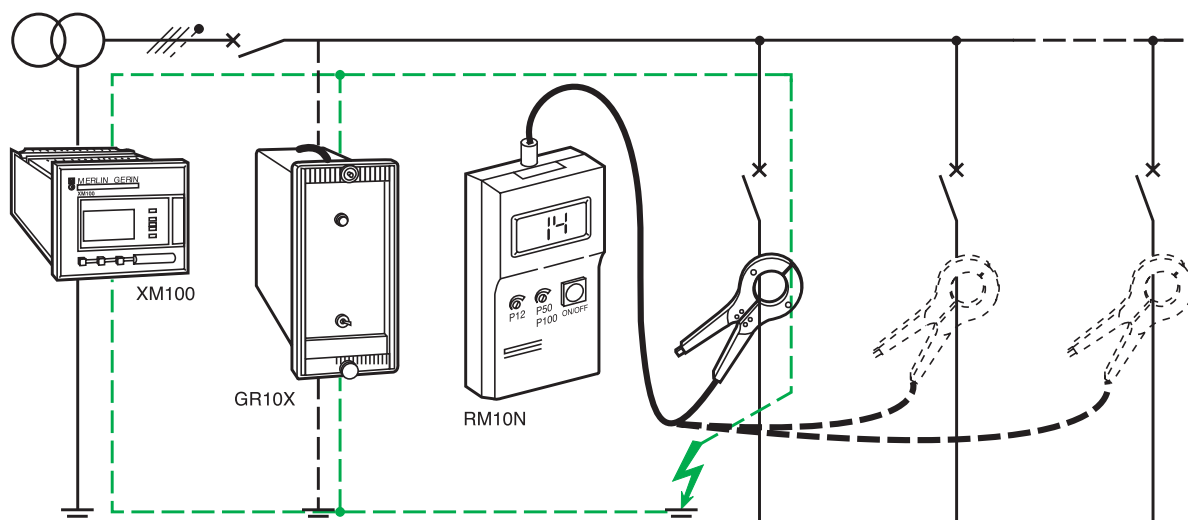


Fig. F57: Localizarea manuală a defectelor.

■ localizarea automată a defectelor (vezi Fig. F58)

Releul de monitorizare XM100, împreună cu detectoarele fixe XD1 sau XD12 (fiecare conectat la câte un transformator de curent toroidal amplasat pe circuitul respectiv) realizează un sistem automat de localizare a defectelor într-o instalație aflată sub tensiune.

Mai mult, rezistența de izolație este indicată pentru fiecare circuit monitorizat, fiind verificate două nivele: primul nivel avertizează asupra valorii neobișnuite a rezistenței de izolație, astfel încât să poată fi luate măsuri preventive, în timp ce al doilea nivel indică condițiile de defect și îl semnalizează.

(1) La sistemul trifazat 230/400V.

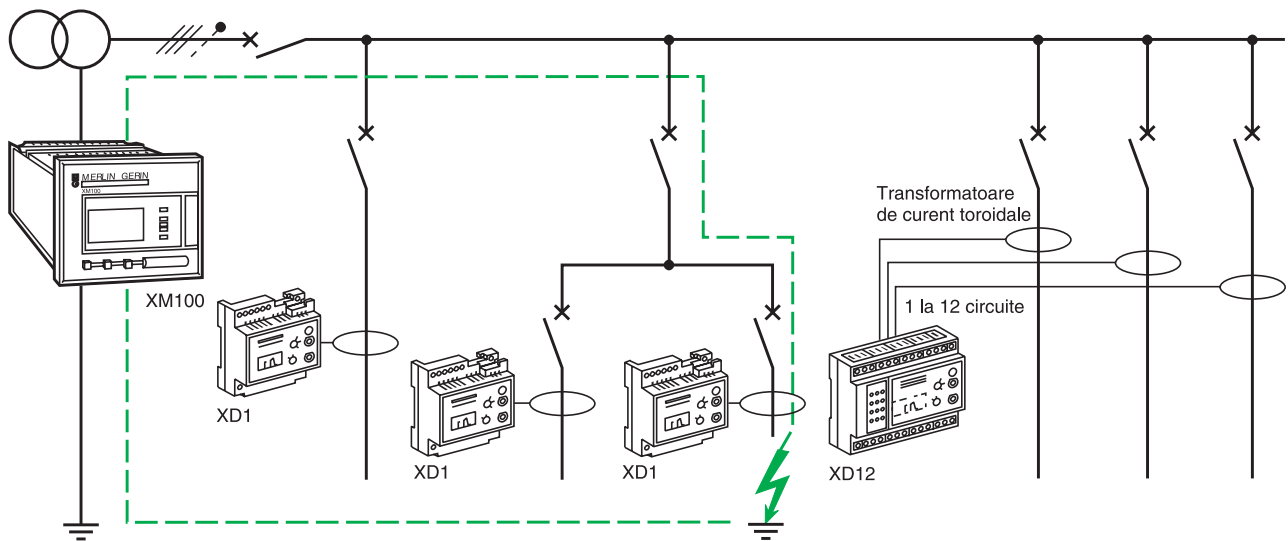


Fig. F58: Localizarea automată a defectelor.

■ Monitorizarea automată, înregistrarea datelor și localizarea defectelor (vezi Fig. F59)

Sistemul Vigilohm permite, în plus, accesul la o imprimantă și/sau la un calculator (PC) care furnizează astfel, o imagine generală asupra nivelului rezistenței de izolație a întregii instalații și înregistrează evoluția cronologică a izolației la nivelul fiecărui circuit.

Monitorul central XM100, împreună cu detectoarele de localizare XD08 și XD16 asociate transformatoarelor de curent toroidale de pe circuitele respective, așa cum este indicat în Fig. F59, reprezintă, în fapt, mijloacele de realizare a acestui mod automat de control a izolației și de înregistrare a datelor.

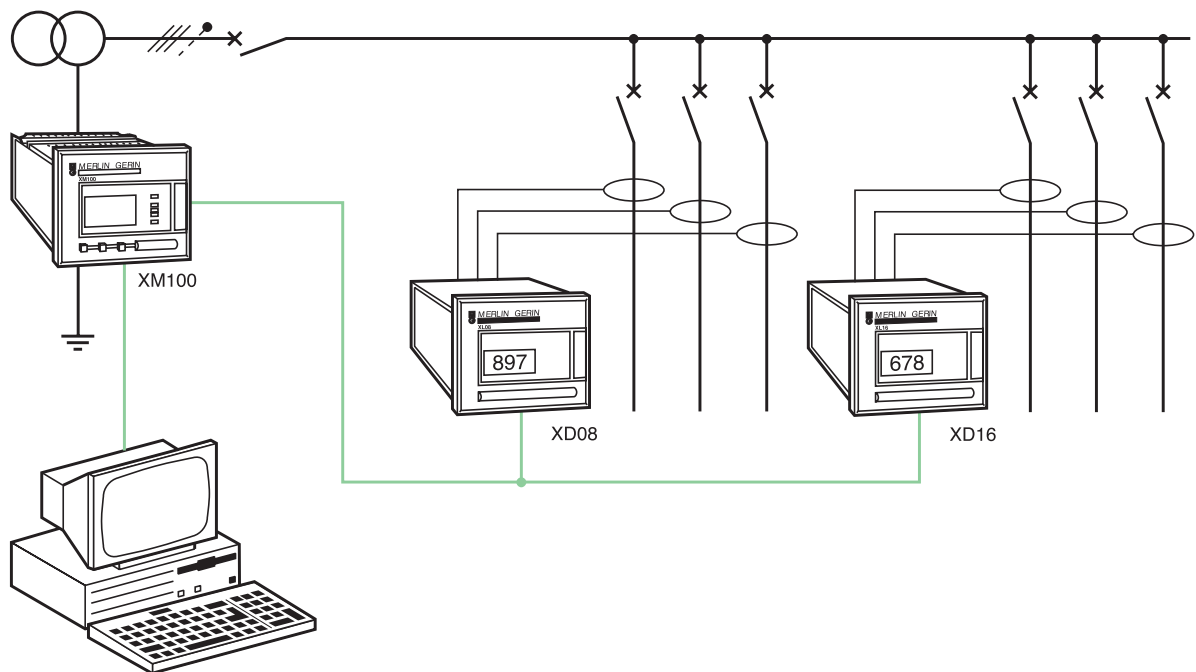


Fig. F59: Localizarea automată a defectelor și înregistrarea valorilor rezistenței de izolație.

Utilizarea dispozitivelor de control și monitorizare permanentă a izolației (CPI)

■ Conectare

Dispozitivul CPI este conectat, în mod normal, între punctul neutru (sau neutru artificial) al transformatorului și priza sa de pământ.

■ Alimentarea

Alimentarea dispozitivului CPI ar trebui realizată de la o sursă foarte sigură. În practică, aceasta este chiar instalația care urmează a fi monitorizată, prin intermediul dispozitivelor de protecție la supracurenți având praguri adecvate de protecție.

■ Nivele de reglare

Anumite standarde naționale recomandă un prim prag de reglare la 20% sub valoarea rezistenței de izolație a unei instalații noi. Această valoare permite observarea deteriorării izolației, necesitând măsuri preventive de întreținere în cazul unui început de defect.

Nivelul de detectare al unei deteriorări de izolație care necesită semnalizarea defectului se stabilește la o valoare cât mai redusă.

De exemplu, cele două nivele ar putea fi:

- valoarea rezistenței de izolație pentru o instalație nouă: 100 k Ω ,
- curent de defect nepericulos: 500 mA (risc de incendiu: > 500 mA),
- nivele reglate indicate de către consumator:
- prag pentru întreținere preventivă: $0,8 \times 100 = 80$ k Ω ,
- prag pentru alarmă de scurtcircuit: 500 Ω

Note:

□ În urma unei perioade mai lungi de întrerupere a funcționării, în timpul căreia, total sau parțial instalația rămâne nealimentată, umiditatea poate reduce, în general nivelul rezistenței de izolație. Această situație care se datorează în principal curenților de fugă pe suprafețe umede cu izolație sănătoasă nu reprezintă o condiție de defect și se va ameliora rapid odată cu creșterea temperaturii, datorită existenței curenților prin conductoare, care vor reduce umiditatea.

□ dispozitive CPI (XM) pot măsura, separat, componentele rezistive și capacitive ale curentului de scurgere către pământ. Pornind de la valoarea totală, permanentă a curentului de scurgere astfel măsurat, rezultă valoarea reală a rezistenței de izolație.

Cazul celui de-al doilea defect

Un al doilea defect de punere la pământ în sistemul IT (dacă nu se produce pe aceeași fază că și primul defect) constituie un defect fază-fază sau fază-neutru și indiferent dacă, are loc pe același circuit cu primul defect, sau pe un circuit diferit, dispozitivele de protecție la supracurent (fuzibile sau întreruptoare) vor funcționa, în mod normal, pentru îndepărtarea sa.

Reglajul releelor de protecție la supracurenți și calibrul fuzibilelor sunt parametri de bază care stabilesc lungimile maxime ale circuitelor care pot fi protejate în mod satisfăcător, așa cum s-a discutat în subcapitolul 6.2.

Notă: În mod normal, calea curentului de defect cuprinde conductoarele comune de protecție PE la care sunt conectate toate părțile conductoare accesibile ale instalației, astfel încât, impedanța buclei de defect este destul de mică pentru a se asigura un nivel acceptabil al curentului de defect.

În cazul în care lungimile circuitelor sunt lungi și, în special dacă aparatele de pe diferite circuite sunt conectate la prize de pământ diferite (deci curentul de defect trece prin două prize de pământ), declanșarea releelor de protecție la supracurent nu este posibilă.

În acest caz, este recomandată utilizarea unui (RCD) dispozitiv de curent diferențial rezidual pe fiecare circuit al instalației.

Totuși, în cazul sistemelor IT legate la pământ prin rezistor, trebuie să se acorde atenție acestor dispozitive de curent diferențial rezidual; sensibilitatea lor nu trebuie să fie atât de mică încât să conducă la o declanșare nedorită, în cazul primului defect.

Declanșarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual care sunt în conformitate cu standardele CEI poate avea loc la valori cuprinse între $(0,5 \text{ la } 1)I_{\Delta n}$, unde $I_{\Delta n}$ este sensibilitatea acestor dispozitive de protecție.

Metode de determinare a valorilor curentului de scurtcircuit

Estimări cât mai precise ale valorilor curenților de scurtcircuit trebuie făcute încă din faza de proiectare.

O analiză riguroasă nu este necesară atâta timp cât numai amplitudinea curentului este importantă pentru dispozitivele de protecție respective (de ex.: unghiul de defazaj nu este necesar a fi determinat), de aceea, sunt acceptate și utilizate metode aproximative simplificate. Cele trei metode practice sunt următoarele:

■ **Metoda impedanțelor**, bazată pe suma vectorială a tuturor impedanțelor (de secvență directă) ale buclei de defect.

■ **Metoda de compunere** care este o estimare aproximativă a curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sarcină al circuitului, bazată pe cunoașterea valorii curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sursă al acesteia. Impedanța echivalentă este o sumă aritmetică (la această variantă).

Trei metode de calcul sunt în mod uzual utilizate:

- metoda impedanțelor, bazată pe suma trigonometrică a sistemului de rezistențe și reactanțe inductive;
- metoda de compunere;
- metoda convențională bazată pe o valoare prezumată a căderii de tensiune și pe utilizarea de tabele.

Programul de calcul Ecodial calculează pe baza "metodei impedanțelor".

Lungimea maximă a unui circuit din sistemul IT este:

■ pentru o schemă trifazată cu 3 conductoare

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_0 \sqrt{3} S_{ph}}{2\rho I_a(1+m)}$$

■ pentru o schemă trifazată cu 4 conductoare

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_0 S_1}{2\rho I_a(1+m)}$$

■ **Metoda convențională**, în care valoarea minimă a tensiunii la capătul circuitului dinspre sursă este presupusă a fi cca. 80% din valoarea nominală a tensiunii, și, bazat pe această ipoteză, s-au construit tabele care permit citirea directă a lungimilor maxime admise ale circuitelor.

Aceste metode sunt corecte doar pentru cazurile în care conductoarele care alcătuiesc bucla de defect sunt învecinate și nu sunt separate prin materiale feromagnetice.

Metoda impedanțelor

Această metodă este descrisă în subcapitolul 6.2 și este identică pentru cele două sisteme TN și IT.

Metoda de compunere

Această metodă este descrisă în subcapitolul 6.2 și este identică pentru cele două sisteme TN și IT.

Metoda convențională (vezi Fig. F60)

Principiul acestei metode în cazul sistemului IT este același ca și în cazul sistemului TN, așa cum a fost descris în subcapitolul 6.2: calcularea lungimii maxime a circuitelor în aval de întreruptoare sau fuzibile pentru a se asigura protecția prin declanșarea dispozitivelor de protecție la supracurenți.

În mod clar, este imposibil să se verifice lungimile buclelor de defect pentru toate combinațiile de două defecte care ar putea apărea.

De aceea, toate cazurile sunt acoperite dacă reglajul protecției la supracurent se realizează pe baza prezumției că primul defect se produce la capătul dinspre sarcină al circuitului respectiv, iar al doilea defect de produce, de asemenea la capătul dinspre sarcină al altui circuit identic, așa cum a fost menționat, de altfel în subcapitolul 3.4. Aceasta poate determina, în general, o singură declanșare (pe circuitul având reglajul protecției de valoare mai mică), ceea ce înseamnă, de fapt, un singur circuit scos din funcțiune.

■ În cazul instalațiilor trifazate cu 3 conductoare, al doilea defect poate determina doar un scurtcircuit bifazat, astfel încât, valoarea tensiunii utilizate în formula pentru determinarea lungimii maxime a circuitului este $\sqrt{3} U_0$.

Lungimea maximă a circuitului este dată de:

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_0 \sqrt{3} S_{ph}}{2\rho I_a(1+m)} \text{ (metri)}$$

■ În cazul instalațiilor trifazate cu 4 conductoare, cea mai mică valoare a curentului de defect se va obține în cazul în care unul dintre defecte afectează conductorul neutru. În acest caz, pentru evaluarea lungimii maxime a circuitului se va utiliza valoarea U_0 pentru tensiune, și:

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_0 S_1}{2\rho I_a(1+m)} \text{ (metri)}$$

deci numai 50% din lungimea maximă permisă în cazul sistemului TN⁽¹⁾.

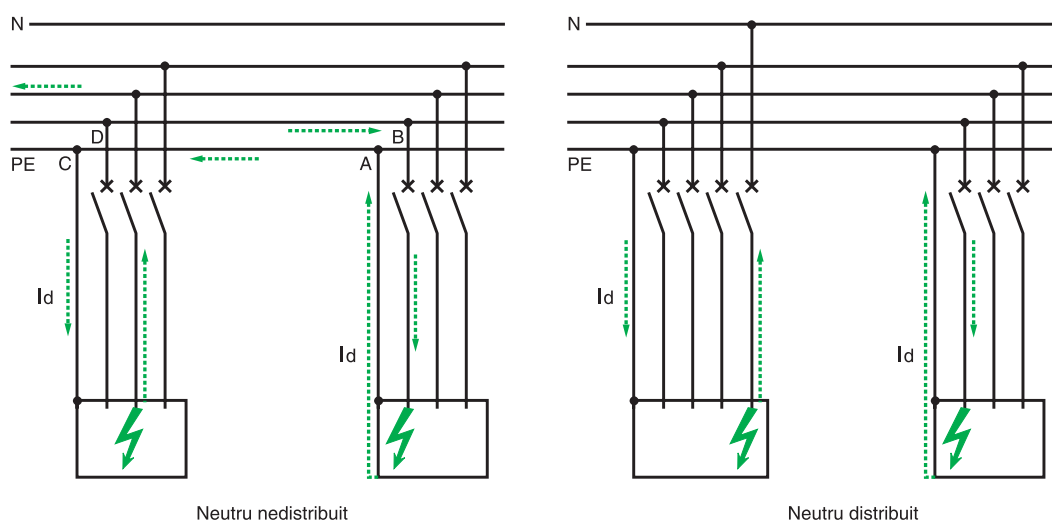


Fig. F60: Calculul lui L_{\max} pentru sistemul IT și indicarea căilor de curent în condițiile celui de-al doilea defect.

(1) De reținut: Nu există o lungime limită a circuitelor pentru protecția împotriva defectelor de punere la pământ în schemele TT dacă protecția este asigurată printr-un dispozitiv de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate.

În formulele precedente:

L_{\max} = lungimea maximă a circuitului, în metri

U_0 = tensiunea de fază (230 V în sistemele 230/400 V)

ρ = rezistivitatea la temperatură normală de funcționare ($22,5 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pentru cupru și $36 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pentru aluminiu)

I_a = reglajul magnetic al protecției la supracurent, în amperi sau I_a = curentul, exprimat în amperi, necesar funcționării fuzibilului în timpul specificat

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

S_{PE} = secțiunea conductorului de protecție, PE, în mm^2

S_1 = secțiunea conductorului de neutru dacă circuitul conține conductor de neutru

S_1 = secțiunea conductorului de fază, S_{ph} dacă circuitul nu conține conductor de neutru.

Următoarele tabele⁽¹⁾ dau lungimile maxime care trebuie respectate pentru ca persoanele să fie protejate împotriva riscului de contact indirect, de către dispozitivele de protecție.

Tabele

Tabelele următoare au fost construite în conformitate cu “metoda convențională” descrisă mai sus.

Tabelele stabilesc lungimile maxime ale circuitelor, dincolo de care, rezistența conductoarelor limitează valoarea curentului de scurtcircuit până la un nivel inferior celui care determină declanșarea întreruptorului automat (sau funcționarea fuzibilului) care protejează circuitul, suficient de rapid pentru a se asigura protecția împotriva contactului indirect.

Acese tabele iau în considerare următoarele:

- tipul dispozitivului care realizează protecția (întreruptor sau fuzibil) și pragul magnetic al acestuia;
- secțiunea conductoarelor de fază și de protecție;
- sistemul de legare la pământ;
- factorul de corecție: **Tab. F61** indică factorul de corecție care trebuie aplicat lungimilor date în **Tabelele F44 la F47** în cazul sistemului IT

Circuit	Materialul conductorului	m = S _{ph} /S _{PE} (sau PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3 faze	Cupru	0,86	0,57	0,43	0,34
	Aluminiu	0,54	0,36	0,27	0,21
3 faze + N sau	Cupru	0,50	0,33	0,25	0,20
1 fază + N	Aluminiu	0,31	0,21	0,16	0,12

Tab. F61: Factori de corecție care se aplică lungimilor de circuit date în **Tabelele F45 la F48** pentru sistemele IT.

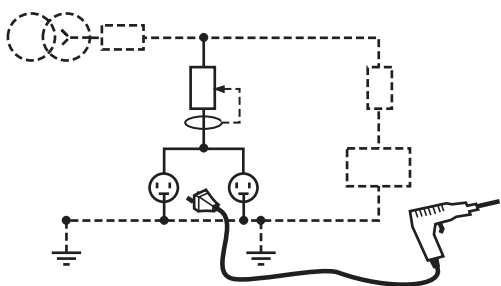


Fig. F62: Circuite care alimentează prize.

Exemple

O instalație trifazată cu trei conductoare 230/400 V are neutrul tratat în sistemul IT. Unul dintre circuite este protejat de un întreruptor de 63 A și este realizat cu cablu din aluminiu de secțiune 50 mm^2 .

Conductorul de protecție PE, de 25 mm^2 , este de asemenea din aluminiu. Care este lungimea maximă acceptabilă a circuitului până la care protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale este asigurată de către releul magnetic instantaneu al întreruptorului?

Tabelul F46 indică 603 m căreia trebuie să-i aplicăm un factor de corecție de 0,36 ($m = 2$ pentru cablul din aluminiu).

Prin urmare, lungimea maximă a circuitului este 217 m.

7.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate

În conformitate cu Standardul CEI 60364-4-41 utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate ($\leq 30 \text{ mA}$) este necesară pentru protecția circuitelor de priză având un curent nominal $\leq 20 \text{ A}$ în toate cazurile. Utilizarea RCD este recomandată în următoarele situații:

- circuite de priză amplasate în zonele umede, pentru orice valoare a curentului nominal;
- circuite de priză amplasate în instalații temporare;
- circuite care alimentează incinte pentru spălătorii sau bazine de înot;
- circuite care alimentează organizări de șantier, rulote, bărci de agrement, târguri mobile.

A se vedea 2.2 și Capitolul P, Secțiunea 3.

(1) Tabelele sunt cele descrise în subcapitolul 6.2 (**Tab. F45** până la **F48**). Totuși, tabela cu factorii de corecție (**Tab. F61**) care ține cont de raportul S_{ph}/S_{PE} , de tipul circuitului și al materialului conductor, este specifică pentru sistemul IT și diferă de cel pentru sistemul TN.

7.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu

Protecția cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual de sensibilitate ≤ 500 mA la intrare pentru circuitul de alimentare al unei zone cu risc crescut de incendiu este obligatorie în anumite țări (vezi Fig. F63).

Totuși, pentru protecția împotriva riscului de incendiu este preferabilă o sensibilitate de 300 mA.

7.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare

În cazul în care curentul de defect de punere la pământ este limitat datorită unei impedanțe ridicate a buclei de defect, astfel încât dispozitivele de protecție la supracurent nu pot declanșa într-un timp acceptabil, pot fi luate în considerare următoarele posibilități:

Propunerea 1 (vezi Fig. F64):

■ Instalarea unui întreruptor automat care are un prag magnetic de valoare mai mică, de exemplu:

$$2I_n \leq I_{rm} \leq 4I_n$$

Aceasta permite protecția persoanelor în cazul circuitelor lungi. Trebuie totuși verificat să nu existe declanșări nedorite ale protecției la supracurenți în cazul apariției unor curenți tranzitorii, precum cei de la pornirile de motoare.

■ Soluții Schneider Electric

□ Întreruptoare Compact tip G ($2I_n \leq I_{rm} \leq 4I_n$),

□ Întreruptoare Multi 9, curbă B.

Propunerea 2 (vezi Fig. F65)

■ Instalarea pe circuit a unui dispozitiv de curent diferențial rezidual. Dispozitivul nu trebuie să fie de mare sensibilitate (de la câțiva amperi până la câțiva zeci de amperi). Acolo unde există prize circuitele trebuie protejate de dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (≤ 30 mA); în general un dispozitiv pe circuit la un anumit număr de prize, pe un circuit comun.

■ Soluții Schneider Electric

□ dispozitive de curent diferențial rezidual Multi 9, NG 125:

$$I_{\Delta n} = 1 \text{ la } 3 \text{ A,}$$

□ Vigicompact REH sau REM: $I_{\Delta n} = 3 \text{ la } 30 \text{ A.}$

Propunerea 3

Creșterea secțiunii conductorului de protecție PE sau PEN și/sau a conductoarelor de fază în scopul reducerii impedanței buclei de defect.

Propunerea 4 (vezi Fig. F66)

Adăugarea unor conductoare echipotențiale suplimentare. Aceasta are un efect similar propunerii 3, adică reducerea rezistenței buclei de defect, îmbunătățind, în același timp, măsurile de protecție existente împotriva tensiunilor de atingere. Eficiența acestor măsuri poate fi verificată prin măsurarea rezistenței, efectuată între fiecare parte conductoare accesibilă și conductorul local, principal, de protecție.

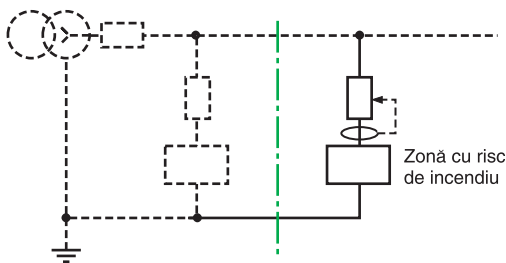


Fig. F63: Zone cu risc de incendiu.

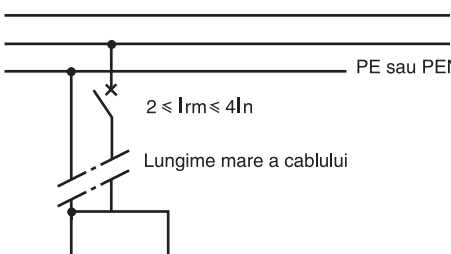


Fig. F64: Întreruptor automat cu prag magnetic de declanșare de valoare mai mică.

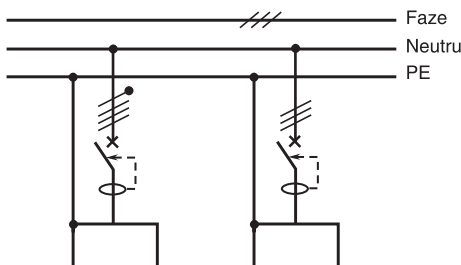


Fig. F65: Protecția cu dispozitive de curent diferențial rezidual.

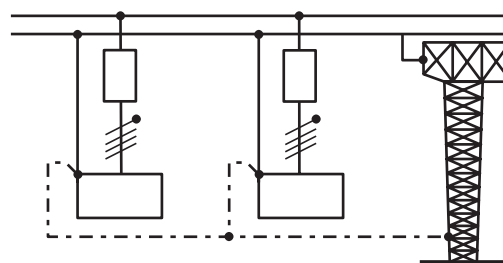


Fig. F66: Îmbunătățirea legăturii echipotențiale.

8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

8.1 Descriere

Principiu

Caracteristicile principale ale dispozitivelor de curent diferențial rezidual sunt prezentate în **Fig. F67**.

Un circuit magnetic închis cuprinde toate conductoarele parcurse de curent ale unui circuit astfel încât fluxul magnetic generat în miez va depinde în orice moment de suma aritmetică a curenților; curenții circulând în aceeași direcție se vor considera ca fiind pozitivi (I_1), iar cei care circulă în direcție opusă, negativi (I_2).

Într-un circuit fără defect, în funcționare normală, $I_1 + I_2 = 0$ și, prin urmare, nu va exista flux magnetic în miez, iar tensiunea electromotoare indusă în bobină va fi de asemenea zero.

Un curent de punere la pământ I_a va circula prin miezul magnetic către defect dar se va întoarce către sursă via priză de pământ sau via conductor de protecție, în sistemul TN.

Prin urmare suma aritmetică a curenților care traversează miezul magnetic este diferită de 0 iar această diferență creează un flux magnetic în miez.

Diferența de curent este denumită "curent rezidual" iar principiul este cunoscut drept "principiul curentului diferențial rezidual".

Fluxul alternativ rezultat în miezul magnetic induce o tensiune electromotoare în bobină astfel încât curentul I_3 circulă prin bobina de acționare a dispozitivului de declanșare. Dacă curentul rezidual depășește valoarea impusă pentru funcționarea dispozitivului de declanșare fie direct fie prin intermediul unui releu electronic, atunci întreruptorul automat asociat va declanșa.

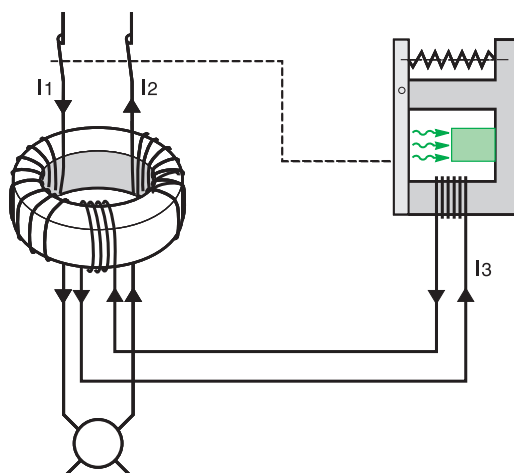


Fig. F67: Principiul de funcționare al dispozitivelor de curent diferențial rezidual.

Curenții permanenți de scurgere la pământ care există și care nu se datorează unor defecte, cum ar fi supratensiunile tranzitorii, pot conduce la declanșări nedorite ale dispozitivelor de curent diferențial rezidual. Anumite tehnici au fost dezvoltate pentru a preîntâmpina astfel de probleme de funcționare.

8.2 Recomandări pentru utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual

Curenți permanenți de scurgere la pământ

Orice instalație de joasă tensiune are un curent permanent de scurgere la pământ care se datorează:

- inegalității⁽¹⁾ dintre capacitățile intrinsece ale conductoarelor active în raport cu pământul a celor trei faze, în cazul circuitelor trifazate;
- capacității dintre conductoarele active și pământ în cazul circuitelor monofazate.

Cu cât instalația este mai extinsă cu atât capacitatea sa este mai mare și în consecință prezintă curenți de scurgere la pământ mai mari.

Curentul capacitiv către pământ crește uneori semnificativ datorită condensatoarelor de filtrare asociate echipamentelor electronice (automatizări, sisteme informatice, etc.).

În absența unor date mai precise curentul de scurgere la pământ într-o instalație poate fi estimat pornind de la următoarele valori măsurate la 230V/50Hz:

- circuite monofazate sau trifazate: 1,5 mA/100 m;
- încălzire prin pardoseală: 1 mA/kW;
- aparate tip fax-uri: 1mA;
- puncte de lucru cu tehnologie informatică: 2 mA;
- terminal informatic (PC): 2 mA;
- imprimantă: 1 mA;
- fotocopiator: 1,5 mA.

⁽¹⁾ În sistemele trifazate curenții capacitivi de scurgere la pământ ar fi zero dacă conductoarele celor trei faze ar avea capacități egale în raport cu pământul, condiție care în practică nu poate fi realizată.

8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

Întrucât dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt în conformitate cu standardele CEI și cu multe standarde naționale, acestea funcționează în intervalul $(0,5 \dots 1) I_{\Delta n}$ pentru o valoare nominală $I_{\Delta n}$. Prin urmare curenții de scurgere la pământ în aval de un dispozitiv de protecție împotriva curentului rezidual nu vor depăși $0,5 I_{\Delta n}$.

În practică limitarea curenților de scurgere la pământ la $0,25 I_{\Delta n}$ prin divizarea circuitului poate elimina declanșările nedorite.

În cazuri particulare precum extinderile sau renovările parțiale în instalațiile IT trebuie consultați producătorii.

Curenții tranzitorii de scurgere la pământ

Punerea sub tensiune

Punerea sub tensiune a capacităților menționate mai sus determină creșterea unor curenți tranzitorii de înaltă frecvență și de foarte scurtă durată similari celor arătați în **Fig. F68**.

Apariția bruscă a primului defect într-un sistem IT generează de asemenea curenți tranzitorii de scurgere la pământ, de înaltă frecvență datorită creșterii bruște a tensiunii de fază la valoarea tensiunii de linie, pe cele două faze neafectate.

Supratensiuni de mod comun

Rețelele electrice de putere sunt supuse unor supratensiuni de origine diferită: atmosferică, sau datorită unor schimbări bruște a condițiilor de funcționare ale sistemului (defecte, funcționarea fuzibilelor, comutații, etc.) Aceste schimbări bruște determină deseori tensiuni și curenți tranzitorii mari în circuitele inductive și capacitive înainte de atingerea unei stări stabile. Anumite înregistrări au stabilit faptul că, în sistemele de joasă tensiune, supratensiunile rămân în general sub 6 kV și că acestea pot fi reprezentate adecvat prin forme de undă convenționale de tip impuls 1,2/50 μ s (vezi **Fig. F69**).

Aceste supratensiuni determină creșteri ale curenților tranzitorii reprezentați prin forma de undă de impuls de curent convențională 8/20 μ s, având o valoare de vârf de câțiva zeci de amperi (vezi **Fig. F70**).

Curenții tranzitorii circulă către pământ prin capacitățile instalației, descărcătoare sau prin defecte de izolație.

Imunitatea la regimuri tranzitorii

Fiecare dispozitiv de curent diferențial rezidual trebuie să aibă un nivel minim de imunitate la declanșări nedorite în conformitate cu cerințele din **Tab. F71**.

Dispozitivele de curent diferențial rezidual tip "S" sau temporizate nivel I sau II (vezi **Fig. F38**) acoperă toate valorile curenților tranzitorii de scurgere la pământ inclusiv cei ai descărcătoarelor cu durată mai mică de 40 ms.

Tensiunile și curenții tranzitorii de înaltă frecvență (sau impulsurile unidirectionale) menționați mai sus împreună cu alte surse de perturbații electromagnetice (bobinele contactoarelor, relele, contactele uscate), descărcările electrostatice și formele de undă electromagnetice radiante (radio, sistemele de amorsare, etc.) sunt parte ale domeniului din ce în ce mai important al compatibilității electromagnetice. Pentru alte detalii pot fi consultate Caietele Tehnice nr. 120 și 149 ale Schneider Electric.

Este esențial ca dispozitivele de curent diferențial rezidual să fie imune la posibila funcționare defectuoasă produsă de efectele perturbațiilor electromagnetice.

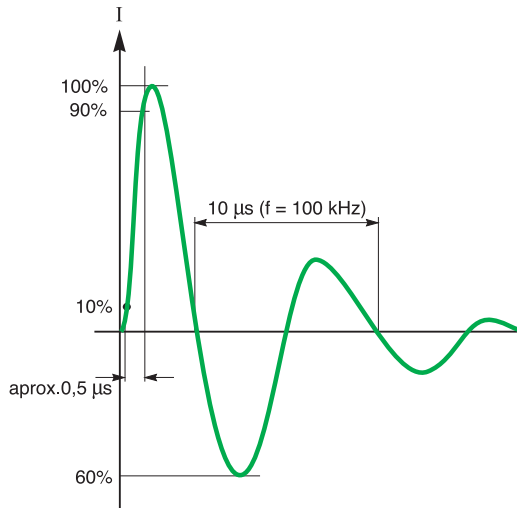


Fig. F68: Forma de undă standardizată a curenților tranzitorii 0,5 μ s/100 Hz.

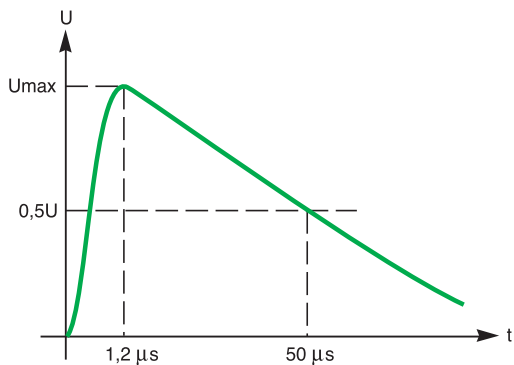


Fig. F69: Forma de undă standardizată de impuls de tensiune 1,2/50 μ s

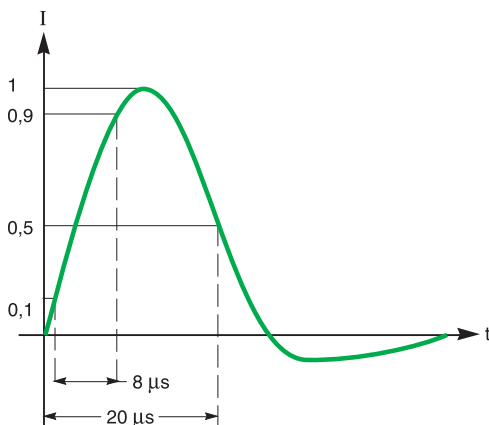


Fig. F70: Forma de undă de impuls de curent standardizată 8/20 μ s.

Perturbație	Test	Valori impuse
Supratensiuni	Impuls 1,2/50 μ s	6 kV vârf
Curent tranzitoriu	Impuls 0,5 μ s/100 kHz	200 A vârf ⁽¹⁾
	Impuls 8/20 μ s	200 A vârf 60 A vârf pentru 10 mA RCD 5 kA vârf pentru RCD tip "S" sau temporizat (vezi nota)
Comutație	Impulsuri tranzitorii repetitive CEI 61000-4-4	4 kV
Electricitate statică	Descărcări electrostatice CEI 61000-4-2	8 kV
Unde radiante	Câmpuri electromagnetice CEI 61000-4-3	3 V/m

(1) Pentru dispozitivele de curent diferențial rezidual având $I_{\Delta n} < 10$ mA acest test nu este cerut (CEI 61008-1).

Notă: Dispozitivele temporizate de curent diferențial rezidual sunt amplasate în mod normal în vecinătatea sursei de alimentare a instalației, unde supracurenții de origine externă au valorile cele mai mari. Testul de curent de vârf de 5 kA reflectă această cerință de înaltă performanță.

Tab. F71: Testele privind nivelele admisibile din punct de vedere al compatibilității electromagnetice pentru dispozitivele de curent diferențial rezidual.

Fig. F72: Simbol standardizat în anumite țări pentru a indica protecția împotriva funcționării incorecte datorate regimurilor tranzitorii.

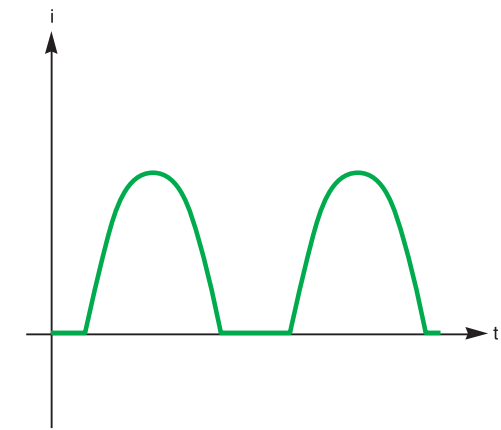


Fig. F73: Curent continuu.

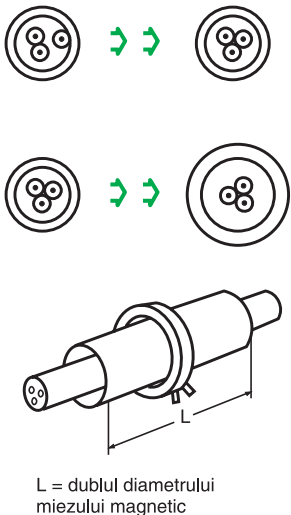


Fig. F74: Trei măsuri pentru reducerea raportului $I_{\Delta n}/I_{ph}$ (max).

În practica, nivelele indicate în **Tab. F71** sunt în conformitate cu specificațiile de proiectare și execuție.
Dispozitivele de curent diferențial rezidual tip “A Si” (marcate prin simbolul din **Fig. F72**) evită declanșările nedorite în cazul rețelilor poluate, efectelor trăsnetelor, curenților de înaltă frecvență, componentelor de c.c., regimurilor tranzitorii, temperaturii scăzute de funcționare (-25°C).

Imunitatea față de componentele de curent continuu (vezi Fig. F73)

Sursele auxiliare de curent continuu pentru comandă și semnalizare pentru echipamentele electrice și mecanice sunt uzuale, iar anumite aparate includ și scheme redresoare (diode, triace, tiristoare).
În eventualitatea unui defect de punere la pământ în aval de astfel de scheme redresoare, curentul de defect poate conține și componente de curent continuu. Riscul de a exista și astfel de componente depinde de gradul de izolație al circuitelor de curent continuu din aparatele respective și fiecare caz trebuie analizat separat. Probleme de acest tip apar de obicei în cazul aplicațiilor industriale.
Standardele CEI clasifică RCD-urile în funcție de capacitatea lor de a funcționa corect în prezența componentelor de curent continuu în structura curentului rezidual.
■ Dispozitive clasă AC: funcționează doar în cazul unui curent rezidual alternativ;
■ Dispozitive clasă A: funcționează în cazul unui curent rezidual pulsatoriu;
■ Dispozitive clasă B: funcționează în cazul unui curent rezidual continuu.
Notă: În general, se utilizează dispozitive de curent diferențial rezidual de clasă AC. Dispozitivele de clasă A se utilizează în cazul unor cerințe speciale ca o variantă specială a dispozitivelor AC.

Recomandări referitoare la instalarea RCD-urilor cu transformatoare de curent toroidale separate

Detectorul curentului rezidual este un circuit magnetic închis (de obicei circular) având permeabilitatea magnetică foarte ridicată pe care este realizată înfășurarea unei bobine, ansamblul constituind un transformator de curent toroidal (sau de tip inel).
Datorită permeabilității sale ridicate, orice abatere de la o simetrie perfectă a conductoarelor care trec prin miezul magnetic, precum și învecinarea cu materiale feroase (carcase din oțel, șasie, etc.) pot afecta suficient de mult echilibrul fluxurilor magnetice, mai ales în cazul sarcinilor mari (pornire de motoare, curentul de magnetizare la punerea sub tensiune a transformatoarelor, etc.), astfel încât pot genera declanșări nedorite a dispozitivelor de curent diferențial rezidual.
Dacă nu sunt luate măsuri speciale, raportul dintre curentul de funcționare $I_{\Delta n}$ și curentul de fază maxim I_{ph} (max) este, în general mai mic decât $1/1000$. Acest raport poate fi micșorat în mod substanțial (adică aparatul să fie desensibilizat) prin adoptarea măsurilor indicate în **Fig. F74** și sumarizate în **Tab. F75**.

Măsuri	Diametru (mm)	Factor de reducerea sensibilității
Amplasarea atentă, în mod simetric, a conductoarelor în interiorul miezului magnetic		3
Supradimensionarea miezului magnetic	Ø50 la Ø100	2
	Ø80 la Ø200	2
	Ø120 la Ø300	6
Utilizarea unor ecrane din oțel sau manșoane din fier moale	Ø50	4
	cu grosimea 0,5 mm	
	de lungime dublă diametrului miezului magnetic	3
	Ø80	3
	Ø120	3
■ “îmbrăcarea” completă a conductoarelor și depășirea miezului magnetic în mod egal, la ambele capete	Ø200	2

Aceste măsuri pot fi combinate. Printr-o centrare atentă a conductoarelor în interiorul unui miez magnetic de diametru 200 mm, când miezul de diametru de 50 mm este suficient, și utilizând un manșon, raportul $1/1000$ poate deveni $1/30000$.

Tab. F75: Măsuri pentru reducerea raportului $I_{\Delta n}/I_{ph}$ (max).

8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

Alegerea caracteristicilor unui întreruptor cu dispozitiv de curent diferențial rezidual (RCCB - CEI 61008)

Curentul nominal

Curentul nominal al unui întreruptor cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este ales în funcție de valoarea maximă a curentului de sarcină pe care îl poate suporta.

■ dacă întreruptorul cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este conectat în serie, în aval de un întreruptor, curentul nominal al ambelor dispozitive de protecție trebuie să fie același, de exemplu: $I_n \geq I_{n1}^{(1)}$ (vezi Fig. F76a);

■ dacă întreruptorul cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este conectat în amonte de un grup de circuite protejate de întreruptoare, așa cum se arată în Fig. F76b, atunci curentul nominal al acestuia este dat de:

$$I_n \geq k_u \times k_s (I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + I_{n4}).$$

Cerințele de comportare electrodinamică

Protecția împotriva scurtcircuitelor trebuie realizată de către dispozitivele de protecție împotriva curenților de scurtcircuit amplasate în amonte, dar se consideră faptul că, acolo unde dispozitivul de curent diferențial rezidual este amplasat în același tablou electric de distribuție (în conformitate cu standardele în vigoare) ca și întreruptoarele (fuzibilele) din aval, protecția la curentul de scurtcircuit realizată de aceste întreruptoare este o soluție adecvată.

În toate cazurile este necesară o coordonare între dispozitivele de curent diferențial rezidual și dispozitivele de protecție împotriva curenților de scurtcircuit, iar producătorii furnizează, în general, tabele de coordonare (vezi Tab. F77).

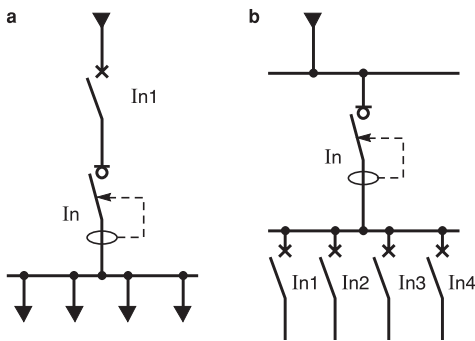


Fig. F76: Întreruptor automat cu dispozitiv de curent diferențial rezidual.

Întreruptoare automate și dispozitive de curent diferențial rezidual asociate - I_{sc} max (ef), în kA

Întreruptorul automat din amonte			DT40	DT40N	C60N	C60H	C60L	C120N	C120H	NG125N	NG125H
RCBB în aval	2P	I 20A	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	3	4,5	4,5	4,5
		230V									
		IN-A 40A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
		IN-A 63A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
	4P	I 100A						15	15	15	15
		400V									
		I 20A	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	2	3	3	3
		IN-A 40A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
		IN-A 63A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
		NG 125NA						10	16	25	50

Fuzibile și dispozitive de curent diferențial rezidual asociate - I_{sc} max (ef), în kA

Fuzibil gG amonte		20A	63A	100A	125A
RCBB în aval	2P				
	230V				
		I 20A	8		
		IN-A 40A		30	20
		IN-A 63A		30	20
		I 100A			6
	4P	I 20A	8		
		400V			
		IN-A 40A		30	20
		IN-A 63A		30	20
		NG 125NA			50

Fig. F77: Coordonarea tipică dată de producător între dispozitive de curent diferențial rezidual, întreruptoare și fuzibile (produse Merlin Gerin).

(1) Anumite standarde includ și un test termic de ținere la un curent mai mare decât I_n pentru a se asigura corecta coordonare a protecțiilor.

Capitolul G

Dimensionarea și protecția circuitelor

Cuprins

1	Generalități	G2
	1.1 Metodologie și definiții	G2
	1.2 Principiile protecției la supracurent	G4
	1.3 Valori practice pentru o schemă de protecție	G4
	1.4 Amplasarea dispozitivelor de protecție	G6
	1.5 Conductoare în paralel	G6
2	Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor	G7
	2.1 Generalități	G7
	2.2 Metoda generală pentru cabluri	G7
	2.3 Metoda simplificată recomandată pentru cabluri	G16
	2.4 Sisteme de bare capsulate	G18
3	Determinarea căderii de tensiune	G20
	3.1 Limita maximă a căderii de tensiune	G20
	3.2 Calculul căderii de tensiune în condiții de funcționare în regim permanent	G21
4	Curentul de scurtcircuit	G24
	4.1 Curentul de scurtcircuit la bornele de joasă tensiune ale transformatoarelor de distribuție MT/JT	G24
	4.2 Curentul de scurtcircuit trifazat (I_{sc}) în orice punct al unei instalații de joasă tensiune	G25
	4.3 Curentul de scurtcircuit I_{sc} la capătul circuitului dinspre sarcină în funcție de valoarea I_{sc} la capătul dinspre sursă	G28
	4.4 Curentul de scurtcircuit generat de un alternator sau de un invertor	G29
5	Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit	G30
	5.1 Calculul valorilor minime ale curentului de scurtcircuit	G30
	5.2 Verificarea stabilității termice a cablului în condiții de scurtcircuit	G35
6	Conductoare de protecție PE	G37
	6.1 Conectare și alegere	G37
	6.2 Dimensionare	G38
	6.3 Conductorul de protecție dinspre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție (TGJT)	G40
	6.4 Conductorul de echipotențialitate	G41
7	Conductorul neutru	G42
	7.1 Dimensionarea conductorului neutru	G42
	7.2 Protecția conductorului neutru	G44
	7.3 Întreruperea conductorului neutru	G44
	7.4 Separarea conductorului neutru	G44
8	Exemple de calcul pentru cabluri	G46

Părțile componente ale circuitelor și protecțiile lor sunt calculate astfel încât toate condițiile de funcționare, normale sau anormale, să fie îndeplinite.

1.1 Metodologie și definiții

Metodologie (vezi Fig. G1)

După o analiză preliminară care stabilește cerințele de putere ale unei instalații electrice, așa cum s-a indicat în capitolul B, subcapitolul 4, trebuie realizat un studiu din punct de vedere al cablajului⁽¹⁾ și al protecției acesteia, pornind de la originea instalației, trecând prin zonele intermediare și până la circuitele finale.

La fiecare nivel cablurile și protecțiile acestora, trebuie să îndeplinească simultan câteva condiții, pentru a avea garanția unei instalații sigure, și anume:

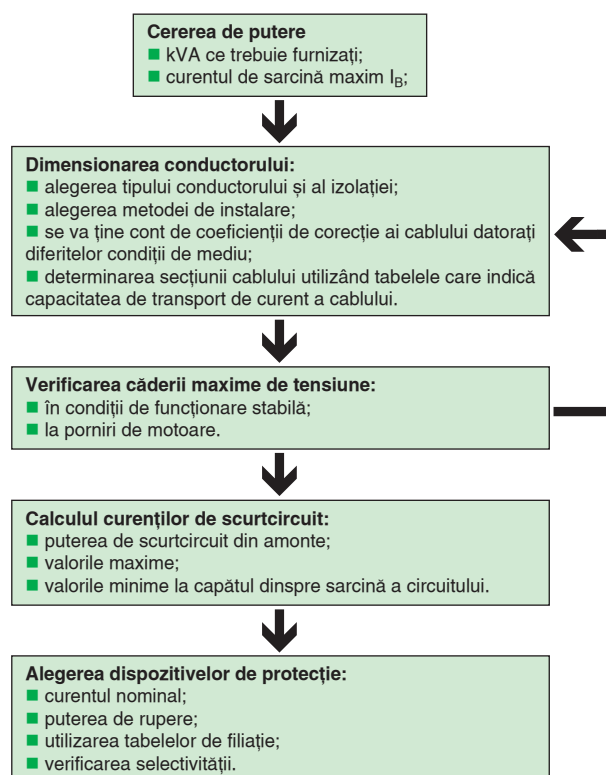
- să suporte curentul de sarcină permanent și, pe termen scurt, supracurent;
- să nu genereze căderi de tensiune ce ar avea ca urmare performanțe scăzute ale anumitor sarcini, de exemplu: un timp de accelerație excesiv de lung la pornirea motoarelor, etc.

În plus, dispozitivele de protecție (întreruptoarele automate sau fuzibilele) trebuie:

- să protejeze cablurile și barele de distribuție pentru toate valorile de supracurent, incluzând și curenții de scurtcircuit;
- să asigure protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale, în mod special în cazul sistemelor TN și IT, unde lungimea circuitelor poate limita valorile curenților de scurtcircuit, întârziind astfel deconectarea automată (trebuie amintit faptul că, în cazul sistemelor TT instalațiile sunt, în mod obligatoriu, protejate de către dispozitive de curent diferențial rezidual, în general, de sensibilitate 300 mA).

Secțiunile conductoarelor sunt determinate de obicei prin metoda generală descrisă în subcapitolul 2 din cadrul acestui capitol. Pe lângă această metodă, anumite standarde naționale pot recomanda o anumită secțiune minimă care trebuie respectată din motive de rezistență mecanică. Sarcinile particulare (cum se arată în capitolul N) impun o supradimensionarea a secțiunii cablurilor care le alimentează și prin urmare dispozitivele lor de protecție vor fi stabilite în consecință.

G2



Tab. G1: Diagrama logică de alegere a secțiunii conductoarelor și a dispozitivelor de protecție pentru un circuit dat.

⁽¹⁾ În acest capitol, termenul de "cablaj" se referă la toate conductoarele izolate, inclusiv cablurile unifilare și multifilare, precum și la conductoarele izolate pozate în tub, etc.

1 Generalități

Definiții

Curentul maxim de sarcină: I_B

■ La nivelul circuitelor finale, acest curent corespunde sarcinii nominale exprimate în kVA. În cazul pornirilor de motoare sau a altor sarcini care absorb la pornire un curent ridicat, mai ales în aplicațiile cu porniri dese (exemplu: motoare de lift, sudură, etc.) trebuie luate în considerare efectele termice cumulative ale acestor supracurenți. Sunt afectate atât cablurile cât și relele termice de protecție.

■ La nivelul circuitelor din amonte, acest curent corespunde puterii aparente de alimentare, în kVA, care ține cont de coeficienții de simultaneitate și de utilizare k_s și, respectiv k_u , așa cum se arată în **Fig. G2**.

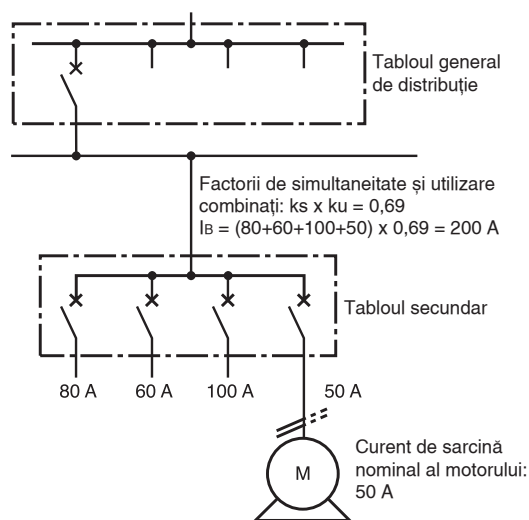


Fig. G2: Calculul curentului maxim de sarcină I_B .

Curentul maxim admisibil: I_z

Reprezintă valoarea maximă a curentului pe care cablajul circuitului o poate suporta un timp nedefinit fără a i se reduce durată normală de viață.

Pentru o secțiune dată a conductorului, valoarea curentului maxim admisibil depinde de anumiți parametri:

- modul constructiv al cablului și conductoarelor (conductor din Cu sau Al, izolație din PVC sau EPR etc., număr de conductoare active);
- temperatura ambiantă;
- metoda de instalare;
- influența circuitelor învecinate.

Supracurenții

Se spune că se produce “supracurent” atunci când curentul depășește valoarea maximă a curentului de sarcină I_B aferent sarcinii respective.

Pentru evitarea deteriorării ireversibile a cablului (sau a receptorului, în cazul în care supracurentul se datorează unui defect al acestuia), acest curent trebuie întrerupt într-un timp care depinde de valoarea sa.

Supracurenți de durată relativ scurtă pot apărea, totuși, în funcționarea normală; se pot distinge două tipuri de supracurenți:

■ Suprasarcini

Acești curenți pot apărea în condiții normale de funcționare datorită unui număr de sarcini care funcționează ocazional, simultan sau pornirilor de motoare, etc. Dacă oricare din aceste condiții persistă mai mult decât o perioadă de timp dată (care depinde de reglajul releului de protecție sau de calibrul fuzibilului), circuitul va fi, în mod automat întrerupt.

■ Curenți de scurtcircuit

Acești curenți se produc datorită deteriorării izolației dintre conductoarele active și/sau dintre conductoarele active și pământ (în cazul sistemelor de legare la pământ prin impedanțe mici), în următoarele variante:

- curent de scurtcircuit trifazat (implicând sau nu conductorul de neutru și/sau conductorul de protecție),
- bifazat (implicând sau nu conductorul de neutru și/sau conductorul de protecție),
- monofazat cu conductorul de neutru (și/sau cu conductorul de protecție).

1.2 Principiile protecției la supracurent

Dispozitivul de protecție este amplasat la începutul circuitului de protejat (vezi Fig. G3 și Fig. G4).

■ Acesta acționează în sensul întreruperii supracurentului într-un timp mai scurt decât cel dat de caracteristica I^2t a circuitului;

■ Permite curentului maxim de sarcină I_B să circule un timp nedefinit.

Caracteristicile I^2t ale conductoarelor izolate atunci când prin acestea circulă un curent de scurtcircuit pentru o perioadă de până la 5 secunde, pot fi determinate, aproximativ, cu formula:

$I^2t = k^2 S^2$ care indică faptul că, în acest caz, căldura generată este proporțională cu pătratul secțiunii conductorului,

unde:

t: durata curentului de scurtcircuit (în secunde)

S: secțiunea conductorului izolat (mm^2)

I: valoare eficace a curentului de scurtcircuit (A_{ef})

k: constantă aferentă conductorului izolat (valorile k^2 sunt date în Fig. G52).

Pentru un conductor izolat dat curentul maxim admis variază în funcție de caracteristicile mediu. De exemplu, în cazul unei temperaturi ridicate ($\theta_{a1} > \theta_{a2}$), I_{z1} este mai mic decât I_{z2} (vezi Fig. G5). θ reprezintă temperatura mediului.

Note:

■ I_{sc} reprezintă curentul de scurtcircuit trifazat;

■ I_{SCB} reprezintă curentul nominal de rupere a întrerupătorului automat;

■ I_r (sau I_{rn})⁽¹⁾ reprezintă nivelul de reglaj al curentului; exemplu: un întrerupător automat de 50 A poate avea pragul de declanșare a protecției reglat la un nivel similar cu cel al unui întrerupător automat de 30 A (vezi Fig. G6).

G4

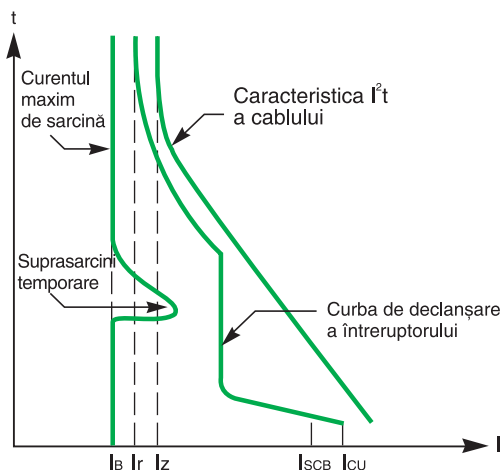


Fig. G3: Protecția circuitului cu ajutorul întrerupătorului automat.

1.3 Valori practice pentru o schemă de protecție

Metodele următoare se bazează pe reguli stabilite prin standarde CEI și sunt puse în practică în multe țări.

Reguli generale

Un dispozitiv de protecție (întrerupător automat sau fuzibil) funcționează corect dacă:

■ curentul său nominal I_n sau curentul reglat I_r este mai mare decât curentul maxim de sarcină I_B , dar mai mic decât curentul maxim admis I_z al cablului, adică: $I_B < I_n < I_z$ corespunzător zonei "a" din Fig. G6;

■ valoarea curentului de declanșare la suprasarcină I_2 , reglat în mod "convențional" este mai mică decât $1,45 I_z$ ceea ce corespunde zonei "b" din Fig. G6.

Durata de declanșare "convențională" poate fi reglată între o oră și 2 ore în funcție de standardele locale și de valoarea aleasă pentru I_2 . În cazul fuzibililor, I_2 este curentul (notat I_f) la care fuzibilul funcționează în timpul convențional;

■ curentul nominal de scurtcircuit al întrerupătorului automat este mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat al circuitului în punctul respectiv al instalației. Aceasta corespunde zonei "c" din Fig. G6.

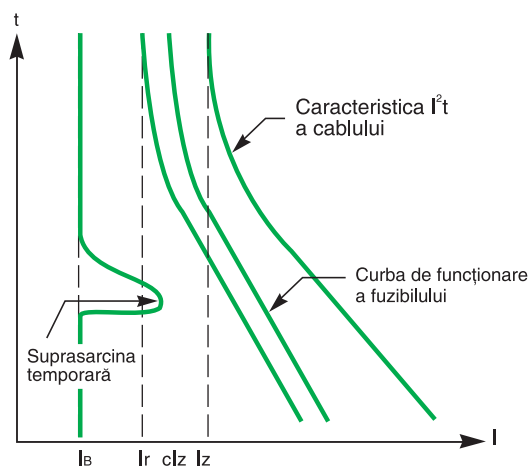


Fig. G4: Protecția circuitului cu ajutorul fuzibilului.

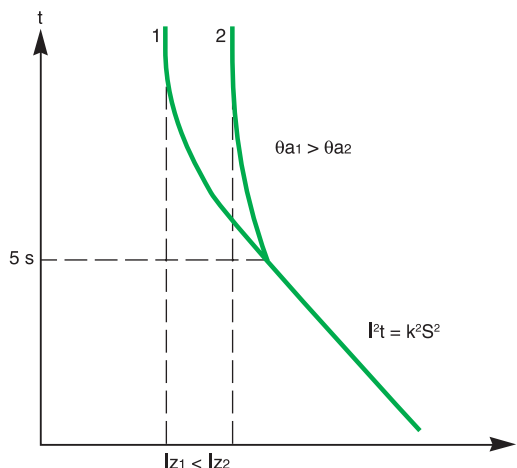


Fig. G5: Caracteristica I^2t a conductorului izolat în funcție de două nivele diferite de temperatură.

(1) Ambele denumiri sunt utilizate frecvent în diferite standarde.

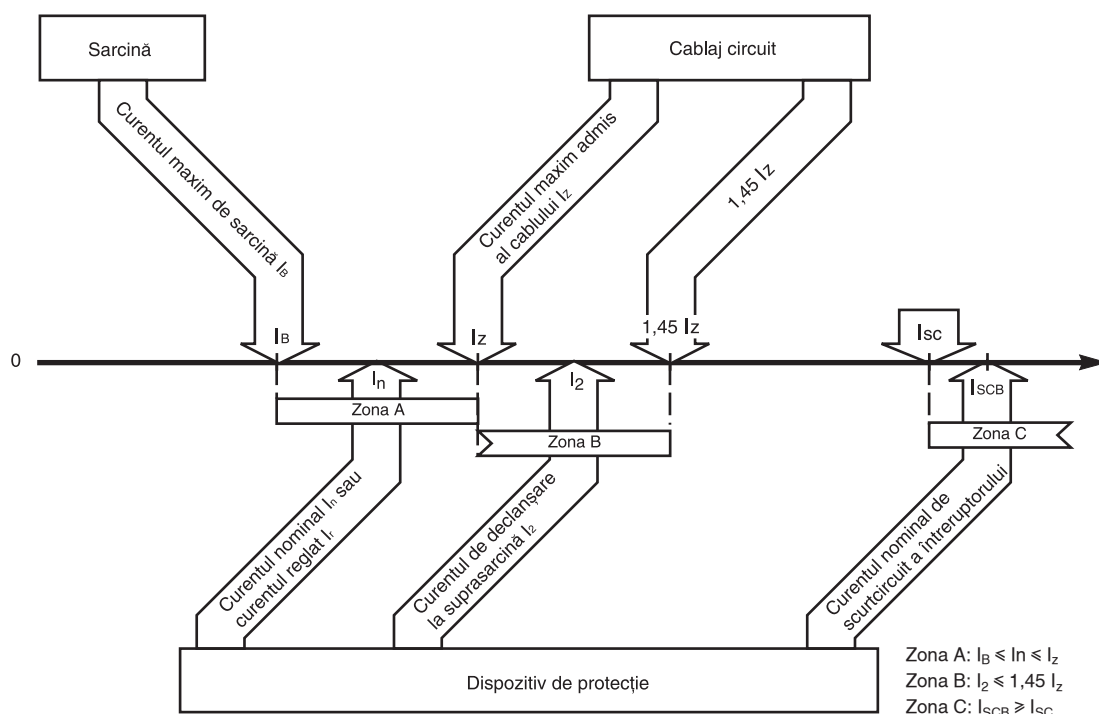


Fig. G6: Nivelele de curent pentru determinarea caracteristicilor întreruptorului sau fuzibilului.

Criterii pentru întreruptoare automate:

$I_B \leq I_n \leq I_Z$ și $I_{SCB} \geq I_{SC}$.

Criteriile pentru fuzibile:

$I_B \leq I_n \leq I_Z/k_3$ și $I_{SCB} \geq I_{SC}$.

Aplicații

■ Protecția prin întreruptor automat:

În virtutea nivelului său ridicat de precizie, curentul I_2 este totdeauna mai mic decât $1,45 I_n$ (sau $1,45 I_Z$), astfel încât, condiția $I_2 \leq 1,45 I_Z$ (așa cum s-a menționat în capitolul "Reguli generale") va fi întotdeauna respectată.

■ Caz particular:

Dacă întreruptorul nu protejează la suprasarcină, este necesar să ne asigurăm că, în cazul valorii minime a curentului de scurtcircuit, protecția la supracurent va funcționa corect. Acest caz particular este analizat în subcapitolul 5.1.

■ Protecția prin fuzibil:

Condiția $I_2 \leq 1,45 I_Z$ trebuie, de asemenea, luată în considerare. I_2 reprezintă curentul de funcționare (la care fuzibilul se topește) și este egal cu $k_2 \times I_n$ (k_2 având valori între 1,6 și 1,9) în conformitate cu tipul de fuzibil respectiv.

Un alt factor, k_3 , a fost introdus ($k_3 = k_2/1,45$) astfel încât, condiția $I_2 \leq 1,45 I_Z$ este valabilă doar dacă $I_n \leq I_Z/k_3$.

Pentru fuzibilele tip gG:

$I_n < 16 \text{ A} \rightarrow k_3 = 1,31$

$I_n \geq 16 \text{ A} \rightarrow k_3 = 1,10$

Mai mult, capacitatea de rupere a fuzibilului I_{SCF} trebuie să fie mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat al circuitului calculat în punctul de amplasare al fuzibilului.

■ Asocierea diferitelor dispozitive de protecție:

Utilizarea unor dispozitive de protecție având capacități de rupere mai mici decât nivelul curentului de scurtcircuit calculat în punctele de amplasare este permisă de CEI și de anumite standarde naționale în următoarele condiții:

□ în amonte este amplasat un alt dispozitiv de protecție care are puterea de rupere necesară, și

□ cantitatea de energie ce poate să treacă prin dispozitivul din amonte este inferioară valorii pe care dispozitivul de protecție din aval, împreună cu întreg cablajul o pot suporta fără a se deteriora.

Dispozitivul de protecție este amplasat, în general, la începutul (originea) fiecărui circuit.

În practică acest lucru este admis:

- în cazul asocierii întreruptor automat/fuzibil,
- în tehnica numită "filiație" în care capacitatea de limitare foarte mare a anumitor tipuri de întreruptoare automate reduce în mare măsură valoarea curentului de scurtcircuit din aval.

Combi-națiile posibile care au fost testate în laborator sunt indicate în documentația tehnică a producătorilor de astfel de dispozitive.

1.4 Amplasarea dispozitivelor de protecție

Reguli generale (vezi Fig. G7a)

Dispozitivul de protecție este amplasat la începutul fiecărui circuit, și acolo unde apare o reducere a curentului maxim admis în calea de curent.

Alternative posibile pentru alte amplasări în anumite circumstanțe (vezi Fig. G7b)

Dispozitivul de protecție poate fi amplasat de-a lungul circuitului:

- dacă porțiunea AB a circuitului nu se găsește în vecinătatea unui material combustibil, sau
- dacă de-a lungul acestei porțiuni nu sunt conectate circuite de prize sau alte elemente de derivație.

Trei cazuri pot fi întâlnite în practică:

- Considerând cazul (1) în diagramă:

- $AB \leq 3 \text{ m}$, și

- porțiunea AB a fost protejată pentru a reduce practic, la minimum, riscul unui scurtcircuit (conductor amplasat în țevi de oțel, de exemplu);

- Considerând cazul (2):

- dispozitivul din amonte P_1 protejează porțiunea AB de conductor împotriva curentului de scurtcircuit în conformitate cu subcapitolul 5.1;

- Considerând cazul (3):

- dispozitivul de protecție la suprasarcină (S), este amplasat adiacent sarcinii. Aceasta este și cazul circuitelor tip motor. Dispozitivul (S) constituie elementul de control (pornire/oprire) și de protecție la suprasarcină a motorului, în timp ce (SC) este sau întreruptor automat (special proiectat pentru protecția motoarelor) sau fuzibil tip aM.

- protecția la scurtcircuit (SC) amplasată în amonte de circuit este în conformitate cu principiile din subcapitolul 5.1.

Circuite fără protecție (vezi Fig. G7c)

Fie:

- Dispozitivul de protecție P_1 este dimensionat pentru a proteja cablul S_2 împotriva suprasarcinii și scurtcircuitului.

Sau:

- Acolo unde întreruperea circuitului constituie un risc, de exemplu:

- circuitul de excitație în cazul mașinilor rotative,
- circuite aferente electromagneților mari în aplicațiile de ridicare,
- circuitele secundare ale transformatoarelor de măsură de curent.

În aceste cazuri, întreruperea circuitelor nu poate fi admisă, deci protecția cablurilor devine de importanță secundară.

1.5 Conductoare în paralel

Conductoarele având aceeași secțiune, aceeași lungime și din același material pot fi conectate în paralel.

Curentul maxim admis este suma curenților maximi aferenți conductoarelor individuale, luându-se în considerare și efectele încălzirii reciproce, metoda de instalare, etc.

Protecția împotriva suprasarcinii și scurtcircuitului este identică cu aceea pentru un singur conductor de secțiune echivalentă.

În scopul evitării riscului de apariție a scurtcircuitului în cazul cablurilor conectate în paralel, trebuie luate următoarele măsuri:

- protecție suplimentară împotriva deteriorării mecanice a cablurilor și împotriva umidității, prin utilizarea unei protecții suplimentare;
- alegerea traseului cablului astfel încât să se evite vecinătatea cu materiale combustibile.

G6

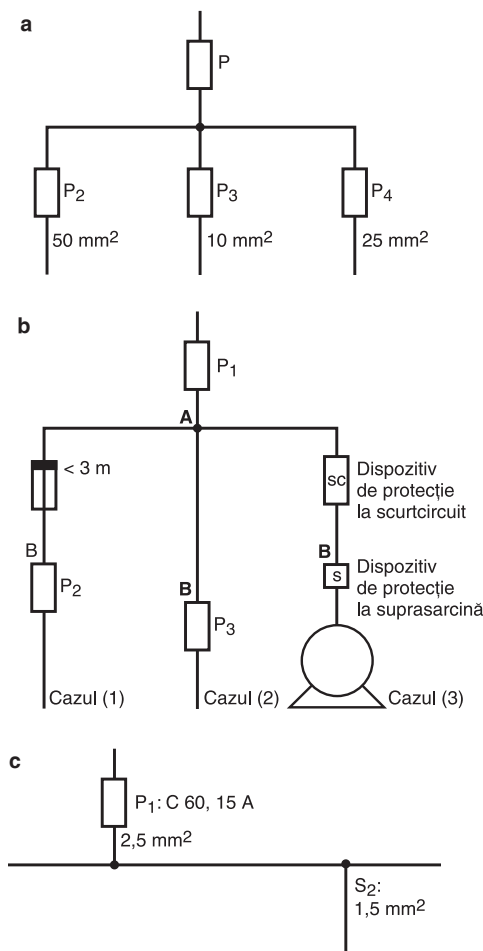


Fig. G7: Amplasarea dispozitivelor de protecție.

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

2.1 Generalități

Standardul internațional, de referință pentru studierea cablării este CEI 60364-5-52: "Instalații electrice în clădiri - Partea 5-52: Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Sistemul de cablare".

Standardul este prezentat aici, pe scurt, cu exemplificarea celor mai utilizate metode de instalare. Capacitatea de transport de curent a conductoarelor, în diferite cazuri, este dată în anexa A a standardului. Metoda simplificată pentru utilizarea tabelelor din anexa A este propusă în anexa informativă B a standardului.

2.2 Metoda generală pentru cabluri

Metode posibile de instalare pentru diferite tipuri de conductoare sau cabluri

În **Tab. G8** sunt prezentate diferite metode de instalare admise în funcție de diferite tipuri de conductoare și cabluri.

Conductoare și cabluri		Metoda de instalare							
		Montaj liber	Fixate cu bride	În tub de protecție	Pat de cabluri (inclusiv cele în tresă sau încastrate în pardoseală)	Canal de cablu	Pe suport vertical tip scară Pe console, suporti de cablu	Pe izolatoare	Pe cablu de susținere
Conductoare neizolate		-	-	-	-	-	-	+	-
Conductoare izolate		-	-	+	+	+	-	+	-
Cabluri cu manta (inclusiv cele armate și cu izolație minerală)	Multifilar	+	+	+	+	+	+	0	+
	Unifilar	0	+	+	+	+	+	0	+

+ Permis.

- Interzis.

0 Nerecomandat sau, în mod normal neutilizat în practică.

Tab. G8: Alegerea sistemelor de cablare (Tabelul 52-1 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Metode posibile de instalare în diferite cazuri:

În diferite cazuri pot fi utilizate metode de instalare adecvate. În **Tab. G9** sunt prezentate combinațiile posibile.
Numărul dat în acest tabel se referă la diferitele sisteme de cablare considerate (vezi, de asemenea **Tab. G10**).

Cazuri	Metoda de instalare							
	Montaj liber	Fixate cu bride	În tub de protecție	Pat de cabluri (inclusiv cele în tresă sau încastrate în pardoseală)	Canal de cablu	Pe suport vertical tip scară Pe console, suporturi de cablu	Pe izolatoare	Pe cablu de susținere
Goluri în clădiri	40, 46, 15, 16	0	15, 16, 41, 42	-	43	30, 31, 32, 33, 34	-	-
Canale de cabluri	56	56	54, 55	0	44, 45	30, 31, 32, 33, 34	-	-
Îngropate în pământ	72, 73	0	70, 71	-		70, 71	0	-
Încastrate în elemente de construcție	57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	-	-
Montate aparent	-	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 22, 23	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	-
Montate aerian	-	-	0	10, 11	-	30, 31, 32, 33, 34	36	35
Îmersate	80	80	0	-	0	0	-	-

- Interzis.
0 Nerecomandat sau, în mod normal neutilizat în practică.

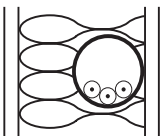
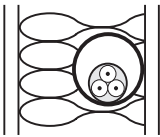

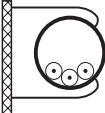

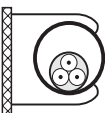

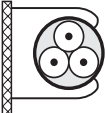
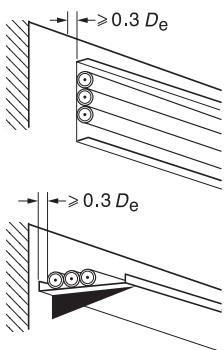
Tab. G9: Construirea sistemului de cablare (Tabelul 52-2 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Exemple de sisteme de cablare și metodele respective de instalare

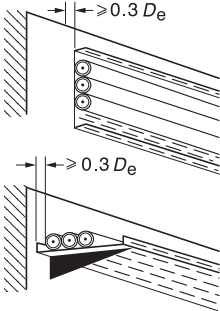
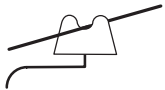
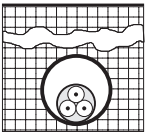
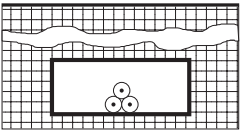
În **Tab. G10** sunt prezentate câteva sisteme diferite de cablare și metodele respective de instalare.

Anumite metode de referință sunt definite (cu litere de cod de la A la G), incluzând metode de instalare având aceleași caracteristici relativ la capacitățile de transport de curent ale sistemului de cablare.

Nr. criteriu	Metoda de instalare	Descriere	Metoda de referință utilizată pentru a obține capacitatea de transport de curent
1	 Camera	Conductoare izolate sau cabluri unifilare în tub, în pereți izolați termic	A1
2	 Camera	Cabluri multifilare în tub în pereți izolați termic	A2
4	 	Conductoare izolate sau cabluri unifilare în tub, pe pereți de lemn sau de zidărie sau distanțate de aceștia la mai puțin de 0,3 x diametrul tubului	B1
5	 	Cabluri multifilare, în tub, pe pereți de lemn sau de zidărie sau distanțate de aceștia la mai puțin de 0,3 x diametrul tubului	B2
20	 	Cabluri unifilare sau multifilare fixate pe un perete de lemn sau distanțate de acesta la mai puțin de 0,3 x diametrul cablului	C
30		Pe pat de cablu neperforat	C

Tab. G10: Exemple de metode de instalare (Parte din Tabelul 52-3 din CEI 60364-5-52) (continuare pe pagina următoare).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Nr. criteriu	Metoda de instalare	Descriere	Metoda de referință utilizată pentru a obține capacitatea de transport de curent
31		Pe pat de cabluri perforat	E sau F
36		Conductoare izolate sau neizolate pe izolatori	G
70		Cabluri multifilare în tub sau în canal de cablu îngropate în pământ	D
71		Cabluri unifilare în tub sau în canal de cablu îngropate în pământ	D

Tab. G10: Exemple de metode de instalare (Parte din Tabelul 52-3 din CEI 60364-5-52) (sfârșit).

Temperatura maximă de funcționare:

Capacitatea de transport de curent dată în tabelul următor a fost determinată astfel încât temperatura maximă a izolației să nu fie depășită pe o durată de timp care ar putea-o deteriora.

Pentru diferite tipuri de materiale de izolație, **Tab. G11** prezintă temperatura maximă admisibilă.

Tipul de izolație	Temperatura limită
Izolație de PVC	70° C la nivelul conductorului
Izolație cu XLPE (polietilenă reticulată) și EPR	90° C la nivelul conductorului
Izolație minerală (acoperit cu PVC sau expus atingerii)	70° C la nivelul mantalei
Izolație minerală (neexpus atingerii și fără riscul unui contact cu materiale combustibile)	105° C la nivelul mantalei

Tab. G11: Temperaturile maxime de funcționare pentru diferite tipuri de izolații (Tabelul 52-4 din CEI 60364-5-52).

Factori de corecție:

Pentru a se lua în considerare anumiți factori de mediu sau diferite condiții speciale de instalare, au fost introduși factori de corecție.

Secțiunea cablurilor se determină pornind de la curentul nominal al sarcinii I_B , împărțit la diferiți coeficienți de corecție, k_1 , k_2 , ...

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 \dots}$$

I'_B este curentul de sarcină corectat, care se va compara cu capacitatea de transport de curent a cablului considerat.

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

■ Temperatura ambiantă

Capacitățile de transport de curent ale cablurilor în aer se definesc la temperatura medie a aerului de 30° C. Pentru alte temperaturi, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G12**, pentru izolație din PVC, EPR și XLPE.

Acest factor de corecție este notat k_1 .

Temperatura ambiantă °C	Tip de izolație	
	PVC	XLPE și EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Tab. G12: Factori de corecție pentru temperaturi ale aerului altele decât 30° C și care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul cablurilor în aer (din Tabelul A 52-14 din CEI 60364-5-52).

Capacitățile de transport de curent ale cablurilor în pământ se definesc considerând o temperatură medie a solului de 20° C. Pentru alte temperaturi, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G13**, pentru izolație din PVC, EPR și XLPE.

Acest factor de corecție este notat k_2 .

Temperatura ambiantă °C	Tip de izolație	
	PVC	XLPE și EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Tab. G13: Factori de corecție pentru temperaturi ale solului altele decât 20° C și care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul cablurilor în tuburi în pământ (din Tabelul A 52-15 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

■ Rezistivitatea termică a solului

Capacitățile de transport de curent ale cablurilor îngropate se definesc considerând o rezistivitate a solului de 2,5 K.m/W. Pentru alte valori, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G14**.

Acest factor de corecție este notat k_3 .

Rezistivitatea termică a solului K.m/W	1	1,5	2	2,5	3
Factor de corecție	1,18	1,1	1,05	1	0,96

Tab. G14: Factori de corecție pentru cabluri îngropate, pentru rezistivități ale solului altele decât 2,5 K.m/W, care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul metodei de instalare de referință D (Tabelul A 52-16 din CEI 60364-5-52).

Din experiență se știe faptul că există o relație între natura solului și rezistivitatea sa. Astfel, în **Tab. G15** sunt prezentate valori empirice pentru factorul k_3 , în funcție de natura solului.

Natura solului	k_3
Sol foarte ud (saturat)	1,21
Sol ud	1,13
Sol umed	1,05
Sol uscat	1,00
Sol foarte uscat	0,86

Tab. G15: Factori de corecție k_3 în funcție de natura solului.

■ Gruparea conductoarelor și cablurilor

Capacitățile de transport de curent date în tabelul de mai jos se referă la un singur circuit alcătuit din următorul număr de conductoare active (încărcate):

□ două conductoare izolate sau două cabluri unifilare sau un cablu cu două conductoare (care se utilizează pentru circuite monofazate),

□ trei conductoare izolate sau trei cabluri unifilare sau un cablu cu trei conductoare (care se utilizează pentru circuite trifazate).

În cazul în care mai multe conductoare izolate sau cabluri sunt instalate alcătuiind un grup, se va aplica un factor de reducere de grup (notat k_4).

Tabelele G16 la G18 dau câteva exemple pentru diferite configurații (metode de instalare în aer sau în pământ).

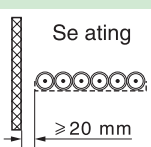
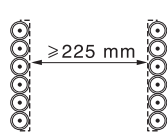
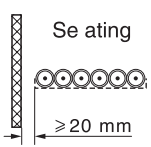
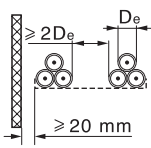
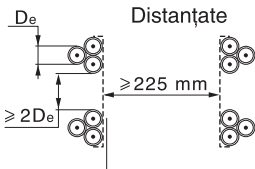
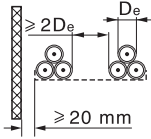
Tabelul G16 dă valorile factorului de corecție k_4 pentru diferite configurații de cabluri sau conductoare neîngropate, grupând mai mult decât un circuit sau un cablu multiconductor.

Aranjament (cabluri care se ating)	Număr de circuite sau cabluri multifilare												Metode de instalare de referință
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Cabluri mânunchi, în aer, încastrate sau îngropate	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	Metoda A la F
Cabluri într-un strat pe perete, podea sau pe pat de cabluri neperforat	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pentru mai mult de 9 circuite sau cabluri multifilare nu există factor de reducere			Metoda C
Cabluri într-un strat fixate direct sub un plafon de lemn	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				Metoda E și F
Cabluri într-un strat amplasate pe pat de cabluri perforat orizontal sau vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
Cabluri într-un strat fixate pe suport tip scară, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Tab. G16: Factori de reducere pentru grupuri de mai mult decât un circuit sau cablu multifilar (Tabelul A.52-17 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Tabelul G17 prezintă valorile factorului de corecție k_4 pentru diferite configurații de cabluri și conductoare neîngropate, pentru grupuri mai mari de circuite, realizate din cabluri unifilare, în aer.

Metoda de instalare			Număr de paturi de cabluri	Număr de circuite trifazate			Utilizarea unui multiplicator pentru
				1	2	3	
Pat de cablu perforat	31		1	0,98	0,91	0,87	Trei cabluri pozate orizontal
			2	0,96	0,87	0,81	
			3	0,95	0,85	0,78	
Pat de cablu perforat vertical	31		1	0,96	0,86		Trei cabluri pozate vertical
			2	0,95	0,84		
Suport tip scară, etc...	32		1	1,00	0,97	0,96	Trei cabluri pozate orizontal
	33		2	0,98	0,93	0,89	
	34		3	0,97	0,90	0,86	
Pat de cablu perforat	31		1	1,00	0,98	0,96	Trei cabluri pozate în treflă
			2	0,97	0,93	0,89	
			3	0,96	0,92	0,86	
Pat de cablu perforat vertical	31		1	1,00	0,91	0,89	
			2	1,00	0,90	0,86	
Suport tip scară, etc...	32		1	1,00	1,00	1,00	
	33		2	0,97	0,95	0,93	
	34		3	0,96	0,94	0,90	

Tab. G17: Factori de reducere pentru grupuri mai mari de circuite cu cabluri unifilare de aplicat valorilor nominale, în aer - Metoda de instalare de referință F (Tabelul A 52-21 din CEI 60364 -5 -52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Tabelul G18 prezintă valorile factorului de corecție k_4 pentru diferite configurații de cabluri sau conductoare instalate direct în pământ.

Număr de circuite	Distanța liberă dintre cabluri (a) ^a				
	Cabluri care se ating	Diametrul unui cablu	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

(a) Cabluri multifilare



(a) Cabluri unifilare



Tab. G18: Factori de reducere pentru mai mult de un circuit, pentru cabluri unifilare sau multifilare instalate direct în pământ - Metoda de instalare D (Tabelul 52-18 din CEI 60364-5-52).

G14

■ Curenții armonici

Capacitatea de transport de curent pentru cabluri trifazate, cu 4 sau 5 fire se bazează pe presupunerea că numai 3 conductoare sunt complet încărcate. Totuși, în cazul în care există curenți armonici, curentul prin conductorul neutru poate avea o valoare semnificativă, chiar mai mare decât curenții de fază. Aceasta se datorează faptului că armonicile 3 de curent de pe cele trei faze nu se anulează fazorial ci, dimpotrivă, se însumează aritmetic pe conductorul neutru.

Aceasta afectează, evident, capacitatea de transport de curent a cablului, și prin urmare este necesar să se aplice un factor de corecție k_5 .

Suplimentar, dacă procentul de armonică 3 (h_3) este mai mare de 33%, curentul prin conductorul neutru este mai mare decât cel prin conductoarele de fază; prin urmare, alegerea secțiunii cablului se bazează pe acesta. Efectul termic al curenților armonici prin conductoarele de fază trebuie, de asemenea, luat în calcul.

Tabelul G19 prezintă valorile coeficientului k_5 în funcție de conținutul de curenți de armonică 3.

Conținut de curent de armonică 3 al curentului de fază, %	Factor de corecție	
	Alegerea secțiunii se bazează pe curentul de fază	Alegerea secțiunii se bazează pe curentul din conductorul neutru
0 - 15	1,0	-
15 - 33	0,86	-
33 - 45	-	0,86
> 45	-	1,0

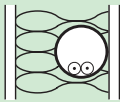
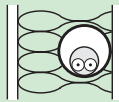
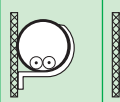
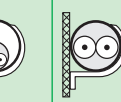
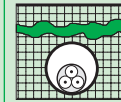

Tab. G19: Factori de corecție pentru curenți armonici în cabluri cu 4 și 5 fire (Tabelul D 52-1 din CEI 60364-5-52).

Curentul admisibil în funcție de secțiunea nominală a conductoarelor

Standardul CEI 60364-5-52 prezintă informații extinse, sub formă de tabele referitoare la curenții admisibili în funcție de secțiunea cablurilor. Sunt luați în considerare mai mulți parametri, precum metoda de instalare, tipul izolației, tipul materialului conductor, numărul de conductoare încărcate.

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Ca un exemplu, **Tab. G20** prezintă capacitățile de transport de curent pentru diferite metode de instalare a cablurilor cu izolație din PVC, din aluminiu sau cupru, trei conductoare încărcate, în aer sau în pământ.

Secțiunea nominală a conductoarelor (mm ²)	Metoda de instalare					
	A1	A2	B1	B2	C	D
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Cupru						
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18
2,5	18	17,5	21	20	24	24
4	24	23	28	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	-	-	299	230
185	245	223	-	-	341	258
240	286	261	-	-	403	297
300	328	298	-	-	464	336
Aluminiu						
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5
4	18,5	17,5	22	21	25	24
6	24	23	28	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	48	59	52
25	57	53	70	62	73	66
35	70	65	86	77	90	80
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	118	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	-	-	227	178
185	194	176	-	-	259	200
240	227	207	-	-	305	230
300	261	237	-	-	351	260

Tab. G20: Capacitățile de transport de curent, în Amperi, pentru diferite metode de instalare pentru conductoare cu izolație din PVC, trifazate, din cupru sau aluminiu, temperatura conductorului: 70° C, temperatura ambiantă: 30° C în aer, 20° C în pământ (Tabelul A.52-4 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

2.3 Metoda simplificată recomandată pentru cabluri

Pentru o alegerea mai ușoară a secțiunilor de cablu, s-au propus două tabele simplificate, pentru cabluri îngropate și neîngropate.

Aceste tabele cuprind cele mai uzuale configurații și permit accesul cel mai ușor la informații.

Cabluri neîngropate:

Metodă de instalare de referință	Număr de conductoare încărcate și tipul de izolație											
A1		2 PVC	3 PVC		3 XLPE	2 XLPE						
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					
C					3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
E						3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE	
F							3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Secțiunea (mm ²)												
Cupru												
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	13,5	22	23	24	26	-
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679
Aluminiu												
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	-
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

Tab. G21a: Capacitatea de transport de curent, în Amperi (Tabelul B.52-1 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Factorii de corecție sunt prezentați în **Tab. G21b** pentru grupuri de câteva circuite sau cabluri multifilare:

Aranjament	Număr de circuite sau cabluri multifilare								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Îngropate sau în protejate	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Cabluri într-un strat pe perete, podea sau pe pat de cabluri neperforat	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
Cabluri într-un strat fixate direct sub un plafon	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
Cabluri într-un strat amplasate pe pat de cabluri perforat orizontal/vertical	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
Cabluri într-un strat fixate pe suport tip scară, etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

Tab. G21b: Factori de reducere pentru grupuri de circuite sau cabluri multifilare (Tabelul B.52-3 din CEI 60364-5-52).

Cabluri îngropate:

Metodă de instalare de referință	Secțiune mm ²	Număr de conductoare încărcate și tipul de izolație			
		Două PVC	Trei PVC	Două XLPE	Trei XLPE
D	Cupru				
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396
D	Aluminiu				
	2,5	22	18,5	26	22
	4	29	24	34	29
	6	36	30	42	36
	10	48	40	56	47
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
	300	313	260	364	308

Tab. G22: Capacitatea de transport de curent, în Amperi (Tabelul B.52-1 din CEI 60364-5-52).

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

2.4 Sisteme de bare capsulate

Alegerea sistemelor de bare capsulate poate fi realizată utilizând datele furnizate de producător. Metodele de instalare, tipul de izolație, factorii de corecție în caz de grupare nu sunt parametri relevanți în acest caz. Secțiunea oricărui tip de bară capsulată este determinată de producătorul acesteia în funcție de:

- curențul nominal;
- temperatura ambiantă considerată a fi 35° C;
- 3 conductoare încărcate.

Curențul nominal

Curențul nominal poate fi calculat în funcție de:

- locul de amplasare;
- curențul absorbit de diferitele sarcini conectate în lungul sistemului de bare.

Temperatura ambiantă

Pentru temperaturi superioare lui 35° C trebuie aplicat un factor de corecție. Valorile factorului de corecție aplicat în cazul sistemelor de putere medie și mare (până la 4000 A) sunt date în **Tab. G23a**.

°C	35	40	45	50	55
Factor de corecție	1	0,97	0,93	0,90	0,86

Tab. G23a: Factorul de corecție pentru temperaturi ambiante mai mari de 35° C.

Curențul prin bara de neutru

În cazul în care există curenți de armonică 3, prin bara de neutru poate circula un curent semnificativ; prin urmare, trebuie luate în considerare pierderi suplimentare de putere.

Figura G23b prezintă curenții maximi admisibili prin barele de fază și neutru (pe unitate), într-un sistem de bare capsulate, în funcție de nivelul armonicii 3 de curent.

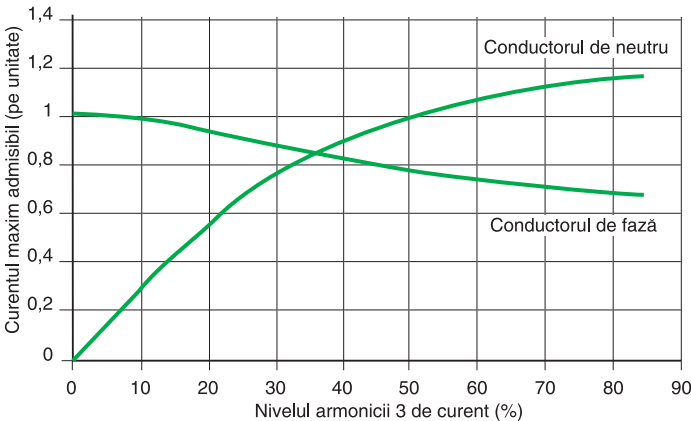


Fig. G23b: Curenții maximi admisibili (pe unitate) într-un sistem de bare capsulate în funcție de nivelul armonicii 3 de curent.

2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Modul de amplasare al sistemului de bare capsulate depinde de poziția consumatorilor, locul de amplasare al sursei de alimentare și de posibilitățile de fixare.

- un singur tronson de bară poate deservi o zonă de 4 la 6 metri;
- dispozitivele de protecție pentru cablurile de alimentare ale consumatorilor sunt amplasate în cofrete de derivație conectate direct pe sistemul de bare;
- o singură linie de alimentare alimentează toți consumatorii de pe sistemul de bare, indiferent de puterea acestora.

Odată ce sistemul de bare a fost stabilit, este posibil să se calculeze curentul absorbit I_n pe linia de distribuție.

I_n este egal cu suma curenților absorbiți I_B de către fiecare consumator: $I_n = \sum I_B$. Consumatorii nu vor funcționa toți, în același timp și, de asemenea, nu funcționează permanent la putere maximă, astfel încât se va utiliza coeficientul de cerere simultană, k_S : $I_n = \sum (I_B \cdot k_S)$.

Aplicație	Număr de consumatori de curent	Coeficientul K_s
Iluminat, încălzire		1
Distribuție (ateliere)	2 la 3	0,9
	4 la 5	0,8
	6 la 9	0,7
	10 la 40	0,6
	≥ 40	0,5

Notă: În cazul instalațiilor industriale se va ține cont de posibilitățile de evoluție a echipamentelor de bază. Ca și în cazul tablourilor electrice, este necesară păstrarea unei rezerve de cca. 20 %: $I_n \leq I_B \times k_S \times 1,2$.

Tab. G24: Coeficientul de cerere simultană în funcție de numărul de consumatori de curent.

Impedanța circuitelor este scăzută dar nu neglijabilă: atunci când transportă curentul de sarcină există o cădere de tensiune între originea circuitului și sarcină. Funcționarea corectă a fiecărei sarcini (motor, circuit de iluminat, etc.) depinde de tensiunea aplicată, aceasta fiind menținută la o valoare stabilă, apropiată de valoarea nominală. Este necesar, deci, să dimensionăm conductoarele circuitelor astfel încât, la curentul nominal, tensiunea la bornele sarcinii să fie menținută în limitele cerute de aceasta, pentru a obține performanțele nominale. Acest subcapitol se referă la metodele de determinare a căderii de tensiune pentru a se verifica faptul că aceasta:

- corespunde standardelor și normelor în vigoare;
- poate fi acceptabilă pentru sarcină;
- îndeplinește condițiile importante de funcționare.

3.1 Limita maximă a căderii de tensiune

Căderea de tensiune maximă admisibilă variază de la țară la țară. Valorile tipice pentru instalațiile de joasă tensiune sunt date în **Tab. G25**.

Tipul de instalație	Iluminat	Alte aplicații (Încălzire și de putere)
Alimentare de la rețeaua de distribuție publică	3%	5%
Post de transformare MT/JT alimentat de la rețeaua de medie tensiune publică	6% (8%)	8% (10%)

Tab. G25: Căderea maximă de tensiune dintre punctul de conexiune la rețeaua de alimentare și punctul de utilizare.

G20

Notă: Valorile dintre paranteze sunt cele prevăzute de norma română (NP-I7/2002). Aceste limite ale căderilor de tensiune se referă la condiții standard de funcționare și nu se aplică, de exemplu, pe perioada de pornire a motoarelor; conectarea simultană (din întâmplare) a mai multor sarcini, etc. așa cum s-a menționat în capitolul A, subcapitolul 4.3 (factorul de simultaneitate, etc.).

Atunci când căderea de tensiune depășește valorile indicate în **Tab. G25**, trebuie utilizate cabluri de secțiuni mai mari care conduc la satisfacerea condițiilor din normele aplicabile.

Atunci când este acceptabilă, valoarea de 8% poate conduce, în cazul sarcinii de tip motor, la anumite probleme în funcționare, de exemplu:

- în general, o funcționare la performanțe satisfăcătoare pentru un motor, impune o abatere a tensiunii de $\pm 5\%$ din valoarea tensiunii nominale;
- curentul de pornire al unui motor poate fi de 5 - 7 ori curentul nominal, sau chiar mai mare. Dacă se obține o cădere de tensiune de 8% în condiții de curent nominal, atunci, pe durata pornirii, aceasta avea o valoare de 40% sau mai mult. În aceste condiții, motorul:

□ fie, nu va porni (datorită cuplului de pornire insuficient) având consecințe legate de supraîncălzire și eventual declanșarea protecției,

□ fie, va accelera foarte încet, astfel încât, curentul mare la pornire (care poate avea efecte nedorite asupra funcționării altor echipamente) va continua mult peste perioada normală de pornire a motorului;

- în final, o cădere de tensiune de 8% reprezintă o pierdere de putere (E_2/R Watts), ceea ce, pentru sarcinile continue înseamnă o pierdere importantă de energie. Din aceste motive este recomandat ca o cădere de tensiune de la 8% în condiții normale de funcționare să nu fie realizată în cazul circuitelor care sunt sensibile la tensiuni scăzute (vezi **Fig. G26**).

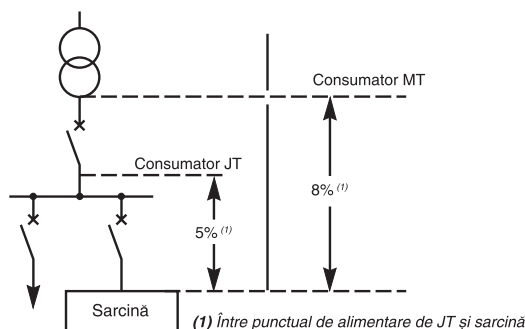


Fig. G26: Căderea maximă de tensiune.

3.2 Calculul căderii de tensiune în condiții de funcționare în regim permanent

Formulele uzuale

Tabelul G27 prezintă formulele uzuale pentru calculul căderii de tensiune pentru un circuit dat, pe kilometru de lungime.

Dacă:

- I_B : curentul nominal de sarcină, în amperi
- L : lungimea cablului, în kilometri
- R : rezistența cablului, în Ω/km

$$R = \frac{22,5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{sect. în mm}^2)} \text{ pentru cupru}$$

$$R = \frac{36 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{sect. în mm}^2)} \text{ pentru aluminiu}$$

Notă: R este neglijabil pentru secțiuni mai mari de 500 mm².

- X : reactanța inductivă a cablului (Ω/km)

Notă: X este neglijabil pentru secțiuni mai mici de 50 mm². În absența oricăror altor informații, X se va considera ca având valoarea de 0,08 (Ω/km).

- φ : unghiul de defazaj dintre tensiune și curent în cazul circuitului considerat general:

□ în cazul circuitelor de iluminat: $\cos \varphi = 1$

□ în cazul motoarelor :

- la pornire: $\cos \varphi = 0,35$

- în funcționare normală: $\cos \varphi = 0,8$

- U_n : tensiunea de linie (dintre faze)

- V_n : tensiunea de fază (fază/neutru).

Pentru ghețele și barele prefabricate, rezistențele și inductanțele sunt date de către producător.

G21

Circuit	Cădere de tensiune (ΔU)	
	în volți	în %
Bifazat: fază/fază	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Monofazat: fază/neutru	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
Trifazat echilibrat: 3 faze (cu sau fără neutru)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Tab. G27: Formulele de calcul ale căderilor de tensiune.

Tabel de calcul simplificat

Calculul poate fi evitat prin utilizarea **Tab. G28** care prezintă, printr-o aproximare acceptabilă, căderile de tensiune, pe fază, pe km de cablu, pe amper, în funcție de:

- tipurile de circuite utilizate: circuite tip motor având $\cos \varphi$ apropiat de 0,8 sau circuite de iluminat având $\cos \varphi$ apropiat de unitate;
- tipul de cablu: monofazat sau trifazat.

Căderea de tensiune pe un cablu este dată de relația:

$$K \times I_B \times L$$

unde:

K : este dat în tabel

I_B : este curentul maxim de sarcină, în Amperi

L : lungimea cablului, în km.

Coloana "Puterea motorului $\cos \varphi = 0,35$ " din **Tab. G28** poate fi utilizată pentru calcularea căderii de tensiune pe perioada de pornire a motorului (vezi ex. 1 după **Tabelul G28**).

Secțiunea în mm ²		Circuit monofazat			Circuit trifazat echilibrat		
		Motor		Iluminat	Motor		Iluminat
		Funct. normală	La pornire		Funct. normală	La pornire	
Cu	Al	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

Tab. G28: Căderea de tensiune pe fază, ΔU în Volți pe Amper pe km.

G22

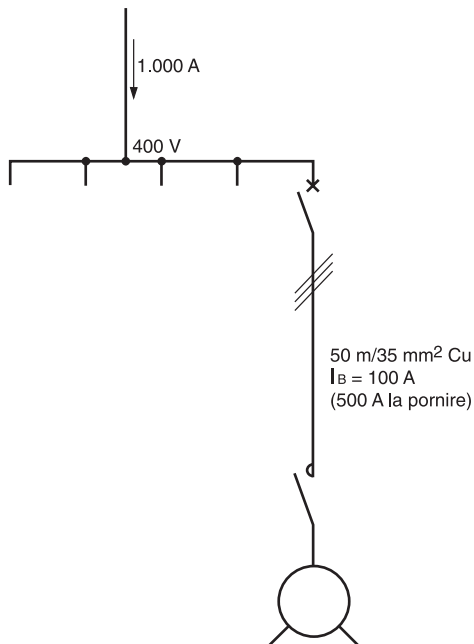


Fig. G29: Exemplul 1.

Exemple

Exemplul 1 (vezi Fig. G29)

Un cablu trifazat de cupru de lungime 50 m și secțiune 35 mm² alimentează un motor de 400 V având:

- 100 A, la cos φ = 0,8 și încărcare normală;
- 500 A (5 I_n), la cos φ = 0,35 la pornire.

Căderea de tensiune în amonte de circuitul motorului, în condiții normale (tabloul din Fig. G29 având 1000 A) are valoarea de 10 V între faze.

Care este căderea de tensiune pe circuitul motorului:

- în cazul funcționării normale?
- la pornire?

Soluție:

- căderea de tensiune în condiții normale de funcționare:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Tabelul G28 (de mai sus) indică 1 V/A/km adică:

$$\Delta U \text{ pentru cablu} = 1 \times 100 \times 0,05 = 5 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{total}} = 10 + 5 = 15 \text{ V}$$

Prin urmare:

$$\frac{15}{400} \times 100 = 3,75\%$$

Această valoare este mai mică decât cea admisibilă (8%), deci este satisfăcătoare.

- căderea de tensiune la pornirea motorului:

$$\Delta U_{\text{cablu}} = 0,52 \times 500 \times 0,05 = 13 \text{ V}$$

Datorită curentului superior de pornire necesar motorului, căderea de tensiune la nivelul tabloului de distribuție va depăși valoarea de 10 V.

Considerând valoarea totală a curentului în tablou, pe perioada de pornire a motorului de 900 + 500 = 1400 A, atunci căderea de tensiune la nivelul tabloului va crește aproximativ proporțional.

$$\frac{10 \times 1,400}{1,000} = 14 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ tablou de distribuție} = 14 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ cablu motor} = 13 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{total}} = 13 + 14 = 27 \text{ V adică:}$$

$$\frac{27}{400} \times 100 = 6,75\%, \text{ o valoare care este satisfăcătoare pe durata pornirii motorului.}$$

3 Determinarea căderii de tensiunii

Exemplul 2 (vezi Fig. G30)

Printr-un circuit trifazat cu 4 conductoare din cupru, de secțiune 70 mm^2 și lungime 50 m trece un curent de 150 A. Linia alimentează printre altele, trei circuite monofazate de iluminat, fiecare de secțiune $2,5 \text{ mm}^2$, 20 m lungime și parcurse de un curent de valoare 20 A.

Se consideră că rețeaua este echilibrată și că cele trei circuite de iluminat sunt conectate în același punct.

Care este căderea de tensiune pe circuitele de iluminat?

Soluție:

■ Căderea de tensiune pe circuitul trifazat cu 4 conductoare este:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Tabelul G28 indică $0,55 \text{ V/A/km}$

■ $U_{\text{linie}} = 0,55 \times 150 \times 0,05 = 4,125 \text{ V}$ între faze,

ceea ce înseamnă: $\frac{4,125}{\sqrt{3}} = 2,38 \text{ V}$ între fază și neutru.

■ Căderea de tensiune pe fiecare circuit monofazat de iluminat:

ΔU pentru un circuit monofazat = $18 \times 20 \times 0,02 = 7,2 \text{ V}$

Căderea de tensiune totală:

$7,2 + 2,38 = 9,6 \text{ V}$

$$\frac{9,6 \text{ V}}{230 \text{ V}} \times 100 = 4,2\%$$

Această valoare a căderii de tensiune este satisfăcătoare fiind mai mică decât valoarea maximă admisibilă de 6%.

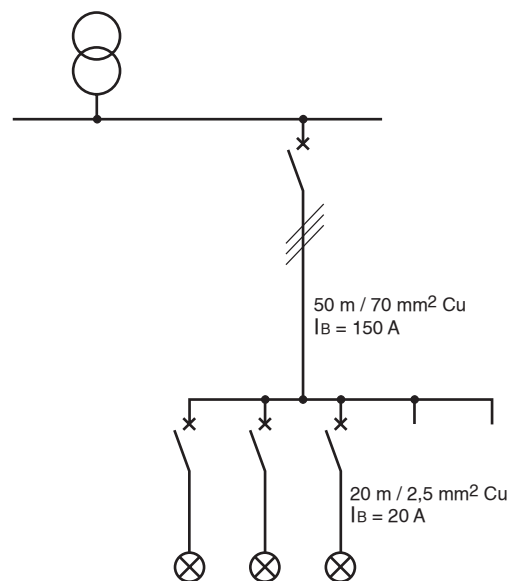


Fig. G30: Exemplul 2.

Cunoașterea valorilor curentului de scurtcircuit trifazat simetric (I_{sc}) în diferite puncte ale instalației este o cerință foarte importantă a activității de proiectare.

Cunoașterea valorilor curentului de scurtcircuit trifazat simetric (I_{sc}) în punctele strategice ale instalației este necesară pentru a dimensiona echipamentul de comutație (valorile curenților de defect), cablurile (verificarea stabilității termice), dispozitivele de protecție (setarea corectă a protecțiilor - selectivă) și așa mai departe...

În continuare, va fi analizat un scurtcircuit trifazat net (de impedanță zero) alimentat printr-un transformator de distribuție MT/JT. Cu excepția unor cazuri speciale, acest tip de defect este cel mai sever și este, cu siguranță, cel mai simplu de calculat. Curenții de scurtcircuit care se produc în rețele alimentate de la generatoare sincrone și în circuitele de curent continuu sunt prezentați în capitolul N. Pentru proiectarea instalațiilor electrice, calculele simplificate și regulile practice care urmează dau rezultate destul de precise pentru marea majoritate a cazurilor.

4.1 Curentul de scurtcircuit la bornele de joasă tensiune ale transformatoarelor de distribuție MT/JT

Cazul unui singur transformator

■ Ca o primă aproximație, impedanța rețelei de medie tensiune se poate neglija,

astfel încât, $I_{sc} = \frac{I_n \times 100}{U_{sc}}$, unde $I_n = \frac{P \times 10^3}{U_{20} \sqrt{3}}$ și:

P = kVA este puterea nominală a transformatorului

U_{20} = tensiunea de linie în secundarul transformatorului, în gol

I_n = curentul nominal, în amperi

I_{sc} = curentul de scurtcircuit, în amperi

U_{sc} = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, în %

Valorile tipice ale U_{sc} pentru transformatoarele de distribuție sunt date în **Tab. G31**.

Puterea transformatorului (kVA)	U _{sc} în %	
	Transformatoare în ulei	Transformatoare uscate
50 la 750	4	6
800 la 3.200	6	6

Tab. G31: Valorile tipice ale U_{sc} pentru diferite puteri nominale de transformatoare cu tensiuni primare ≤ 20 kV.

■ Exemple

Cazul unui transformator de 400 kVA, 242/420 V în gol.

$U_{sc} = 4\%$

$$I_n = \frac{400 \times 10^3}{420 \times \sqrt{3}} = 550 \text{ A} \quad I_{sc} = \frac{550 \times 100}{4} = 13,7 \text{ kA}$$

Cazul mai multor transformatoare montate în paralel care alimentează o bară de distribuție.

Valoarea curentului de scurtcircuit aferent unei plecări aflate imediat în aval de sistemul de bare (vezi **Fig. G32**) poate fi estimată ca o sumă a curenților de scurtcircuit corespunzători fiecărui transformator, calculați individual.

Se presupune că toate transformatoarele sunt alimentate din aceeași rețea de medie tensiune, în care caz, valorile însumate obținute din **Tab. G31** dau o valoare ușor mai mare decât cea reală.

Alți parametri care nu au fost luați în considerare ar putea fi impedanțele sistemului de bare și ale întreruptoarelor.

Valorile curenților de scurtcircuit astfel obținute sunt, însă, suficient de precise pentru calcule de proiectare. Alegerea întreruptoarelor și/sau a dispozitivelor de protecție împotriva curenților de scurtcircuit este prezentată în capitolul H, secțiunea 4.4.

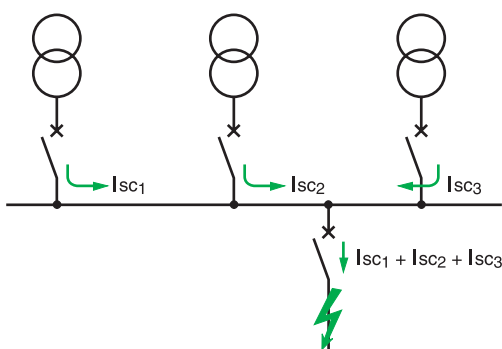


Fig. G32: Cazul mai multor transformatoare conectate în paralel.

4.2 Curentul de scurtcircuit trifazat (I_{sc}) în orice punct al unei instalații de joasă tensiune

Curentul de scurtcircuit trifazat, I_{sc} , în orice punct al unei instalații electrice este dat de relația:

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

unde:

U_{20} = tensiunea de linie, în gol, aferentă înfășurărilor secundare ale transformatorului

Z_T = impedanța totală, pe fază, a instalației din amonte de locul producerii defectului (în Ω)

Metoda de calcul a Z_T

Fiecare componentă a unei instalații (rețeaua de medie tensiune, transformator, cablu, întreruptor, sistem de bare, etc.) se caracterizează printr-o impedanță proprie Z , alcătuită dintr-un element rezistiv (R) și o reactanță inductivă (X). Este de notat faptul că reactanța capacitivă nu este importantă pentru calculul curenților de scurtcircuit.

Parametrii R , X și Z sunt exprimați în ohmi, și sunt ca laturile unui triunghi dreptunghic, așa cum sunt arătați în diagrama impedanțelor din **Fig. G33**.

Metoda constă în divizarea rețelei în secțiuni convenabile și în calculul valorilor R și X pentru fiecare dintre acestea.

Acolo unde, în rețea, secțiunile sunt conectate în serie, toate elementele rezistive se adună aritmetic; la fel, reactanțele, pentru a obține valorile R_T și X_T . Impedanța (Z_T) pentru secțiunile combinate se calculează apoi cu relația:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

În cazul în care, pentru oricare două secțiuni ale rețelei conectate în paralel, predomină componenta rezistivă sau inductivă, acestea pot fi calculate astfel:

Fie R_1 și R_2 două rezistențe conectate în paralel; atunci, rezistența echivalentă R_3 va fi data de relația:

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \text{ iar reactanța echivalentă } X_3 = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2}$$

Este de reținut faptul că, pentru calculul lui X_3 vor conta doar inductanțele proprii circuitelor, nu și inductanțele mutuale. Dacă circuitele conectate în paralel sunt învecinate, atunci reactanța echivalentă X_3 va avea o valoare sensibil mai mare.

Determinarea impedanței fiecărei componente

■ Rețeaua din amonte de transformatorul MT/JT (vezi **Tab. G34**)

Curentului de scurtcircuit trifazat, P_{sc} , exprimat în kA sau MVA⁽¹⁾ este dat de autoritatea furnizoare de la care poate fi dedusă valoarea impedanței echivalente.

P_{sc}	U_o (V)	R_a (m Ω)	X_a (m Ω)
250 MVA	420	0,07	0,7
500 MVA	420	0,035	0,351

Tab. G34: Impedanța rețelei de medie tensiune raportată la partea de joasă tensiune a transformatorului MT/JT.

Formula care face această deducție și, în același timp o convertește la o impedanță echivalentă raportată la JT este următoarea:

$$Z_s = \frac{U_o^2}{P_{sc}}$$

unde:

Z_s = impedanța rețelei de medie tensiune, exprimată în m Ω

U_o = tensiunea de linie, în gol, pe partea de JT, exprimată în V

P_{sc} = puterea de scurtcircuit trifazat, exprimat în kVA.

Rezistența rețelei MT din amonte, R_a este, în general, neglijabilă în comparație cu reactanța X_a , aceasta fiind considerată ca o valoare ohmică aproximativă a lui Z_a . Dacă sunt necesare calcule mai precise, R_a poate fi considerat egal cu $0,1X_a$, iar X_a poate fi considerată a fi egală cu $0,995 Z_a$.

Tabelul G34 prezintă valorile R_a și X_a corespunzătoare unor puteri de scurtcircuit MT⁽²⁾ uzuale, anume 250 MVA și 500 MVA.

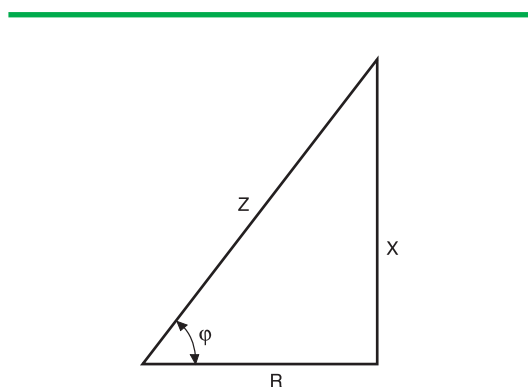


Fig. G33: Diagrama impedanțelor.

(1) Puterea de scurtcircuit MVA: $\sqrt{3} E_L I_{sc}$ unde:
 ■ E_L : valoarea nominală a tensiunii de linie, exprimată în kV (ef.);
 ■ I_{sc} : curentul de scurtcircuit trifazat, exprimat în kA (ef.).
 (2) Până la 36 kV.

■ Transformatoare (vezi Fig. G35)

Impedanța Z_{tr} a unui transformator, văzută la bornele de joasă tensiune, este dată de relația:

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$$

Unde:

U_{20} = valoarea nominală a tensiunii de linie, în gol, exprimată în Volți

P_n = puterea nominală a transformatorului, în kVA

U_{sc} = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, exprimată în %.

Rezistența înfășurărilor transformatorului, R_{tr} poate fi calculată cunoscându-se pierderile totale, precum urmează:

$$P_{cu} = 3I_n^2 \times R_{tr}, \text{ astfel încât } R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}, \text{ în miliohmi}$$

Unde:

P_{cu} = pierderile totale, în Wați

I_n = valoarea nominală a curentului, în Amperi

R_{tr} = rezistența pe fază a transformatorului, în mΩ (rezistențele înfășurărilor de medie tensiune și de joasă tensiune aferente unei faze sunt incluse în această valoare).

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Pentru un calcul aproximativ, R_{tr} poate fi ignorat întrucât $X \approx Z$ în cazul transformatoarelor de distribuție standard.

G26

Puterea nom. a transform. (kVA)	Transformatoare în ulei				Transformatoare uscate (în rășină)			
	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)
100	4	37,9	59,5	70,6	6	37,0	99,1	105,8
160	4	16,2	41,0	44,1	6	18,6	63,5	66,2
200	4	11,9	33,2	35,3	6	14,1	51,0	52,9
250	4	9,2	26,7	28,2	6	10,7	41,0	42,3
315	4	6,2	21,5	22,4	6	8,0	32,6	33,6
400	4	5,1	16,9	17,6	6	6,1	25,8	26,5
500	4	3,8	13,6	14,1	6	4,6	20,7	21,2
630	4	2,9	10,8	11,2	6	3,5	16,4	16,8
800	6	2,9	12,9	13,2	6	2,6	13,0	13,2
1,000	6	2,3	10,3	10,6	6	1,9	10,4	10,6
1,250	6	1,8	8,3	8,5	6	1,5	8,3	8,5
1,600	6	1,4	6,5	6,6	6	1,1	6,5	6,6
2,000	6	1,1	5,2	5,3	6	0,9	5,2	5,3

Tab. G35: Valori de rezistență, reactanță și impedanță pentru transformatoare tipice de distribuție cu înfășurări MT ≤ 20kV.

■ Întreruptoare automate

În circuitele de joasă tensiune, impedanța întreruptoarelor situate în amonte de locul de defect trebuie luată în considerare. În mod convențional, valoarea reactanței se presupune a fi 0,15 mΩ/întreruptor, în timp ce valoarea rezistenței este neglijabilă.

■ Sistemul de bare

Rezistența sistemului de bare este în general, neglijabilă, astfel încât impedanța sa este, practic, în întregime reactivă, fiind de valoare 0,15 mΩ/m⁽¹⁾ (dublarea distanței dintre bare poate conduce la creșterea reactanței cu cca. 10%).

■ Conductoarele circuitelor

Rezistența conductorului este dată de relația: $R_c = \rho \frac{L}{S}$
unde:

ρ = rezistivitatea electrică a materialului conductorului la temperatura normală de funcționare:

□ 22,5 mΩ.mm²/m pentru cupru

□ 36 mΩ.mm²/m pentru aluminiu

L = lungimea conductorului, în metri

S = secțiunea conductorului, în mm².

(1) Pentru sistemele la 50 Hz; la 60 Hz se va considera 0,18 mΩ/m.

4 Curentul de scurtcircuit

Valorile reactanțelor cablului pot fi obținute de la producător. Pentru secțiuni mai mici de 50 mm², reactanța poate fi neglijată. În absența altor informații, pentru sistemele la 50 Hz, poate fi utilizată o valoare de 0,08 mΩ/m, iar pentru sistemele la 60 Hz, se va considera 0,096 mΩ/m. Pentru barele capsulate ca și pentru alte sisteme de ghene prefabricate, trebuie consultat producătorul.

■ Motoare

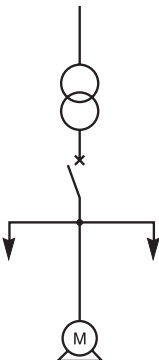
În momentul unui scurtcircuit, un motor în funcțiune va trece (pentru o scurtă perioadă de timp) în regim de generator și va injecta un curent electric în locul de defect.

În general, contribuția acestei injecții de curent poate fi ignorată. Totuși, pentru calcule mai precise, în mod special în cazul motoarelor de puteri mari și/sau a mai multor motoare de puteri mici, contribuția totală poate fi estimată utilizând formula: $I_{scm} = 3,5 I_n$ pentru fiecare motor, respectiv, $3,5 m I_n$ pentru m motoare similare care funcționează simultan. Sunt luate în considerare numai motoare trifazate întrucât contribuția motoarelor monofazate este insignifiantă.

■ Rezistența arcului electric

Defectele de scurtcircuit produc, în general, un arc electric cu proprietăți rezistive. Rezistența nu este stabilă iar valoarea sa medie este scăzută, dar, la joasă tensiune, această rezistență este suficientă pentru a reduce curentul de defect aferent. Experiența a arătat faptul că această reducere poate ajunge la până la 20%. Acest fenomen ușurează sarcina întreruptorului relativ la procesul de deconectare, dar nu afectează capacitatea de închidere a contactelor pe scurtcircuit.

■ Tabel recapitulativ (vezi Tab. G36)

Componente ale sistemului de alimentare	R (mΩ)	X (mΩ)
 Rețeaua de alimentare Tab. G34	$\frac{R_a}{X_a} = 0,1$ R poate fi neglijabil în comparație cu X	$X_a = 0,995 Z_a$; $Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$
Transformator Tab. G35	$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$ R _{tr} este adeseori neglijabil în comparație cu X _{tr} pentru transformatoare > 100 kVA	$\sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$ cu $Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$
Întreruptor	Neglijabil	$X_D = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{pol}$
Sistemul de bare	Neglijabil pentru $S > 200 \text{ mm}^2$ în formula: $R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	$X_B = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$
Conductoare ⁽²⁾	$R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	Cabluri: $X_C = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$
Motoare	Vezi secțiunea 4.2 Motoare (adesea neglijabilă la JT)	
Curent de scurtcircuit trifazat în kA	$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$	

U_{20} = tensiunea de linie, în gol, în secundarul transformatorului MT/JT, în volți

P_{sc} = puterea de scurtcircuit trifazat la bornele de medie tensiune ale transformatorului MT/JT, în kVA

P_{cu} = pierderile totale trifazate ale transformatorului MT/JT, în Wați

P_n = puterea nominală a transformatorului, în kVA

U_{sc} = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului MT/JT, în %

R_T = rezistența totală; X_T = reactanța totală

(1) ρ = rezistivitatea electrică a materialului conductorului la temperatura normală de funcționare

■ 22,5 mΩ.mm²/m pentru cupru;

■ 36 mΩ.mm²/m pentru aluminiu.

(2) În cazul mai multor conductoare în paralel pe fază, atunci rezistența totală se calculează prin divizarea rezistenței unui conductor la numărul de conductoare. Reactanța rămâne, practic, neschimbată.

Tab. G36: Tabel recapitulativ referitor la impedanțele diferitelor părți componente ale unui sistem de alimentare cu energie electrică.

■ Exemplu de calcul al curentului de scurtcircuit (vezi Tab. G37)

Instalația JT	R (mΩ)	X (mΩ)	RT (mΩ)	XT (mΩ)	$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$
Rețeaua MT P _{sc} = 500 MVA	0,035	0,351			
Transformator 20 kV/420 V P _n = 1000 kVA U _{sc} = 5% P _{cu} = 13,3 x 10 ³ W	2,24	8,10			
Cablu unifilar 5 m cupru 4 x 240 mm ² /fază	$R_c = \frac{22,5}{4} \times \frac{5}{240} = 0,12$	$X_c = 0,08 \times 5 = 0,40$	2,41	8,85	I _{sc1} = 26 kA
Înterruptor principal	R _D = 0	X _D = 0,15			
Sistem de bare 10 m	R _B = 0	X _B = 1,5	2,41	10,5	I _{sc2} = 22 kA
Cablu multifilar 100 m 95 mm ² cupru	$R_c = 22,5 \times \frac{100}{95} = 23,68$	$X_c = 100 \times 0,08 = 8$	26,1	18,5	I _{sc3} = 7,4 kA
Cablu multifilar 20 m 10 mm ² cupru circuite finale de distribuție	$R_c = 22,5 \times \frac{20}{10} = 45$	$X_c = 20 \times 0,08 = 1,6$	71,1	20,1	I _{sc4} = 3,2 kA

Tab. G37: Calculul curentului de scurtcircuit pentru o instalație de joasă tensiune, alimentată de la un transformator MT/JT de 1000kVA, 400 V.

G28

4.3 Curentul de scurtcircuit I_{sc} la capătul circuitului dinspre sarcină, în funcție de valoarea I_{sc} la capătul dinspre sursă

Rețeaua indicată în Fig. G38 reprezintă un caz tipic de aplicație a Tab. G39, rezultat din "metoda compoziției" (menționată în capitolul F, secțiunea 6.2). Aceste tabele dau în mod rapid și suficient de precis valoarea curentului de scurtcircuit într-un punct al rețelei, dacă se cunosc:

- valoarea curentului de scurtcircuit în amonte de punctul considerat;
- lungimea și structura circuitului dintre punctul în care curentul de scurtcircuit este cunoscut și punctul în care acesta se dorește determinat.

Este, prin urmare, suficientă alegerea întreruptorului automat având puterea de rupere superioară valorii indicate în tabele.

Dacă sunt necesare valori mai precise, este posibil să se realizeze calcule mai detaliate (a se vede secțiunea 4.2) sau să se utilizeze programe de calcul, precum Ecodial. În acest caz se va putea lua în considerare și tehnica filiației, prin care, utilizarea unui întreruptor limitator în amonte permite amplasarea în aval a unor întreruptoare având puteri de rupere, uneori, mult mai mici decât cele care s-ar impune altfel (a se vedea capitolul H, secțiunea 4.5).

Metodă

Se alege secțiunea minimă admisibilă pentru conductorul din coloana corespunzătoare conductoarelor de cupru (în acest exemplu, secțiunea admisibilă este 47,5 mm²). Se alege lungimea conductorului aferent circuitului respectiv (sau cea mai apropiată, de-a lungul rândului corespunzător lui 47,5 mm²). Se coboară în coloana unde se găsește valoarea lungimii și se oprește pe rândul în dreptul căruia se găsește valoarea curentului de scurtcircuit din amonte (sau o valoare apropiată superioară). În acest caz, 30 kA este cea mai apropiată valorii 28 kA considerate. Valoarea curentului de scurtcircuit pe circuitul din aval la 20 m este dată de intersecția dintre coloana în care se găsește valoarea lungimii și rândul corespunzător curentului de scurtcircuit din amonte, I_{sc} (sau unei valori apropiate, superioare).

Această valoare, în exemplu nostru este cca. 14,7 kA.

Procedura pentru conductoarele din aluminiu este asemănătoare, dar coloana trebuie să urce către mijlocul tabelului.

În consecință, un întreruptor automat montat pe o șină DIN având un curent nominal de 63 A și $I_{sc} = 25$ kA (de exemplu NG125N) poate fi utilizat pentru valoarea curentului nominal de 55 A, aferentă circuitului din Fig. G38.

Un întreruptor Compact de 160 A având o putere de scurtcircuit de 25 kA (de exemplu Compact NS160) poate fi utilizat pentru protecția circuitului de 160 A.

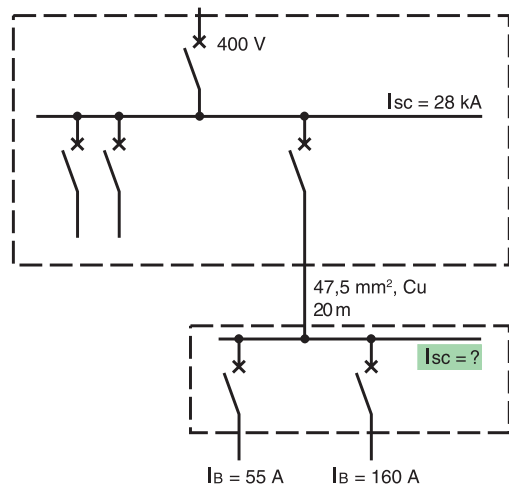


Fig. G38: Exemplu de calcul al curentului de scurtcircuit din aval, utilizând Tabelul G39.

4 Curentul de scurtcircuit

Cupru 230 V/400 V

Sect. admisibilă conductor (mm ²)	Lungimea circuitului (în metri)																			
1,5																		1,3	1,8	2,6
2,5																		1,1	1,5	2,1
4																		1,2	1,7	2,4
6																		1,8	2,6	3,6
10																		2,2	3,0	4,3
16																		1,7	2,4	3,4
25																		1,3	1,9	2,7
35																		1,9	2,7	3,8
47,5																		1,8	2,6	3,6
70																		2,7	3,8	5,3
95																		2,6	3,6	5,1
120																		1,6	2,3	3,2
150																		1,2	1,8	2,5
185																		1,5	2,1	2,9
240																		1,8	2,6	3,7
300																		2,2	3,1	4,4
2x120																		2,3	3,2	4,6
2x150																		2,5	3,5	5,0
2x185																		2,9	4,2	5,9
553x120																		3,4	4,9	6,9
3x150																		3,7	5,3	7,5
3x185																		4,4	6,2	8,8
I _{sc} în amonte (în kA)	I _{sc} în aval (în kA)																			
100	93	90	87	82	77	70	62	54	45	37	29	22	17,0	12,6	9,3	6,7	4,9	3,5	2,5	1,8
90	84	82	79	75	71	65	58	51	43	35	28	22	16,7	12,5	9,2	6,7	4,8	3,5	2,5	1,8
80	75	74	71	68	64	59	54	47	40	34	27	21	16,3	12,2	9,1	6,6	4,8	3,5	2,5	1,8
70	66	65	63	61	58	54	49	44	38	32	26	20	15,8	12,0	8,9	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8
60	57	56	55	53	51	48	44	39	35	29	24	20	15,2	11,6	8,7	6,5	4,7	3,4	2,5	1,8
50	48	47	46	45	43	41	38	35	31	27	22	18,3	14,5	11,2	8,5	6,3	4,6	3,4	2,4	1,7
40	39	38	38	37	36	34	32	30	27	24	20	16,8	13,5	10,6	8,1	6,1	4,5	3,3	2,4	1,7
35	34	34	33	33	32	30	29	27	24	22	18,8	15,8	12,9	10,2	7,9	6,0	4,5	3,3	2,4	1,7
30	29	29	29	28	27	27	25	24	22	20	17,3	14,7	12,2	9,8	7,6	5,8	4,4	3,2	2,4	1,7
25	25	24	24	24	23	23	22	21	19,1	17,4	15,5	13,4	11,2	9,2	7,3	5,6	4,2	3,2	2,3	1,7
20	20	20	19,4	19,2	18,8	18,4	17,8	17,0	16,1	14,9	13,4	11,8	10,1	8,4	6,8	5,3	4,1	3,1	2,3	1,7
15	14,8	14,8	14,7	14,5	14,3	14,1	13,7	13,3	12,7	11,9	11,0	9,9	8,7	7,4	6,1	4,9	3,8	2,9	2,2	1,6
10	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,6	9,4	9,2	8,9	8,5	8,0	7,4	6,7	5,9	5,1	4,2	3,4	2,7	2,0	1,5
7	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,4	6,2	6,0	5,6	5,2	4,7	4,2	3,6	3,0	2,4	1,9	1,4
5	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,4	3,0	2,5	2,1	1,7	1,3
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,2
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,9
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	0,8
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6

Aluminiu 230 V/400 V

Sect. admisibilă conductor (mm ²)	Lungimea circuitului (în metri)																			
2,5																				
4																				
6																				
10																				
16																				
25																				
35																				
47,5																				
70																				
95																				
120																				
150																				
185																				
240																				
300																				
2x120																				
2x150																				
2x185																				
2x240																				
3x120																				
3x150																				
3x185																				
3x240																				

Notă: Pentru un sistem trifazat având tensiunea de linie 230 V, valorile lungimii se împart la $\sqrt{3}$.

Tab. G39: I_{sc} într-un punct din aval, în funcție de curentul de scurtcircuit din amonte, de lungimea și de secțiunea admisibilă a cablului, într-un sistem trifazat de 230/400 V.

4.4 Curentul de scurtcircuit generat de un alternator sau de un inverter A: a se vedea capitolul N.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Dacă un dispozitiv de protecție trebuie să protejeze circuitul doar împotriva curentilor de scurtcircuit, atunci este esențial ca acesta să funcționeze în mod sigur în cazul în care curentul de scurtcircuit are valoarea minimă posibilă.

5.1 Calculul valorilor minime ale curentului de scurtcircuit

În general, în circuitele de joasă tensiune, un singur dispozitiv de protecție protejează împotriva tuturor valorilor curentilor, pornind de la suprasarcină și până la curenti de scurtcircuit de valoare egală cu puterea de rupere a dispozitivului. În anumite cazuri, totuși, se pot utiliza dispozitive de protecție la suprasarcină și, separat, dispozitive de protecție la scurtcircuit.

Exemple de astfel de cazuri

Figurile de la G40 la G42 arată cazuri în care sunt utilizate dispozitive de protecție separate pentru suprasarcină și scurtcircuit.

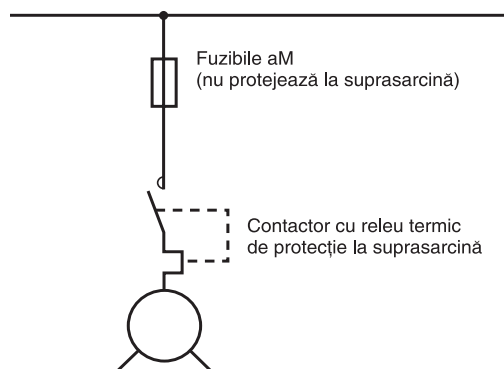


Fig. G40: Circuit protejat prin fuzibile aM.

G30

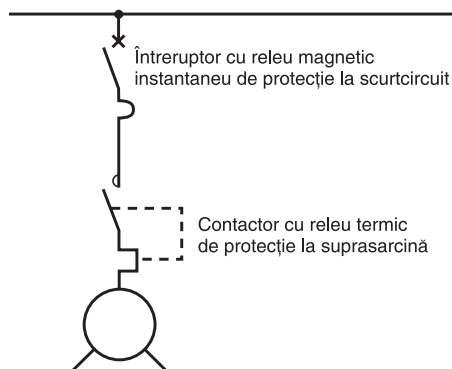


Fig. G41: Circuit protejat de întreruptor fără releu termic la suprasarcină.

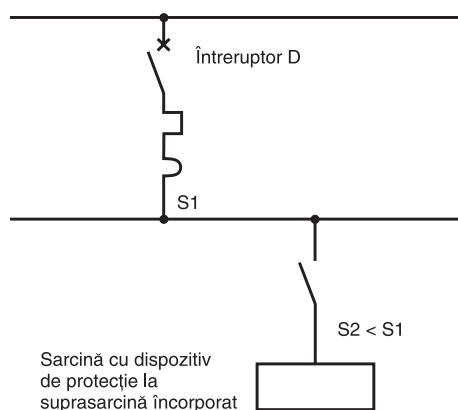


Fig. G42a: Întreruptorul D protejează împotriva scurtcircuitului întreaga instalație, inclusiv sarcina.

Asa cum se indică în Figurile G40 și G41, cele mai uzuale circuite care utilizează dispozitive separate de protecție pentru suprasarcină și scurtcircuit, sunt cele care comandă și protejează motoare.

Figura G42a constituie o derogare de la regulile de protecție de bază și este, în general, utilizată pentru circuite de bare capsulate prefabricate, iluminat, etc.

Variatoare de turație

Tabelul G42b indică protecțiile asigurate de variatoarele de turație și, dacă este necesar, anumite funcții adiționale ale dispozitivelor de protecție precum întreruptoare automate, relee termice, dispozitive de protecție diferențiale.

Protecția de asigurat	Protecție asigurată, în general de variatoarele de viteză	Protecție adițională
Suprasarcină cablu	Da = (1)	Nu este necesar dacă (1)
Suprasarcină motor	Da = (2)	Nu este necesar dacă (2)
Scurtcircuit aval	Da	
Suprasarcină variator	Da	
Supratensiune	Da	
Minimă tensiune	Da	
Lipsă fază	Da	
Scurtcircuit amonte		Întreruptor automat (declanșare la scurtcircuit)
Defect intern		Întreruptor automat (declanșare la scurtcircuit și suprasarcină)
Defect de punere la pământ aval (contact indirect)	(autoprotecție)	RCD ≥ 300 mA
Contact direct		RCD ≤ 30 mA

Tab. G42b: Protecții de asigurat pentru aplicații cu variatoare de turație.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Este necesar ca pragul magnetic instantaneu al dispozitivului de protecție să îndeplinească condițiile:

- $I_m < I_{sc}$ (min.) pentru protecția cu întreruptor sau fuzibil;
- $I_a < I_{sc}$ (min.) pentru protecția cu fuzibil.

Condiții de îndeplinit

Dispozitivele de protecție trebuie să îndeplinească următoarele două condiții:

- puterile lor de rupere să fie mai mari decât curentul de scurtcircuit trifazat calculat în punctul în care acesta este instalat;
- întreruperea curentului de scurtcircuit minim posibil în circuit, într-un timp compatibil cu stabilitatea termică a conductoarelor circuitului, unde:

$$t_c \leq \frac{k^2 S^2}{I_{sc_{min}}^2} \quad (\text{valabil pentru } t_c < 5 \text{ secunde})$$

Comparația dintre curbele de funcționare ale dispozitivelor de protecție și curbele limită de stabilitate termică ale cablurilor arată faptul că această condiție este îndeplinită dacă:

- $I_{sc(min)} > I_m$ (pragul de declanșare instantaneu sau temporizat de scurtă durată) (vezi **Fig. G43**);
- $I_{sc(min)} > I_a$ pentru protecția cu fuzibil. Valoarea curentului I_a corespunde cu punctul de intersecție al curbei de funcționare a fuzibilului cu cea reprezentând stabilitatea termică al cablului (vezi **Fig. G44** și **G45**).

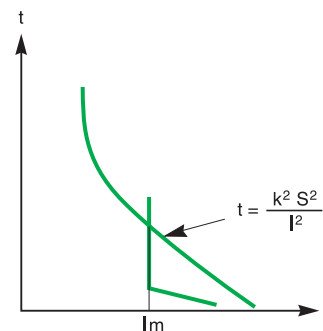


Fig. G43: Protecția cu întreruptor automat.

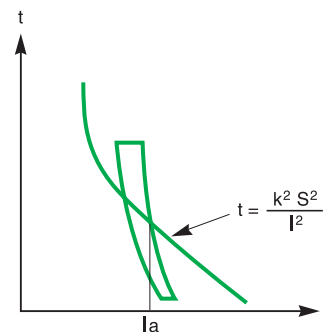


Fig. G44: Protecția cu fuzibile "aM".

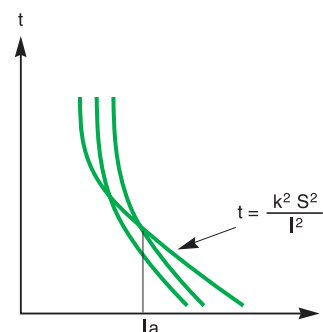


Fig. G45: Protecția cu fuzibile "gI".

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

În practică, aceasta înseamnă faptul că lungimea unui circuit în aval de un dispozitiv de protecție nu trebuie să depășească o valoare calculată maximă.

$$L_{\max} = \frac{0,8 U S_{ph}}{2\rho \cdot I_m}$$

Metodă practică de calcul al L_{\max}

Efectul de limitare al impedanței conductoarelor lungi asupra valorilor curenților de scurtcircuit trebuie verificat și lungimea circuitelor trebuie limitată corespunzător. Metoda de calcul a lungimii maxime admisibile a fost deja indicată în cadrul sistemelor de tratare a neutrlui TN și IT pentru cazul primului și, respectiv, celui de-al doilea defect (a se vedea capitolul F, secțiunile 6.2 și 7.2). În continuare sunt considerate două cazuri:

1 Calculul L_{\max} pentru cazul sistemului trifazat 3 conductoare

Curentul minim de scurtcircuit se va obține atunci când două faze sunt scurtcircuitate la capătul circuitului dinspre sarcină (vezi Fig. G46).



Fig G46: Definiția lui L pentru un circuit trifazat cu 3 conductoare.

Utilizând "metoda convențională", tensiunea în punctul de protecție P se presupune că este cca. 80% din tensiunea nominală pe perioada defectului, astfel încât $0,8 U = I_{sc} Z_d$, unde:

Z_d = impedanța buclei de defect

I_{sc} = curentul de scurtcircuit (fază/fază)

U = tensiunea nominală fază/fază

Pentru cabluri $\leq 120 \text{ mm}^2$, reactanța poate fi neglijată, astfel încât:

$$Z_d = \rho \frac{2L}{S_{ph}} \quad (1)$$

unde:

ρ = rezistivitatea cuprului⁽²⁾ la temperatura medie pe perioada scurtcircuitului

S_{ph} = secțiunea admisibilă a conductorului de fază, în mm^2

L = lungimea, în metri

Cablul nu va fi deteriorat datorită degajărilor de căldură dacă: $I_{sc} \geq I_m$.

$$I_m \leq \frac{0,8 U}{Z_d} \text{ conduce la } L \leq \frac{0,8 U S_{ph}}{2\rho I_m}$$

cu $U = 400 \text{ V}$

$$\rho = 1,25 \times 0,018 = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \quad (3)$$

unde:

I_m = pragul magnetic al întreruptorului automat

L_{\max} = lungimea maximă a circuitului, în metri

$$L_{\max} = \frac{k S_{ph}}{I_m}$$

2 Calculul L_{\max} pentru un sistem trifazat cu 4 conductoare, 230/400 V

Curentul de scurtcircuit minim se obține atunci când scurtcircuitul se produce între o fază a conductorului și conductorul de neutru.

Se impune un calcul similar cu cel din exemplul 1 de mai sus, dar utilizând următoarele formule (pentru cabluri $\leq 120 \text{ mm}^2$ ⁽¹⁾).

■ în cazul în care S_n al conductorului neutru = S_{ph} al conductorului de fază,

$$L_{\max} = \frac{3,333 S_{ph}}{I_m}$$

■ dacă S_n pentru conductorul neutru < S_{ph} , atunci:

$$L_{\max} = 6,666 \frac{S_{ph}}{I_m} \frac{1}{1+m} \text{ unde } m = \frac{S_{ph}}{S_n}$$

Pentru secțiuni mai mari decât cele menționate, valorile reactanțelor trebuie combinate cu cele ale rezistențelor pentru a se obține impedanțele. Reactanța poate fi considerată $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ pentru cablu (la 50 Hz). La 60 Hz , se consideră $0,096 \text{ m}\Omega/\text{m}$.

(1) Pentru valori mai mari ale secțiunii minime admisibile, rezistența calculată pentru conductoare trebuie să crească pentru a se ține cont de densitatea neuniformă de curent prin conductor (datorită efectelor "pelicular" și "de proximitate").

Valori recomandate:

150 mm^2 : $R + 15\%$

185 mm^2 : $R + 20\%$

240 mm^2 : $R + 25\%$

300 mm^2 : $R + 30\%$.

(2) Sau pentru aluminiu, în funcție de materialul conductorului.

(3) Valoarea mai mare a rezistivității se datorează temperaturii mai ridicate a conductorului datorită trecerii curentului de scurtcircuit.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Valori tabelare pentru L_{\max}

Tabelul G47 de mai jos prezintă lungimile maxime ale circuitelor (L_{\max}), în metri, pentru:

■ circuite trifazate cu 4 conductoare, 400 V (cu neutru distribuit) și

■ circuite monofazate cu 2 conductoare, 230 V

protejate prin întreruptoare uzuale.

În alte cazuri se aplică lungimilor obținute factori de corecție (indicați în **Tab. G53**).

Calculul se bazează pe o metodă anterioară iar pragul de declanșare poate fi reglat la +20% față de pragul magnetic I_m .

Pentru o secțiune admisibilă de 50 mm², calculele se bazează pe o secțiune reală de 47,5 mm².

Pragul magnetic de declanșare instantanee I _m (în A)	Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²)																									
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240											
50	100	167	267	400										150	185	240										
63	79	133	212	317																						
80	63	104	167	250	417																					
100	50	83	133	200	333																					
125	40	67	107	160	267	427																				
160	31	52	83	125	208	333																				
200	25	42	67	100	167	267	417																			
250	20	33	53	80	133	213	333	467																		
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495																	
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396																	
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317																	
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417																
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370																
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452															
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396															
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457														
1000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435													
1120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459												
1250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411												
1600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400											
2000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320											
2500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256											
3200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200											
4000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160											
5000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128											
6300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102											
8000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80											
10000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64											
12500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51											

Tab. G47: Lungimile maxime ale circuitelor, în metri, pentru conductoarele de cupru (pentru aluminiu, lungimile trebuie înmulțite cu 0,62).

Tabelele G48 la G50 prezintă lungimile maxime ale circuitelor (L_{\max}) în metri, pentru:

■ circuite trifazate, 4 conductoare, 400 V (cu neutru distribuit) și

■ circuite monofazate cu 2 conductoare, 230 V

protejate, în ambele cazuri prin întreruptoare de uz casnic sau întreruptoare având caracteristici de declanșare similare.

În alte cazuri, se aplică factori de corecție asupra lungimilor indicate. Acești factori sunt indicați în **Tab. G51**.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Curentul nominal al întreruptorului (în A)	Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	200	333	533	800					
10	120	200	320	480	800				
16	75	125	200	300	500	800			
20	60	100	160	240	400	640			
25	48	80	128	192	320	512	800		
32	37	62	100	150	250	400	625	875	
40	30	50	80	120	200	320	500	700	
50	24	40	64	96	160	256	400	560	760
63	19	32	51	76	127	203	317	444	603
80	15	25	40	60	100	160	250	350	475
100	12	20	32	48	80	128	200	280	380
125	10	16	26	38	64	102	160	224	304

Tab. G48: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă B.

Curentul nominal al întreruptorului (în A)	Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18,0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15,0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12,0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9,5	16,0	26	38	64	102	159	222	302
80	7,5	12,5	20	30	50	80	125	175	238
100	6,0	10,0	16,0	24	40	64	100	140	190
125	5,0	8,0	13,0	19,0	32	51	80	112	152

Tab. G49: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă C.

Curentul nominal al întreruptorului (în A)	Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
1	429	714							
2	214	357	571	857					
3	143	238	381	571	952				
4	107	179	286	429	714				
6	71	119	190	286	476	762			
10	43	71	114	171	286	457	714		
16	27	45	71	107	179	286	446	625	848
20	21	36	57	86	143	229	357	500	679
25	17,0	29	46	69	114	183	286	400	543
32	13,0	22	36	54	89	143	223	313	424
40	11,0	18,0	29	43	71	114	179	250	339
50	9,0	14,0	23	34	57	91	143	200	271
63	7,0	11,0	18,0	27	45	73	113	159	215
80	5,0	9,0	14,0	21	36	57	89	125	170
100	4,0	7,0	11,0	17,0	29	46	71	100	136
125	3,0	6,0	9,0	14,0	23	37	57	80	109

Tab. G50: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă D.

Detalii circuit		
Circuit trifazat cu 3 conductoare, 400 V sau circuit monofazat cu 2 conductoare 400V (fără neutru)		1,73
Circuit monofazat cu 2 conductoare, 230 V (fază și neutru)		1
Circuit trifazat 4 conductoare 230/400 V sau circuit bifazat		$S_{ph}/S_{neutru} = 1$
3 conductoare, 230/400V (cu neutru)		$S_{ph}/S_{neutru} = 2$
		0,67

Tab. G51: Factori de corecție de aplicat lungimilor obținute din **Tabelele G47 la G50**.

Notă: CEI 60898 indică un prag magnetic de declanșare superior, de 10 - 50 I_n pentru circuite tipul D. Standardele Europene și **Tabelul G52** se bazează totuși pe o gamă de 10 - 20 I_n, nivel ce acoperă cerințele în marea majoritate a cazurilor instalațiilor casnice și similare.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Exemple

Exemplul 1

Într-o instalație monofazată cu 2 conductoare, protecția este asigurată de către un întrerupător automat de 50 A, de tip NS80HMA, pragul magnetic de declanșare instantanee la care este setat, este de 500 A (precizie $\pm 20\%$); cazul cel mai defavorabil impune $500 \times 1,2 = 600$ A la declanșare. Secțiunea cablului este 10 mm^2 iar materialul conductorului este cupru.

În **Tab. G47**, rândul $I_m = 500$ A întâlnește coloana cu secțiunea admisibilă = 10 mm^2 la valoarea pentru L_{\max} de 67 m. Întrerupătorul automat protejează cablul împotriva scurtcircuitului cu condiția ca lungimea sa să nu depășească 67 m.

Exemplul 2

Într-un circuit trifazat cu 3 conductoare (fără neutru), protecția este asigurată de un întrerupător automat de 220 A de tip NS250N cu un prag magnetic instantaneu al unității de declanșare de tip MA stabilit la 2000 A ($\pm 20\%$); cazul cel mai defavorabil impune 2400 A la declanșare. Cablul este de 120 mm^2 iar materialul conductorului este cupru.

În **Tab. G47** rândul $I_m = 2000$ A întâlnește coloana cu secțiunea = 120 mm^2 la valoarea pentru L_{\max} de 200 m. Fiind un circuit trifazat 3 conductoare, 400 V (fără neutru), trebuie aplicat un factor de corecție indicat în **Tab. G51**. Acest factor poate fi 1,73. Întrerupătorul automat protejează cablul împotriva scurtcircuitului cu condiția ca lungimea sa să nu depășească $200 \times 1,73 = 346$ m.

5.2 Verificarea stabilității termice a cablului în condiții de scurtcircuit

Limitările termice

Atunci când durata unui scurtcircuit este mică (de la câteva zecimi de secundă până la cinci secunde) întreaga căldură se presupune că rămâne în interiorul conductorului, determinând o creștere a temperaturii. Procesul de încălzire este de tip adiabatic; este utilizată o ipoteză care simplifică calculele și permite un rezultat acoperitor, adică o temperatură a conductorului mai mare decât cea care se produce în realitate. În practică, însă, o parte din căldură părăsește conductorul și pătrunde în interiorul izolației.

Pentru o perioadă de 5 secunde sau mai scurtă, relația $I^2t = k^2S^2$ caracterizează timpul, în secunde, în care printr-un conductor de secțiune S (în mm^2) poate circula un curent I (în amperi), înainte ca temperatura să atingă un nivel care ar putea deteriora izolația.

Factorul k^2 este dat în **Tabelul G52** de mai jos.

Izolație	Conductor din cupru (Cu)	Conductor din aluminiu (Al)
PVC	13,225	5,776
XLPE	20,449	8,836

Tab. G52: Valorile constantei k^2 .

Metoda de verificare constă în verificarea faptului că, energia termică I^2t/Ω a materialului conductorului admisă prin întrerupătorul de protecție (din catalogul producătorului) este mai mică decât cea permisă prin conductor (indicată în **Tab. G53**).

S (mm^2)	PVC		XLPE	
	Cupru	Aluminiu	Cupru	Aluminiu
1,5	0,0297	0,0130	0,0460	0,0199
2,5	0,0826	0,0361	0,1278	0,0552
4	0,2116	0,0924	0,3272	0,1414
6	0,4761	0,2079	0,7362	0,3181
10	1,3225	0,5776	2,0450	0,8836
16	3,3856	1,4786	5,2350	2,2620
25	8,2656	3,6100	12,7806	5,5225
35	16,2006	7,0756	25,0500	10,8241
50	29,839	13,032	46,133	19,936

Tab. G53: Energia termică maximă admisibilă pentru cablu (exprimată în $\text{Amper}^2 \times \text{sec.} \times 10^6$).

În general, verificarea stabilității termice a cablului nu este necesară, excepție făcând cazurile în care cabluri de secțiuni mici sunt instalate în apropiere sau sunt alimentate direct din tablouri generale de distribuție.

5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

Exemplu

Este un cablu din XLPE de secțiune 4 mm² bine protejat de un întreruptor automat C60N?

Tabelul G53 indică faptul că valoarea I^2t pentru cablu este $0,3272 \times 10^6$, în timp ce valoarea maximă admisibilă pentru întreruptorul automat, din catalogul producătorului este considerabil inferioară ($\leq 0,1 \times 10^6 \text{ A}^2\text{s}$).

Cablul este, prin urmare, bine protejat de întreruptorul automat până la capacitatea sa de rupere la scurtcircuit.

Limitările electrodinamice

Pentru toate tipurile de circuite (conductoare sau bare capsulate) este necesar să se ia în considerare efectele electrodinamice.

Pentru a rezista la solicitările electrodinamice, conductoarele trebuie să fie solid fixate iar conexiunile să fie bine realizate.

Pentru barele capsulate și pentru alte tipuri de conexiuni, ghene de curent, șine, etc. este, de asemenea, necesar să se verifice performanțele lor în ceea ce privește rezistența la efectele electrodinamice ale curenților de scurtcircuit. Valorile de vârf ale curenților, limitate de întreruptor sau fuzibil trebuie să fie inferioare celor pentru care sistemele prefabricate au fost proiectate. În general, producătorii publică tabele de coordonare care asigură protecția adecvată produselor lor și, de asemenea, reprezintă principalele avantaje ale acestor sisteme.

6 Conductoare de protecție (PE)

6.1 Conectare și alegere

Conductoarele de protecție (PE) realizează legătura dintre toate părțile accesibile conductoare ale unei instalații, pentru a crea legătura echipotențială principală. Aceste conductoare conduc curenții de defect datorți deteriorării izolației (dintre un conductor de fază și o parte accesibilă conductoare) către priza de pământ a sursei. Conductoarele PE sunt conectate la borna principală de împământare a instalației. Borna principală de împământare este conectată la priza de pământ (a se vedea capitolul E) prin conductorul de protecție.

Conductoarele PE trebuie să fie:

- izolate și colorate cu dungi galben/verde;
- protejate împotriva deteriorării mecanice și/sau chimice.

În schemele IT și TN este recomandată amplasarea conductorului de protecție în imediata vecinătate (în același tub sau pe același pat de cablu) a conductoarelor active aferente circuitului. Aceasta asigură o valoare minim posibilă pentru reactanța buclei curenților de defect. Este de notat că acest aranjament este prevăzut prin fabricație la barele prefabricate.

Conectarea

Conductoarele PE trebuie :

- să nu includă nici un mijloc care să conducă la discontinuitatea circuitului (de exemplu: întrerupătoare, contacte demontabile, etc.);
- să conecteze părțile active accesibile ale instalației la conductorul principal PE, în paralel și nu în serie, așa cum este indicat în **Fig. G54**;
- să fie prevăzută cu o bornă de împământare dedicată pe o bară comună de împământare situată în tablourile de distribuție.

Schema TT

Conductorul PE nu trebuie obligatoriu să fie amplasat în imediata vecinătate a conductoarelor active ale circuitului respectiv întrucât nu sunt necesare valori mari ale curenților de punere la pământ, pentru funcționarea dispozitivelor de protecție diferențială utilizate în instalațiile TT.

Schemele IT și TN

Conductorul PE sau PEN, așa cum s-a menționat anterior, trebuie să fie instalat cât se poate de apropiat de conductoarele active corespunzătoare circuitului; nici un material fero-magnetic nu trebuie să fie interpus între acestea. Conductorul PEN trebuie întotdeauna să fie conectat direct la borna de împământare a aparatului printr-o legătură de la borna sa de împământare la borna de neutru (vezi **Fig. G55**). ■ Schema TN-C (conductorul neutru și conductorul de protecție sunt unul și același și se numește PEN).

Funcția de protecție a conductorului PEN are prioritate astfel încât, toate regulile referitoare la conductoarele PE se aplică și conductoarelor PEN.

■ Trecerea TN-C la TN-S

Conductorul PE al unei instalații este conectat la borna PEN sau la bara de împământare (vezi **Fig. G56**), în general la originea instalației. În aval de punctul de separare, nici un conductor PE nu mai poate fi conectat la conductorul neutru.

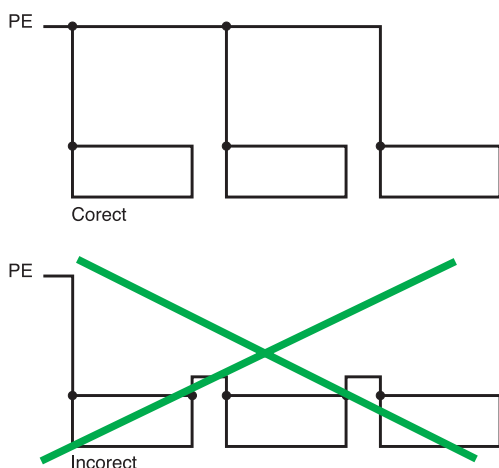


Fig. G54: O conectare defectuasă, în serie, va lăsa toate aparatele din aval neprotejate.

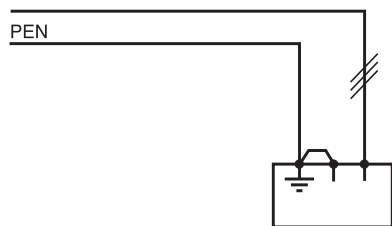


Fig. G55: Conectarea directă a conductorului PEN la borna de împământare a aparatului.



Fig. G56: Schemă TN-C-S.

Tipuri de materiale

Materialele menționate mai jos, în **Tabelul G57**, pot fi folosite pentru confecționarea conductoarelor PE dacă sunt îndeplinite condițiile din ultima coloană.

Tipul de conductor de protecție PE	Schemă IT	Schemă TN	Schemă TT	Condiții de îndeplinit
Conductor suplimentar	Cu același cablu cu conductoare de fază, sau același tub	Puternic recomandat	Corect	Conductorul PE trebuie izolat la același nivel ca și conductoarele de fază
Independent de conductoarele de fază	Posibil ⁽¹⁾	Posibil ^{(1),(2)}	Corect	■ conductorul PE poate fi tip bară sau izolat ⁽²⁾
Carcasa barelor capsulate sau a altor ghene prefabricate ⁽⁵⁾	Posibil ⁽³⁾ PEN posibil ⁽⁸⁾	PE posibil ⁽³⁾	Corect	■ Continuitatea electrică trebuie asigurată prin protecția împotriva deteriorării datorate factorilor mecanici, chimici sau electrochimici
Mantaua exterioară a conductoarelor cu izolație minerală (de tip "pyrotenax")	Posibil ⁽³⁾	PE posibil ⁽³⁾ PEN nerecomandat ^{(2),(3)}	Posibil	■ Conductanța lor trebuie să fie corespunzătoare
Anumite elemente externe conductoare ⁽⁶⁾ precum: ■ structura metalică a clădirilor ■ carcasele utilajelor ■ conducte de apă ⁽⁷⁾	Posibil ⁽⁴⁾	PE posibil ⁽⁴⁾ PEN interzis	Posibil	
Trasee metalice pentru cabluri, precum, tuburi ⁽⁹⁾ , profile, grile de susținere, suporturi, etc.	Posibil ⁽⁴⁾	PE posibil ⁽⁴⁾ PEN nerecomandat ^{(2),(4)}	Posibil	

Interzise spre utilizare în calitate de conductoare PE sunt: tuburi metalice⁽⁹⁾, conducte de gaz, conducte de apă caldă, armături de cablu din benzi⁽⁹⁾ sau din sârme metalice⁽⁹⁾.

(1) În schemele TN și IT protecția se realizează, în general de către dispozitive de protecție la supracurenți (fuzibile sau întreruptoare), prin urmare, impedanța buclei de defect trebuie să fie suficient de mică pentru a li se asigura funcționarea. Cel mai sigur mijloc de realizare a unei bucle de curent cu impedanță mică este să se asigure un conductor suplimentar în același cablu cu conductoarele de fază (sau să se respecte același traseu cu conductoarele de fază). Această metodă minimizează reactanța inductivă și, prin urmare, impedanța buclei de defect.

(2) Conductorul PEN este conductorul neutru utilizat și în calitate de conductor de protecție. Aceasta înseamnă că, un anume curent poate circula prin acest conductor în orice moment (și în absența unui defect de izolație). Din acest motiv, pentru PEN este recomandat un conductor izolat.

(3) Producătorul furnizează valorile pentru componentele R și X ale impedanței (fază/PE, fază/PEN) pentru a fi utilizate în calculul impedanței buclei de defect.

(4) Posibil, dar nerecomandat, întrucât impedanța buclei de defect nu este cunoscută în etapa de proiectare. Măsurătorile într-o instalație realizată reprezintă singura metodă în vederea asigurării protecției persoanelor.

(5) Trebuie să fie permisă conectarea altor conductoare PE. **Notă:** Aceste elemente trebuie să aibă o indicație vizuală galben/verde, în dungă, de lungime 15-100 mm (sau cel puțin literele PE la 15 mm de fiecare extremitate).

(6) Aceste elemente trebuie deconectate doar dacă există alte mijloace pentru a se asigura continuitatea protecției.

(7) Cu acordul autorităților din domeniul apei.

(8) În cazul barelor capsulate sau a altor sisteme similare, carcassele metalice pot fi utilizate ca PEN, în paralel cu o bară corespunzătoare, sau cu un alt conductor PE din interiorul carcasei.

(9) Interzis în anumite țări; universal permis ca și conductor suplimentar echipotențial.

Tab. G57: Alegerea conductorului de protecție (PE).

6.2 Dimensionare

Tabelul G58 de mai jos se bazează pe Standardul CEI 60364-5-54. Acest tabel prezintă două metode pentru determinarea secțiunii minime admisibile pentru conductoarele PE și PEN și, de asemenea, pentru conductorul către priza de pământ.

	Secțiunea conductorului de fază S _{ph} (mm ²)	Secțiunea minimă a conductorului (mm ²)	Secțiunea minimă a conductorului (mm ²)	
			Cu	Al
Metoda simplificată ⁽¹⁾	S _{ph} ≤ 16	S _{ph} ⁽²⁾	S _{ph} ⁽³⁾	S _{ph} ⁽³⁾
	16 < S _{ph} ≤ 25	16	16	25
	25 < S _{ph} ≤ 35			
	35 < S _{ph} ≤ 50	S _{ph} /2	S _{ph} /2	
	S _{ph} > 50			
Metoda adiabatică	Orice dimensiune	$S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (3),(4)$		

(1) Datele sunt valabile dacă respectivul conductor este din același material ca și conductorul de fază. În caz contrar trebuie aplicat un factor de corecție.

(2) Atunci când conductorul PE este separat de conductoarele de fază ale circuitului, următoarele valori minime trebuie respectate:

a. 2,5 mm² dacă PE este protejat mecanic;

b. 4 mm² dacă PE nu este protejat mecanic.

(3) Din motive mecanice, conductorul PEN nu trebuie să aibă o secțiune mai mică de 10 mm² (Cu) sau 16 mm² (Al).

(4) A se face referire la **Figura G55** pentru a se aplica această formulă.

Notă: În România se acceptă secțiunile minime prevăzute în normativul NP-17-2002, aliniatele 4.1.47 până la 4.1.49

Tab. G58: Secțiunea minimă pentru conductoarele PE.

6 Conductoare de protecție (PE)

Cele două metode sunt:

■ **Adiabatică** (care corespunde cu cea descrisă în CEI 60724)

Această metodă, fiind economică și asigurând protecția conductorului împotriva supraîncălzirii, conduce la secțiuni mai mici decât cele corespunzătoare conductoarelor de fază ale circuitului. Rezultatul este, uneori, incompatibil cu cerința din cazul schemelor IT și TN de minimizare a impedanței buclei de defect, pentru a se asigura funcționarea releelor magnetice instantanee ale dispozitivelor de protecție. Această metodă este utilizată în practică pentru sistemele TT și pentru dimensionarea conductorului către priza de pământ⁽¹⁾.

■ **Simplificată**

Această metodă se bazează pe anumite relații între dimensiunea conductorului PE și cea a conductoarelor de fază, presupunând că, în ambele cazuri, este folosit același material.

Prin urmare, în **Tab. G58**:

$$S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = S_{ph}$$

$$16 < S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_{ph} > 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$$

Notă: Atunci când, în cazul schemei TT, priza de pământ a instalației se găsește în afara zonei de influență a prizei de pământ a sursei, secțiunea admisibilă a conductorului PE poate fi limitată la 25 mm² (pentru Cu) sau 35 mm² (pentru Al). Conductorul de neutru nu poate fi folosit inclusiv ca și conductor de protecție dacă secțiunea sa minimă nu este egală sau mai mare cu 10 mm² (pentru Cu) sau 16 mm² (pentru Al).

Mai mult, un cablu flexibil nu poate fi utilizat ca PEN. Întrucât un conductor PEN este și conductor neutru, secțiunea sa nu poate, în nici un caz, să fie mai mică decât cea necesară pentru conductorul neutru care se va discuta în secțiunea 7.1 din acest capitol.

Această secțiune nu poate fi mai mică decât cea a conductoarelor de fază decât dacă:

■ puterea aparentă (exprimată în kVA) a consumatorilor monofazați este mai mică decât 10% din puterea aparentă totală, și

■ curentul I_{max} care parcurge conductorul neutru, în condiții normale, este mai mic decât curentul maxim admisibil pentru secțiunea respectivă de cablu.

Mai mult, protecția conductorului neutru trebuie să fie asigurată prin dispozitive de protecție destinate protecției conductoarelor de fază (așa cum se descrie în secțiunea 7.2 din acest capitol).

Valorile factorului k de utilizat în formule

Aceste valori sunt identice în câteva standarde naționale iar creșterea de temperatură, împreună cu valorile factorului k și cu valorile limită superioare de temperatură pentru diferite clase de izolație, corespund cu cele indicate în CEI 60724 (1984).

Datele prezentate în **Tabelul G59** sunt cele uzuale necesare pentru instalațiile de joasă tensiune.

Valori k		Natura izolației	
		Policlorură de vinil (PVC)	Polietilenă reticulată (XLPE) Cauciuc-etilenă-propilenă (EPR)
Temperatura finală (°C)		160	250
Temperatura intermediară (°C)		30	30
Conductoare izolate în cabluri sau bare conductoare în contact cu mantaua de cabluri	Cupru	143	176
	Aluminiu	95	116
	Oțel	52	64
Conductoarele unui cablu multifilar	Cupru	115	143
	Aluminiu	76	94

Tab. G59: Valorile lui k, pentru conductoarele PE în instalațiile de joasă tensiune, uzuale în standardele naționale și în conformitate cu CEI 60724.

(1) Conductorul de împământare.

Aceste conductoare trebuie dimensionate în conformitate cu practicile naționale.

6.3 Conductorul de protecție dintre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție (TGJT)

Toate conductoarele de fază și de neutru amplasate în amonte de întreruptorul de intrare al tabloului general de distribuție (TGJT) sunt protejate de dispozitive instalate pe partea de medie tensiune a transformatorului. Conductoarele în discuție, împreună cu conductorul PE trebuie să fie dimensionate corespunzător. Dimensionarea conductoarelor de fază și de neutru de la transformator este exemplificată în secțiunea 7.5 din acest capitol (pentru circuitul C1 al sistemului desenat în Fig. G65). Secțiunile recomandate pentru conductoare PE de tipul izolat sau bară de la punctul neutru al transformatorului indicat în Fig. G60, sunt prezentate mai jos, în Fig. G61. Puterea nominală considerată, în kVA, este suma puterilor nominale ale tuturor transformatoarelor (dacă sunt mai multe) conectate la TGJT.

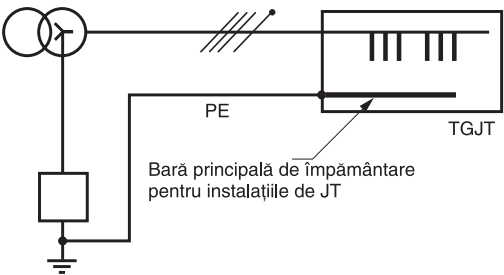


Fig. G60: Conductorul PE către bară principală de împământare a TGJT.

G40

Tabelul indică secțiunile conductoarelor, în mm², în conformitate cu:

- puterea nominală a transformatorului MT/JT, în kVA;
- timpul de deconectare în cazul unui defect, în secunde, al protecției de pe partea de medie tensiune;
- tipul izolației și al materialului conductorului.

Dacă protecția pe MT este cu fuzibile, atunci se va utiliza coloana cu 0,2 secunde. În schemele IT, dacă este instalată o protecție la supratensiune (între punctul neutru al transformatorului și pământ), conductoarele de conectare a acestora trebuie dimensionate, în conformitate cu cele descrise mai sus, în același fel ca și conductoarele PE.

Puterea nom. a transform. (JT, 230/400 V)	Materialul conductorului	Conductor tip bară			Conductor izolat în PVC			Conductor izolat în XLPE		
		Cupru t(s)			0,2			0,2		
		Aluminiu t(s)			-			-		
≤100	Secțiune PE	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160	S _{PE} (mm ²)	25	25	35	25	25	50	25	25	35
200		25	35	50	25	35	50	25	25	50
250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
1.000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
1.250		95	150	185	120	150	240	95	120	185

Tab. G61: Secțiunea recomandată a conductorului PE dintre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție, în funcție de puterea nominală a transformatorului și de timpul de deconectare.

6.4 Conductorul de echipotențialitate

Conductorul echipotențial principal

Acest conductor trebuie să aibă, în general, o secțiune cel puțin egală cu jumătate din cea a celui mai mare conductor PE, dar în nici un caz să nu depășească 25 mm² (pentru Cu) sau 35 mm² (pentru Al), în timp ce secțiunea sa minimă trebuie să fie de 6 mm² (pentru Cu) sau 10 mm² (pentru Al).

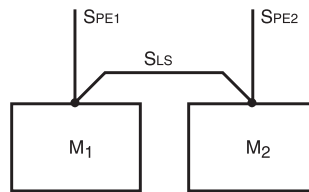
Conductorul echipotențial suplimentar

Acest conductor permite ca o parte accesibilă conductoare care este îndepărtată față de conductorul echipotențial principal (PE) să fie conectată la un conductor de protecție local. Secțiunea sa trebuie să fie cel puțin jumătate din cea a conductorului de protecție la care se conectează.

Dacă acesta conectează două părți accesibile conductoare (M_1 și M_2 din **Fig. 62**), secțiunea sa trebuie să fie cel puțin egală cu cea a celui mai mic dintre cele două conductoare PE (pentru M_1 și M_2). Conductoarele echipotențiale care nu sunt încorporate în cablu trebuie să fie protejate mecanic prin tuburi, țevi, etc, sau oricum altfel este posibil.

Alte utilizări importante ale conductoarelor echipotențiale suplimentare se referă la reducerea impedanței buclei de defect, în mod special în cazul protecției împotriva contactelor indirecte în cazul schemelor TN sau IT și, de asemenea, în zone speciale, cu risc crescut (CEI 60364-4-41).

Între două părți conductoare accesibile
Dacă $S_{PE1} \leq S_{PE2}$
atunci $S_{LS} = S_{PE1}$



Între o parte conductoare accesibilă
și o structură metalică

$$S_{LS} = \frac{S_{PE}}{2}$$

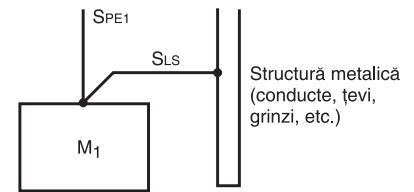


Fig. G62: Conductoare echipotențiale suplimentare.

În afara cerințelor legate de curentul de regim permanent, secțiunea admisibilă și protecția conductorului neutru depinde de anumiți factori, precum:

- modul de tratare al neutrului: TT, TN, etc;
- curenții armonici prezenți;
- metoda de protecție împotriva contactelor accidentale indirecte, în conformitate cu metodele descrise în continuare.

Culoarea conductorului neutru este, obligatoriu, albastră. Conductorul PEN, atunci când este izolat, va fi marcat prin una din următoarele metode:

- verde/galben pe întreaga lungime și, suplimentar, marcaj albastru la capete sau,
- albastru deschis pe întreaga lungime și, suplimentar, marcaj verde/galben la capete.

7.1 Dimensionarea conductorului neutru

Influența modului de tratare al neutrului

Schemele TT și TN-S

■ Circuite monofazate sau trifazate cu secțiuni $\leq 16 \text{ mm}^2$ (cupru) și 25 mm^2 (aluminiiu): secțiunea conductorului neutru trebuie să fie egală cu cea a conductoarelor de fază.

■ Circuite trifazate cu secțiuni $> 16 \text{ mm}^2$ (cupru) și 25 mm^2 (aluminiiu): secțiunea conductorului neutru poate fi aleasă astfel:

- egală cu cea a conductoarelor de fază, sau
- mai mică, cu condiția ca:

- curentul probabil care va circula prin conductorul neutru să fie mai mic decât valoarea permisă I_z . Influența armonicilor multipli de 3⁽¹⁾ trebuie luată în considerare, de asemenea, sau
- conductorul neutru este protejat la scurtcircuit, în conformitate cu secțiunea G-7.2
- secțiunea conductorului neutru este cel puțin egală cu 16 mm^2 (cupru) și 25 mm^2 (aluminiiu).

Schema TN-C

În teorie, se aplică aceleași condiții ca cele mai sus menționate, dar, în practică, conductorul neutru nu trebuie să fie întrerupt în nici o situație întrucât îndeplinește și funcția de conductor de protecție PE (vezi **Tab. G58** coloana "secțiunea pentru conductorul PEN").

Schema IT

În general, nu este recomandat să se distribuie conductorul neutru; sunt preferate schemele trifazate cu 3 conductoare. Când este, totuși, necesară o schemă trifazată cu 4 conductoare, sunt aplicabile condițiile descrise mai sus pentru schemele TT și TN-S.

Influența curenților armonici

Efectele armonicilor 3 și a celor multipli de 3

Într-o instalație, armonicile sunt produse, în general, de sarcini neliniare (calculatoare, corpuri de iluminat cu balast electronic, redresoare, electronică de putere, etc.) și pot genera curenți mari în conductorul neutru. În mod special, armonica 3 și armonicile multipli de 3 au tendința de a se însuma în conductorul neutru astfel:

- curenții componente fundamentale sunt defazați cu $2\pi/3$ radiani, astfel încât suma vectorială a lor este zero;
- pe de altă parte, curenții armonicilor 3 pe cele trei faze sunt situați în același fel în raport cu cei ai componente fundamentale și, prin urmare, sunt întotdeauna în fază (vezi **Fig. G63a**).

(1) Armonica 3 și armonicile multipli de 3.

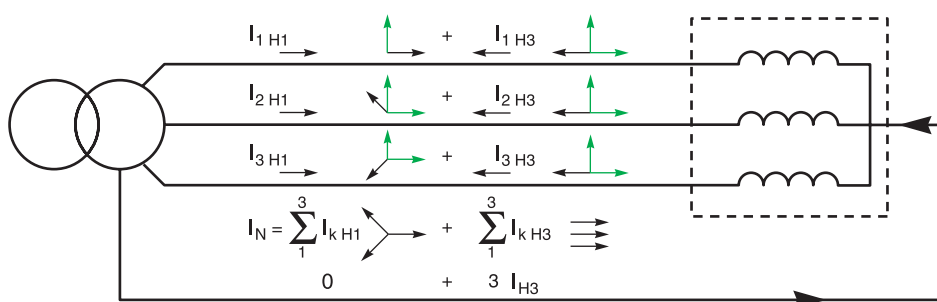


Fig. G63a: Curenții armonicilor 3 sunt în fază și se însumează în conductorul neutru.

7 Conductorul neutru

Figura G63b arată raportul dintre încărcarea conductorului neutru și cea a conductorului de fază în funcție de procentajul armonicii 3. În practică, valoarea maximă a acestui raport nu depășește $\sqrt{3}$.

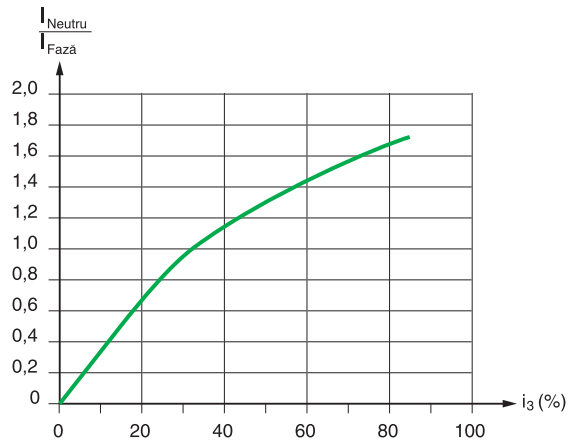


Fig. G63b: Raportul dintre încărcarea conductorului neutru și cea a conductorului de fază în funcție de procentajul armonicii 3.

Factorii de corecție datorați curenților armonici, în cablurile cu 4 și 5 conductoare cu 4 conductoare active

Calculule de bază în ceea ce privește cablurile se referă la cablurile cu trei conductoare active, adică prin conductorul neutru, nu circulă curent. Datorită armonicii 3 de curent, există curent în conductorul neutru. Prin urmare, acest conductor neutru crează un mediu cald pentru cele trei conductoare de fază și, din acest motiv trebuie luat în considerare un factor de corecție pentru conductoarele de fază (vezi **Tab. G63**).

Factorii de corecție, aplicați curentului de regim permanent al cablului cu trei conductoare active dau, de fapt, curentul de regim permanent pentru cablul cu patru conductoare active, atunci când curentul prin cel de-al patrulea conductor este generat de armonici. Factorii de corecție iau, de asemenea, în considerare efectele de încălzire create de curentul armonic prin conductoarele de fază.

■ În cazul în care este de așteptat ca, prin conductorul neutru să circule un curent mai mare decât cel prin conductoarele de fază, atunci dimensionarea cablului se va face pe baza curentului prin conductorul neutru;

■ În cazul în care dimensionarea cablului se face pe baza curentului prin conductorul neutru care nu este semnificativ mai mare decât cel care circulă prin conductoarele de fază, este necesar să se reducă valoarea tabelară referitoare la curentul de regim permanent aferent conductoarelor active;

■ În cazul în care curentul prin conductorul neutru este mai mare decât 135% din valoarea curentului din conductoarele de fază, iar dimensionarea cablului s-a realizat pe baza curentului din conductorul de neutru, atunci cele trei conductoare active (de fază) nu vor fi total încărcate. Reducerea încălzirii generate de conductoarele de fază compensează căldura generată de conductorul neutru; prin urmare, nu este necesar să se aplice nici un factor de corecție curentului de regim permanent al celor trei conductoare active.

Procentul armonicii 3 din curentul de fază (%)	Factorul de corecție	
	Dimensionarea se bazează pe curentul de fază	Dimensionarea se bazează pe curentul din conductorul de neutru
0 - 15	1,0	-
15 - 33	0,86	-
33 - 45	-	0,86
> 45	-	1,0

Tab. G63: Factori de corecție datorați curenților armonici în conductoarele cu patru și cinci conductoare (în conformitate cu CEI 60364-5-52).

Exemple

Se consideră un circuit trifazat cu o sarcină proiectată de 37 A care circulă printr-un cablu cu izolație din PVC, fixat pe perete prin metoda de instalare C. Din **Tab. G24** un cablu de 6 mm² având conductoare din cupru are un curent de regim permanent de 40 A și, prin urmare, este adecvat dacă prin circuit nu sunt prezente armonici.

■ Dacă armonica 3 este prezentă în proporție de 20%, atunci, trebuie aplicat un factor de corecție de 0,86 iar sarcina devine: $37/0,86 = 43$ A. Pentru această sarcină este necesar un cablu de 10 mm²;

■ Dacă armonica 3 este prezentă într-un procent de 40% dimensionarea cablului se va face pe baza curentului din conductorul neutru: $37 \times 0,4 \times 3 = 44,4$ A, căruia i se va aplica un coeficient de corecție de 0,86. Aceasta va conduce la un curent de sarcină de $44,4/0,86 = 51,6$ A. Pentru această sarcină, este necesar un cablu de 10 mm²;

■ Dacă armonica 3 este prezentă într-un procent de 50% dimensionarea cablului se va face tot pe baza curentului din conductorul neutru: $37 \times 0,5 \times 3 = 55,5$ A. În acest caz, factorul de corecție este 1 și se impune un cablu de 16 mm².

7.2 Protecția conductorului neutru

(vezi Fig. G64)

**Protecția împotriva suprasarcinii**

Dacă conductorul neutru este corect dimensionat (inclusiv din punct de vedere al armonicilor), nu se impune nici o măsură specială de protecție, întrucât acesta este protejat de protecția asigurată conductoarelor de fază.

Totuși, în practică, dacă secțiunea conductorului neutru este mai mică decât cea a conductoarelor de fază, trebuie instalată o protecție la suprasarcină a conductorului neutru.

**Protecția împotriva defectelor de scurtcircuit**

Dacă secțiunea conductorului neutru este mai mică decât cea a conductoarelor de fază, conductorul neutru trebuie protejat împotriva defectelor de scurtcircuit.

Dacă secțiunea conductorului neutru este mai mare sau egală cu cea a conductoarelor de fază, nu se impune nici o măsură specifică de protecție întrucât acesta este protejat de protecția asigurată conductoarelor de fază.

**7.3 Întreruperea conductorului neutru**

(vezi Fig. G64)

Necesitatea de a întrerupe neutrul este legată de protecția împotriva contactului indirect.

Schema TN-C

Conductorul neutru nu trebuie să fie întrerupt în nici o circumstanță întrucât acesta îndeplinește și rolul de conductor de protecție PE.

Schemele TT, TN-S, IT

În eventualitatea unui defect, întreruptorul va deconecta toți polii, inclusiv polul neutru (dacă întreruptorul este multipolar).

Această acțiune poate fi realizată în cazul protecției cu fuzibile doar într-un mod indirect, în care funcționarea unuia sau mai multor fuzibile provoacă o declanșare mecanică a tuturor polilor unui întreruptor asociat, conectat în serie cu protecția cu fuzibile respectivă.

**7.4 Separarea conductorului neutru**

(vezi Fig. G64)

O practică foarte bună este aceea ca fiecare circuit să fie echipat cu mijloace adecvate pentru separarea sa.

7 Conductorul neutru

	TT	TN-C	TN-S	IT
Monofazat (fază/neutru)	 or 		 or 	 (B)
Monofazat (fază/fază)	 or 		 or 	
Trifazat 4 conductoare $S_n \geq S_{ph}$				 (B)
Trifazat 4 conductoare $S_n < S_{ph}$				 (B)

(A) Autorizat pentru sistemele TT sau TN-S dacă un dispozitiv de protecție împotriva curentului rezidual este instalat la originea circuitului sau în amonte, și dacă nici un neutru artificial nu este distribuit în aval.

(B) Autorizat în sistemele IT în anumite condiții: dacă întreruptorul comandă un număr de circuite finale omogene ale căror raport al calibrelor nu depășește 2 și care sunt protejate împotriva unui al doilea defect care s-ar putea produce în altă parte a instalației printr-un dispozitiv de curent diferențial rezidual de sensibilitate $\leq 15\%$ decât cea a calibrului protecției circuitului final având cea mai mică secțiune.

Fig. G64: Diferite situații în care apare conductorul neutru.

Exemple de calcul pentru cabluri (vezi Fig. G65)

Considerăm o instalație alimentată printr-un transformator de 1000 kVA. Procesul tehnologic impune un grad sporit de continuitate a serviciilor, iar acesta este realizat prin utilizarea unui generator de 500 kVA/400V și prin adoptarea sistemului trifazat IT, cu neutru nedistribuit (3 faze - 3 conductoare) la nivelul tabloului general de distribuție. Restul instalației este izolat prin intermediul unui transformator de 400 kVA, 400/400 V. Rețeaua izolată este realizată în sistemul trifazat TT cu 4 conductoare. În diagrama din **Figura G65** sunt redată rezultate ale studiului pe calculator al acestei instalații pentru circuitul C₁, întreruptorul Q₁, circuitul C₆ și întreruptorul Q₆. Aceste studii au fost realizate cu programul de calcul ECODIAL 3.3 (produs Merlin Gerin).

Aceste calcule se bazează pe metodele descrise în acest ghid.

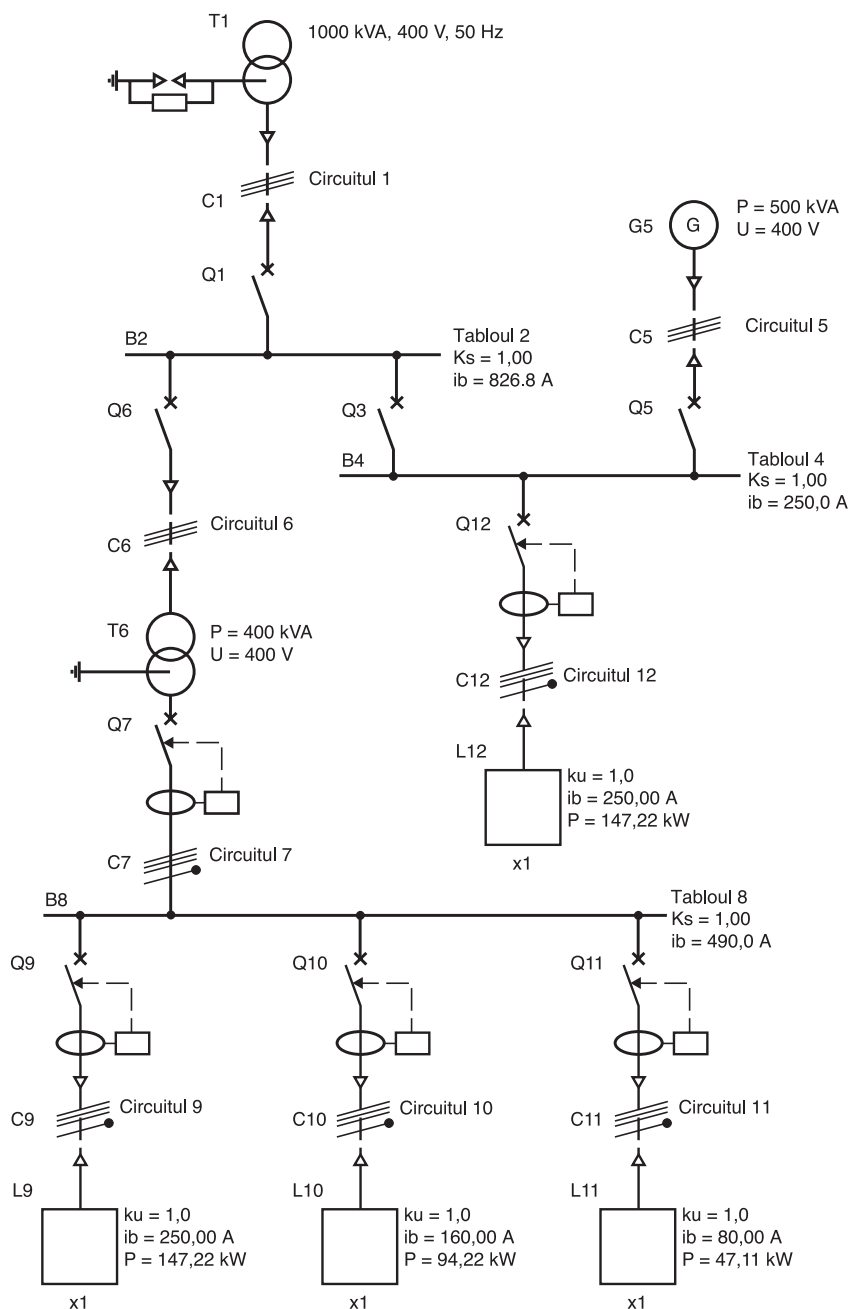


Fig. G65: Exemplu de schemă monofilară.

Calculule utilizand programul Ecodial 3.3

Caracteristicile generale ale rețelei	
Sistemul de tratare a neutrlui	IT
Neutru distribuit	No
Tensiunea (V)	400
Frecvența (Hz)	50
Transformatorul 1 T1	
Număr de transformatoare	1
Putere de scurtcircuit în amonte (MVA)	500
Putere nominală (kVA)	1.000
Tensiunea de scurtcircuit (%)	6
Rezistența rețelei de medie tensiune (mΩ)	0,0351
Reactanța rețelei de medie tensiune (mΩ)	0,351
Rezistența transformatorului RT (mΩ)	2,293
Reactanța transformatorului XT (mΩ)	10,333
Curentul de scurtcircuit trifazat I _{k3} (kA)	23,3
Cablul C ₁	
Curentul maxim de sarcină (A)	1.374
Tipul de izolație	PVC
Materialul conductorului	cupru
Temperatura ambiantă (° C)	30
Cablu unifilar sau multifilar	UNI
Metoda de instalare	F
Numărul de circuite alăturate (Tab. G21b)	1
Alt coeficient	1
Secțiunea selectată a conductorului (mm ²)	6 x 95
Conductorul de protecție	1 x 120
Lungimea (m)	5
Căderea de tensiune ΔU (%)	0,122
Căderea de tensiune totală ΔU (%)	0,122
Curentul de scurtcircuit trifazat I _{k3} (kA)	23
Curentul de defect de punere la pământ I _d (kA)	17
Întreruptorul Q ₁	
Curentul de scurtcircuit trifazat în amonte de întrepruptor I _{k3} (kA)	23
Curentul maxim de sarcină (A)	1.374
Numărul de poli și numărul de poli protejați	3P3D
Întreruptor	NT 16
Tipul întrepruptorului	H 1 - 42 kA
Tipul declanșatorului	Micrologic 5 A
Curentul nominal (A)	1.600
Sistemul de bare B ₂	
Curentul maxim de sarcină (A)	1.374
Tipul	standard, pe cant
Temperatura ambiantă (° C)	30
Dimensiuni (m și mm)	1 m 2x5 mm x 63 mm
Material	Copper
Curentul de scurtcircuit trifazat I _{k3} (kA)	23
Valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit trifazat I _k (kA)	48
Rezistența sistemului de bare R (mΩ)	2,52
Rezistența sistemului de bare X (mΩ)	10,8
Întreruptor Q ₆	
Curentul de scurtcircuit în amonte de întrepruptor I _{k3} (kA)	23
Curentul maxim de sarcină (A)	560
Numărul de poli și numărul de poli protejați	3P3D
Întreruptor	NS800
Tipul întrepruptorului	N – 50 kA
Tipul declanșatorului	Micrologic 2.0
Curentul nominal (A)	800
Limita de selectivitate (kA)	totală
Cablul C ₆	
Curentul maxim de sarcină (A)	560
Tipul de izolație	PVC
Materialul conductorului	cupru
Temperatura ambiantă (° C)	30
Cablu unifilar sau multifilar	UNI
Metoda de instalare	F
Numărul de circuite alăturate (Tab. G20)	1
Alt coeficient	1
Secțiunea selectată a conductorului (mm ²)	1 x 300
Conductorul de protecție	1 x 150
Lungimea (m)	15
Căderea de tensiune ΔU (%)	0,38
Căderea de tensiune totală ΔU (%)	0,54
Curentul de scurtcircuit trifazat I _{k3} (kA)	20
Curentul de defect de punere la pământ I _d (kA)	13,7
Condiții specifice de dimensionare	suprasarcină

Tab. G66: Calcule utilizând programul Ecodial 3.3 (Merlin Gerin).

Aceleași calcule utilizând metoda simplificată recomandată în acest ghid

Dimensionarea circuitului C1

Transformatorul de 1000 kVA are o tensiune la mersul în gol de 420 V. Circuitul C₁ trebuie să corespundă unui curent de fază de valoare:

$$I_B = \frac{1.000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 420} = 1.374 \text{ A pe fază}$$

Prin urmare, pe fiecare fază vor fi utilizate 6 cabluri unifilare de cupru, cu izolație din PVC, în paralel. Aceste cabluri vor fi pozate pe un canal de cablu corespunzător metodei F. Factorii "k" de corecție sunt următorii:

K₁ = 1 (vezi Tab. G12, temperatură 30° C)

K₄ = 0,87 (vezi Tab. G17, cabluri care se ating, 1 pat de cabluri, ≥ 3 circuite)

Alți factori de corecție nu sunt relevanți în acest exemplu.

Curentul de sarcină corectat este:

$$I'_B = \frac{I_B}{K_1 \cdot K_4} = \frac{1.374}{0,87} = 1.579 \text{ A}$$

Fiecare conductor poate transporta, prin urmare, un curent de 263 A. Tabelul G21a indică pentru secțiunea conductorului, valoarea de 95 mm².

Rezistențele și reactanțele inductive ale celor șase conductoare în paralel pentru o lungime de 5 m sunt:

$$R = \frac{22,5 \times 5}{95 \times 6} = 0,20 \text{ m}\Omega \text{ (rezistența cablului: } 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$X = 0,08 \times 5 = 0,40 \text{ m}\Omega \text{ (reactanța cablului: } 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m})$$

Dimensionarea circuitului C₆

Circuitul C₆ alimentează un transformator trifazat de izolație de putere 400 kVA, 400/400 V.

$$\text{Curentul primar} = \frac{400 \cdot 10^3}{420 \cdot \sqrt{3}} = 550 \text{ A}$$

Se propune instalarea cablului unifilar, în mod singular, pe un canal de cablu, în aer liber la o temperatură de 30° C. Întreruptorul este reglat la 560 A.

Metoda de instalare este caracterizată prin litera F, iar coeficienții “k” de corecție sunt toți egali cu “1”.

Este recomandată o secțiune de 240 mm².

Rezistența și reactanța inductivă sunt, respectiv:

$$R = \frac{22,5 \times 15}{240} = 1,4 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,08 \times 15 = 1,2 \text{ m}\Omega$$

Calculul curentului de scurtcircuit pentru alegerea întreruptoarelor Q₁ și Q₆ (vezi Tab. G67)

Componentele circuitului	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	I _{kmax} (kA)
500 MVA la rețeaua de înaltă tensiune	0,04	0,36		
Transformator 1 MVA	2,2	9,8	10,0	23
Cablul C ₁	0,20	0,4		
Sub-total Q₁	2,44	10,6	10,9	23
Sistem de bare B ₂	3,6	7,2		
Cablul C ₆	1,4	1,2		
Sub-total Q₆	4,0	8,4	9,3	20

Tab. G67: Exemplu de evaluare a curentului de scurtcircuit.

Conductorul de protecție

Cerințe pentru stabilitate termică: **Figurile G58 și G59** arată faptul că, atunci când se utilizează metoda adiabatică, secțiunea conductorului de protecție PE pentru circuitul C₁ va fi:

$$\frac{34.800 \times \sqrt{0,2}}{143} = 108 \text{ mm}^2$$

Un singur conductor de secțiune 120 mm² dimensionat astfel din motive menționate ulterior este, prin urmare, suficient, realizându-se totodată condițiile unei protecții satisfăcătoare împotriva contactului indirect (deoarece impedanța este suficient de mică).

Pentru circuitul C₆, secțiunea conductorului de protecție PE poate fi:

$$\frac{29.300 \times \sqrt{0,2}}{143} = 92 \text{ mm}^2$$

În acest caz, o secțiune de 95 mm² poate fi corespunzătoare dacă condițiile de protecție împotriva contactului indirect sunt, de asemenea, satisfăcute.

Protecția împotriva contactelor indirecte accidentale

Pentru verificarea circuitului C_6 din **Fig. G65**, pot fi utilizate **Tab. F45** și **Tab. 61** sau formula indicată la pagina F27.

Lungimea maximă admisibilă a circuitului este dată de relația:

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times 240 \times 230\sqrt{3} \times 1.000}{2 \times 22,5 \left(1 + \frac{240}{95}\right) \times 630 \times 11} = 70 \text{ m}$$

(valoarea de la numitor $630 \times 11 = I_m$ reprezintă nivelul curentului de declanșare magnetică instantanee a întreruptorului de 630 A).

Prin urmare, lungimea de 15 m este total protejată de către dispozitivele instantanee de protecție la supracurent.

Căderea de tensiune

Din **Tab. G28** se poate observa faptul că:

■ pentru circuitul C_1 ($6 \times 95 \text{ mm}^2/\text{fază}$)

$$\Delta U = \frac{0,42 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 1,374 \text{ (A)} \times 0,008}{3} = 1,54 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1,54 = 0,38\%$$

■ pentru circuitul C_6

$$\Delta U = \frac{0,21 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 433 \text{ (A)} \times 0,015}{3} = 1,36 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1,36 = 0,34\%$$

La bornele transformatorului de separație JT/JT, căderea de tensiune exprimată în procente este:

$$\Delta U\% = 0,72\%.$$

Capitolul H

Aparate de comutație de joasă tensiune: funcții și selecție

Cuprins

1	Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune	H2
	1.1 Protecție electrică	H2
	1.2 Separare	H3
	1.3 Control	H4
2	Aparate de comutație	H5
	2.1 Dispozitive de comutație elementare	H5
	2.2 Dispozitive de comutație combinate	H9
3	Alegerea aparatelor de comutație	H10
	3.1 Tabel cu caracteristici funcționale	H10
	3.2 Selecția aparatelor de comutație	H10
4	Întreruptoare automate	H11
	4.1 Standarde și descriere	H11
	4.2 Caracteristici fundamentale ale unui întreruptor automat	H13
	4.3 Alte caracteristici ale unui întreruptor automat	H15
	4.4 Selecția unui întreruptor automat	H18
	4.5 Coordonarea între întreruptoarele automate	H22
	4.6 Selectivitate MT/JT într-un post de transformare tip consumator	H27

1 Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune

Rolul aparatului electric de comutație constă în realizarea următoarelor funcții:

- protecție electrică;
- separarea sigură de părțile aflate sub tensiune;
- comanda locală sau de la distanță.

Standardele naționale și internaționale definesc modul în care trebuie realizate circuitele instalațiilor de JT precum și caracteristicile diferitelor aparate de comutație. Principalele funcții ale aparatelor de comutație sunt:

- protecție electrică;
- separare electrică a unei secțiuni dintr-o instalație;
- comanda locală sau de la distanță.

Aceste funcții sunt rezumate în **Tab. H1**.

Protecția electrică la joasă tensiune este (excepție siguranțele fuzibile) de obicei încorporată în întreruptoarele automate sub forma dispozitivelor termice și electromagnetice și/sau dispozitive de declanșare pe baza curentului rezidual (mai rar dispozitive sensibile la tensiunea reziduală - acceptate dar nerecomandate de CEI).

Celor prezentate în **Tabelul H1** li se adaugă și alte funcții, anume:

- protecție la supratensiune;
- protecție la minimă tensiune;

care sunt realizate cu dispozitive specifice (diferite tipuri de descărcătoare, relee asociate cu contactoare, întreruptoare automate comandate de la distanță, combinații întreruptor automat/izolator, etc.).

Protecție electrică împotriva	Separare	Comandă
<ul style="list-style-type: none">■ curenților de suprasarcină■ curenților de scurtcircuit■ defectelor de izolație	<ul style="list-style-type: none">■ separare indicată clar de un indicator mecanic cu imunitate la defect■ un interval sau barieră de separare, intercalată între contactele deschise, vizibilă în mod clar	<ul style="list-style-type: none">■ comutație în regim de funcționare normală■ comutație de urgență■ oprire de urgență■ deconectare pentru asigur. mentenanței mecanice

Tab. H1: Funcțiile de bază ale unui aparat de comutație de JT.

Protecția electrică asigură:

- protecția elementelor de circuit împotriva solicitărilor termice și mecanice produse de curenții de scurtcircuit;
- protecția persoanelor în cazul defectelor de izolație;
- protecția receptoarelor alimentate cu energie electrică (motoare, etc.).

H2

1.1 Protecție electrică

Scopul protecției este evitarea și limitarea consecințelor distructive sau periculoase ale supracurenților (suprasarcină și scurtcircuit) și defectelor de izolație, precum și separarea circuitului defect de restul instalației.

Trebuie făcută o distincție între protecția:

- elementelor instalației (cabluri, conductoare, aparate de comutație, etc.);
- persoanelor și animalelor;
- echipamentelor și receptoarelor alimentate de la instalații electrice.

Protecția circuitelor

- Împotriva suprasarcinii; în cazul supracurentului produs într-o instalație normală (fără defect).
- Împotriva curenților de scurtcircuit datorati defectului de izolație între conductoarele de faze diferite sau (în sistemele de tip TN) între fază și conductorul neutru (sau PE).

Protecția în aceste cazuri este realizată de siguranțe fuzibile sau întreruptoare automate, la nivelul tabloului de distribuție la care este legat circuitul receptorului. Anumite derogări de la această regulă sunt autorizate în standardele naționale, precum cele notate în capitolul H1, subcapitolul 1.4.

Protecția persoanelor

- Împotriva defectelor de izolație. În acord cu schema (TN, TT sau IT) protecția va fi realizată de siguranțe fuzibile sau întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferențial rezidual și/sau monitorizarea permanentă a rezistenței de izolație între instalație și pământ.

Protecția motoarelor electrice

- Împotriva supraîncălzirii datorate, de exemplu, unei suprasarcini îndelungate, rotorului blocat, funcționării într-o singură fază, etc. Sunt utilizate relee termice proiectate special astfel încât să corespundă caracteristicilor particulare aferente motoarelor. Dacă este necesar, astfel de relee pot să protejeze la suprasarcină cablul aferent circuitului motorului. Protecția la scurtcircuit este realizată fie de o siguranță de tip aM fie de un întreruptor automat fără elementul de protecție termic.

1 Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune

Separarea indicată clar de un indicator cu imunitate la defect sau de o separare vizibilă a contactelor satisface standardele naționale ale multor țări.

1.2 Separare

Scopul separării este să izoleze un circuit sau un receptor (de exemplu un motor, etc.) de restul sistemului alimentat cu energie astfel încât personalul să poată lucra la partea separată în perfectă siguranță.

În principiu, toate elementele unei instalații de JT trebuie să aibă mijloace de separare. În practică, pentru a menține o continuitate optimă a funcționării, este preferată asigurarea de mijloace de separare la originea fiecărui circuit.

Un dispozitiv de separare trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- toți polii circuitului incluzând neutrul (exceptând cazul când neutrul este un conductor PEN) trebuie să poată fi deschiși⁽¹⁾;
- trebuie să fie asigurat cu mijloace de zăvorăre a deschiderii, cu cheie (prin intermediul unui lacăt) astfel încât să se evite reînchiderea neautorizată, accidentală;
- trebuie să se conformeze unui standard recunoscut național sau internațional (cum este CEI 60947-3) privind distanța dintre contacte, lungimea liniei de fugă, tensiunea de ținere, etc. și de asemenea:

□ verificarea dacă contactele dispozitivului de separare sunt realmente deschise.

Verificarea poate fi:

- vizuală dacă dispozitivul este proiectat corespunzător astfel încât să permită observarea contactelor (anumite standarde naționale impun această condiție pentru un dispozitiv de separare plasat la originea unei instalații de JT alimentată direct de la un transformator MT/JT), sau

- mecanică, prin intermediul unui indicator fixat prin sudură de arborele activ al dispozitivului. În acest caz construcția dispozitivului trebuie să fie astfel încât, în eventualitatea sudării contactelor în poziția închis, indicatorul să nu poată indica poziția deschis,

□ curenții de scurgere. Cu dispozitivul de separare deschis, curenții de scurgere între contactele deschise ale fiecărei faze nu trebuie să depășească:

- 0,5 mA pentru un dispozitiv nou

- 6 mA la sfârșitul timpului de utilizare,

□ tensiunea de ținere între contactele deschise. Dispozitivul de separare în stare deschisă trebuie să reziste la un impuls de 1,2/50 μ s având o valoare de vârf de 6, 8 sau 12 kV conform tensiunii nominale așa cum se arată în **Tab. H2**. Dispozitivul trebuie să satisfacă aceste condiții pentru altitudini de până la 2000 m. Factorii de corecție sunt dați în standardul CEI 60664-1 pentru altitudini mai mari de 2000 m. În consecință, dacă testele sunt făcute la nivelul mării, valorile de încercare trebuie mărite cu 23% pentru a lua în considerare efectul altitudinii. Vezi standardul CEI 60947.

Tensiune nominală (de serviciu) (V)	Ținere la impuls de tensiune (pentru 2.000 m) (kV)	
	III	IV
230/400	4	6
400/690	6	8
690/1.000	8	12

Tab. H2: Valorile de vârf ale impulsurilor de tensiune corespunzătoare tensiunii nominale normale. Gradele III și IV reprezintă grade de poluare definite în CEI 60664-1.

⁽¹⁾ Simultaneitatea deschiderii tuturor contactelor de fază, deși nu este totdeauna obligatorie, este totuși insistent recomandată (din rațiuni de mărire a siguranței și simplificării în funcționare). Contactul neutru se deschide după contactele de fază și se închide înaintea acestora (CEI 60947-1).

1 Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune

Funcțiile de comandă ale aparatelor de comutație permit personalului de exploatare să modifice încărcarea sistemului în orice moment. Acestea includ:

- comanda funcțională (manevrele de comutație de rutină, etc.);
- comutația de urgență;
- lucrările de întreținere ale instalației.

1.3 Control

În sens larg, prin "control" se înțelege orice facilitare de modificare, în deplină siguranță, a configurației sarcinilor instalației, la toate nivelele. Funcționarea aparatelor de comutație este o parte importantă a comenzii sistemului de alimentare.

Comanda funcțională

Această comandă se referă la toate aparatele de comutație în condiții normale de serviciu, pentru conectarea/deconectarea unei părți a instalației sau a unui receptor de la sursa de energie. Aparatele de comutație destinate acestui rol trebuie să fie plasate cel puțin:

- la originea circuitelor de alimentare;
- la bornele receptoarelor.

Marcajul circuitelor comandate trebuie să fie clar și fără ambiguități.

Pentru a obține un maximum de flexibilitate și continuitate în funcționare, în special acolo unde aparatele de comutație realizează și funcția de protecție (cazul întreruptoarelor automate sau siguranțelor) este preferabil să se includă un aparat de comutație la fiecare nivel de distribuție, adică la fiecare ieșire a tablourilor de distribuție și subdistribuție.

Manevrele pot fi:

- manuale (prin intermediul unui levier, etc.), sau
- electrice (prin buton aflat la nivelul aparatului sau la panoul de comandă).

Aceste aparate de comutație, lucrează instantaneu (fără nici o întârziere deliberată);

în plus acelea care realizează și protecția sunt totdeauna multipolare⁽¹⁾.

Întreruptorul general aferent sursei de alimentare a instalației precum și orice întreruptor utilizat pentru funcția de inversor de sursă trebuie să fie unități multipolare.

Deconectarea de urgență - oprirea de urgență

O deconectare de urgență este destinată să întrerupă alimentarea unui circuit activ, care este sau poate să devină periculos (șoc electric sau incendiu).

O oprire de urgență are drept scop oprirea unei mișcări mecanice care poate să devină periculoasă.

În cele două cazuri:

- dispozitivul de comandă de urgență sau mijloacele lui de operare (locale sau de la distanță) cum ar fi butonul de oprire de urgență, în formă de ciupercă de culoare roșie, trebuie să fie accesibile și ușor de recunoscut. Acestea trebuie plasate în apropierea locului unde poate să apară sau de unde poate fi observat un pericol;
- o singură acțiune trebuie să ducă la o întrerupere completă a tuturor conductoarelor active⁽²⁾⁽³⁾;

■ butonul de deconectare de urgență, protejat cu o fereastră din sticlă, poate să fie utilizat cu condiția ca în instalațiile neprotejate realimentarea circuitelor să poată fi realizată de o persoană autorizată, care va folosi o cheie de acces.

Trebuie notat că, în anumite cazuri, un sistem de deconectare de urgență poate să solicite ca sursa auxiliară aferentă sistemelor de frânare electromagnetică să fie menținută până la oprirea finală a utilajelor respective.

Deconectarea în cazul lucrărilor de întreținere mecanică

Această operație asigură oprirea unei mașini și imposibilitatea de a fi repornită accidental atâta timp cât se desfășoară lucrările de întreținere. Deconectarea este în general realizată la nivelul aparatului de comutație, cu utilizarea unei zăvorări de siguranță corespunzătoare și plasarea inscripției de atenționare la mecanismul de acționare.

(1) Să asigure o întrerupere pe fiecare fază (unde este cazul și o întrerupere a neutrlui).

(2) Luând în considerație motoarele blocate.

(3) Într-o schemă de tratare TN conductorul PEN nu trebuie să fie niciodată întrerupt deoarece el îndeplinește funcția de împământare de protecție și de conductor neutru.

2 Aparate de comutație

2.1 Dispozitive de comutație elementare

Separatorul (vezi Fig. H5)

Acest aparat de comutație este acționat manual, poate fi blocat prin zavorare, având două poziții (deschis/închis) și realizează o separare sigură a circuitului în poziția deschis. Caracteristicile lui sunt definite în CEI 60947-3. Un separator nu este proiectat să închidă pe sarcină sau să deschidă pe sarcină⁽¹⁾ și nici o valoare nominală pentru acestea nu este dată în standarde. Trebuie totuși să fie capabil să reziste la trecerea curenților de scurtcircuit și este specificată valoarea curentului de scurtă durată respectiv, în general pentru o secundă, în lipsa altei înțelegeri între utilizator și producător. Această caracteristică este în mod normal adecvată pentru perioade lungi de supracurent (de valori mai mici), ca acelea de la pornirea motoarelor electrice. În cazul separatoarelor, trebuie satisfăcute valorile standardizate pentru testele de duranță mecanică, supratensiune și curent de fugă.

Separatorul de sarcină (vezi Fig. H6)

Acest separator de comandă este în general acționat manual (dar uneori este dotat cu declanșare electrică pentru ușurarea operării) și este un dispozitiv neautomat, cu două poziții (deschis/închis).

Acesta este capabil să închidă și să deschidă circuite sub sarcină, în condiții normale de funcționare. În consecință, separatorul de sarcină nu asigură nici o protecție pentru circuitul în care este plasat.

Standardul CEI 60947-3 definește:

- frecvența de comutație (max. 600 cicluri de închideri/deschideri pe oră);
- duranța mecanică și electrică (în general mai mică decât a unui contactor);
- puterea de rupere și capacitatea de închidere la funcționare normală și ocazională.

Când închidem un separator de sarcină pentru a alimenta un circuit există întotdeauna posibilitatea ca un scurtcircuit neașteptat să existe în avalul circuitului. Din această cauză separatoarele de sarcină sunt caracterizate de o anumită valoare a curentului de defect pe care pot să-l suporte, în contextul apariției forțelor electrodinamice produse de curentul de scurtcircuit. Deci, aceste dispozitive pot închide curenți de defect și deschide curenți de sarcină. Ca urmare dispozitivele de protecție din amonte sunt utilizate numai pentru întreruperea curenților de defect. Categoria AC-23 include comutația ocazională a motoarelor individuale. Comutația condensatoarelor și a lămpilor cu filament de tungsten face obiectul înțelegerii dintre producător și utilizator.

Categoriile de utilizare (vezi **Tab. H7**) nu se aplică unui echipament utilizat în mod normal pentru pornirea, accelerarea și/sau oprirea motoarelor individuale.

Exemplu:

Un separator de sarcină de 100 A din categoria AC-23 (sarcină inductivă) trebuie să fie capabil:

- să conecteze un curent de $10I_n$ (= 1000 A) la un factor de putere de 0,35 (inductiv);
- să deconecteze un curent de $8I_n$ (= 800 A) la un factor de putere de 0,45 (inductiv);
- să suporte curenți de scurtcircuit de scurtă durată când este în poziția închis.

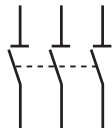


Fig. H5: Simbol pentru un separator.

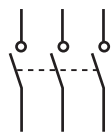


Fig. H6: Simbol pentru un separator de sarcină.

Categorii de utilizare		Aplicații tipice	Cos φ	Curentul la conectare x I_n	Curentul la deconectare x I_n
Operare frecventă	Operare ocazională				
AC-20A	AC-20B	Conectează și deconectează fără sarcină	-	-	-
AC-21A	AC-21B	Comută sarcini rezistive inclusiv suprasarcini moderate	0,95	1,5	1,5
AC-22A	AC-22B	Comută sarcini mixte rezistive și inductive inclusiv suprasarcini moderate	0,65	3	3
AC-23A	AC-23B	Comută sarcini puternic inductive (motoare și altele)	0,45 pentru $I \leq 100$ A 0,35 pentru $I > 100$ A	10	8

Tab. H7: Categoriile de utilizare ale aparatelor de comutație de joasă tensiune conform cu CEI 60947-3.

(1) Un separator de JT este un aparat de comutație care poate fi acționat numai în lipsa tensiunii, mai ales la închidere, datorită posibilității existenței unui scurtcircuit neașteptat în aval. Interblocarea cu un separator de sarcină sau cu un întrerupător automat din amonte este frecvent utilizată.

Teleruptorul (vezi Fig. H8)

Dispozitivul este utilizat în comanda circuitelor de iluminat unde prin apăsarea unui buton (sau a unei comenzi de la distanță) se va deschide un întreruptor închis sau se va închide un întreruptor deschis, într-o secvență bistabilă.

Aplicațiile tipice sunt:

- comutația iluminatului pe scările marilor clădiri în sistem “control multipunct” sau “cap scară”;
 - scheme de iluminat etapizat;
 - sistemele de iluminat a platformelor, fabricilor, etc.
- Există dispozitive auxiliare care sunt disponibile pentru:
- semnalizarea la distanță a stării aparatului în orice moment;
 - funcții de temporizare;
 - opțiuni de contact menținut.

Contactorul (vezi Fig. H9)

Contactorul este un aparat de comutație monostabilă acționat prin intermediul unei bobine și ținut închis prin intermediul unui curent (reduc) prin aceea bobină (deși există și diverse tipuri de zăvorări mecanice pentru diferite aplicații). Contactoarele sunt proiectate să realizeze un mare număr de cicluri închidere/deschidere și sunt de obicei comandate de la distanță prin butoane de închidere/deschidere.

Numărul mare de cicluri de funcționare repetitive este standardizat în tabelul VIII a CEI 60947-4-1 prin:

- durata de funcționare: 8 ore; fără întrerupere; intermitent; temporar, de 3, 10, 30, 60 și 90 minute;
- categoria de utilizare: de exemplu, un contactor din categoria AC3 poate fi utilizat pentru pornirea și oprirea unui motor cu rotorul în scurtcircuit;
- numărul de cicluri de porniri/opriri (1 la 1200 de cicluri pe oră);
- duranța mecanică (numărul de manevre în lipsa sarcinii);
- duranța electrică (numărul de manevre în sarcină);
- puterea de rupere și capacitatea de închidere, conform cu categoria de utilizare.

Exemplu:

Un contactor de 150 A din categoria AC3 trebuie să aibă un curent de deconectare minim de $8I_n$ ($= 1200$ A) și să conecteze un curent de $10I_n$ ($= 1500$ A) la un factor de putere de 0,35 (inductiv).

Contactor echipat cu rele termice⁽¹⁾

Un contactor echipat cu rele termice pentru protecția la suprasarcină este denumit, în anumite țări discontactor⁽¹⁾. Aceste aparate sunt utilizate pentru comanda circuitelor de iluminat comandate la distanță cu butoane, etc. și pot fi de asemenea considerate ca element esențial în funcționarea motoarelor, cum se specifică în paragraful 2.2 “Dispozitive de comutație combinate”. “Discontactorul” nu este echivalent cu întreruptorul automat, deoarece puterea sa de rupere este limitată la 8 sau $10 I_n$ de aceea, pentru protecția la scurtcircuit este necesar să se utilizeze siguranțe fuzibile sau un întreruptor automat, conectate în serie în amonte de contactele principale ale “discontactorului”.

Siguranțe fuzibile (vezi Fig. H10)

Prima literă indică gama de rupere a arcului:

- “g” înseamnă capacitate de rupere extinsă pe toată gama;
- “a” înseamnă capacitate de rupere pe o parte a gamei.

A doua literă indică categoria de utilizare; această literă definește acuratețea caracteristicii timp-curent, timpii și curenții convenționali, pragurile.

Exemplu:

- “gG” indică fuzibile cu capacitate de rupere extinsă pe toată gama pentru aplicații generale;
- “gM” indică fuzibile cu capacitate de rupere extinsă pe toată gama pentru protecția motoarelor;
- “aM” indică fuzibile cu capacitate de rupere pe o parte a gamei pentru protecția motoarelor.

Siguranțele pot fi cu și fără semnalizator mecanic de fuziune. Siguranțele întrerup circuitul prin topirea controlată a elementului fuzibil, atunci când curentul depășește o valoare dată, corespunzătoare unei anumite durate de timp; relația curent/timp este dată sub forma caracteristicii de protecție, specifică fiecărui tip de siguranță. Standardele definesc două clase de siguranțe fuzibile:

- cele destinate instalațiilor casnice, fabricate sub forma elementelor de înlocuire pentru curenți nominali de până la 100 A, tip “gG” în CEI 60269-1 și 3;
- cele pentru uz industrial, element de înlocuire denumit tip “gG” (uz general); “gM” și “aM” (pentru circuitele motoarelor) în CEI 60269-1 și 2.

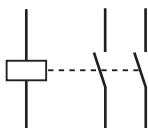


Fig. H8: Simbol pentru un comutator bistabil controlat de la distanță (teleruptor).

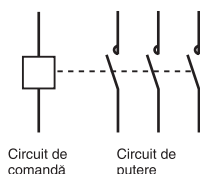


Fig. H9: Simbol pentru un contactor.

Sunt foarte des utilizate două clase de elemente fuzibile:

- pentru instalații casnice sau similare tipul gG;
- pentru aplicații industriale tipul gG, gM sau aM.

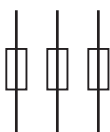


Fig. H10: Simbol pentru fuzibile.

(1) Acest termen nu este definit în publicațiile CEI, dar este curent utilizat în câteva țări, dar nu și în România.

Principalele diferențe între siguranțele casnice și industriale constau în tensiunea nominală și valorile de curent (care cer dimensiuni fizice mult mai mari) precum și caracteristicile de întrerupere a curentului de defect. Tipul "gG" este des utilizat pentru protecția circuitelor motoarelor, ceea ce este posibil atunci când caracteristicile lor le permit să reziste la curentul de pornire al motorului fără a fi deteriorate.

Recent au fost adoptate de CEI siguranțele de tip "gM" pentru protecția motoarelor destinate să acopere condițiile de pornire și de regim de scurtcircuit. Acest tip de siguranță este utilizat pe larg în anumite țări, dar în prezent siguranțele de tip "aM", în combinație cu relee termice de suprasarcină, sunt mult mai folosite.

Siguranța de tip "gM" este caracterizată prin două valori de curent. Prima valoare definește curentul nominal al elementului înlocuitor și al contactului fix; a doua valoare I_{ch} definește caracteristica timp-curent a elementului înlocuitor ca în tabelele II, III și VI din CEI 60269-1.

Aceste două valori sunt separate printr-o literă care definește tipul de utilizare.

De exemplu: $I_n M I_{ch}$ definește o siguranță destinată utilizării pentru protecția unui motor și având caracteristica G. Prima valoare I_n corespunde curentului continuu maxim pentru ansamblul siguranței și a doua I_{ch} corespunde caracteristicii G pentru elementul de înlocuire. Pentru mai multe detalii, a se consulta nota de la sfârșitul subcapitolului 2.1.

Un element înlocuitor "aM" este definit de o valoare de curent I_n și o caracteristică timp-curent așa cum se prezintă în **Fig. H14** (pagina următoare).

Important: Anumite standarde naționale utilizează tipul (industrial) de siguranțe "gI" care are aceleași caracteristici principale ca și tipul "gG". Oricum siguranțele de tip "gI" nu trebuie să fie utilizate în instalații casnice.

Zone de fuziune - curenți convenționali

Aceste siguranțe realizează protecția la suprasarcină și scurtcircuit. Curenții convenționali de nonfuziune și fuziune sunt standardizați, așa cum se arată în **Fig. H12** și **Tab. H13**.

■ Curentul convențional de nonfuziune I_{nf} este valoarea curentului pe care elementul fuzibil poate să-l suporte un timp specificat, fără să se topească.

Exemplu: O siguranță de 32 A la un curent de $1,25 I_n$ (= 40 A) nu trebuie să se topească în mai puțin de o oră (**Tab. H13**).

■ Curentul convențional de fuziune I_f (= I_2 în **Fig. H12**) este valoarea de curent care va produce topirea elementului de înlocuire, înainte de scurgerea unui timp specificat.

Exemplu: O siguranță de 32 A supusă unui curent de $1,6 I_n$ (= 52,1 A) trebuie să se topească în timp de o oră sau mai puțin (**Tab. H13**).

Testele standardizate CEI 60269-1 impun plasarea caracteristicii de funcționare a siguranțelor între două curbe limită (arătate în **Fig. H12**). Aceasta înseamnă că două siguranțe care satisfac testul pot avea timpi de funcționare semnificativ diferiți, în special pentru suprasarcini de valori reduse.

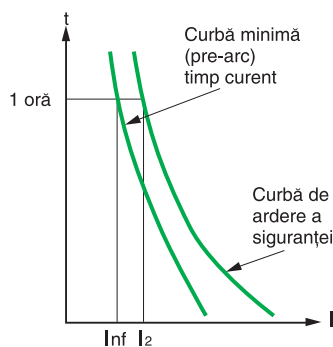


Fig. H12: Zona de fuziune și nonfuziune a fuzibilelor de tip "gG" și "gM".

Curent nominal ⁽¹⁾ I_n (A)	Curent de nonfuziune convențional I_{nf}	Curent de fuziune convențional I_2	Timpul convențional (h)
$I_n \leq 4$ A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n < 16$ A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4

Tab. H13: Zona de fuziune și nonfuziune a fuzibilelor de JT de tip "gG" și "gM" (CEI 60269-1 și 60269-2-1).

(1) I_{ch} pentru siguranțe tip gM.

Siguranțele din clasa "aM" protejează numai la curenți de scurtcircuit și trebuie întotdeauna asociate cu un alt dispozitiv care să protejeze la suprasarcină.

■ Cele două exemple, pentru o siguranță de 32 A, împreună cu specificațiile precedente asupra condițiilor de încercare standard, explică de ce aceste siguranțe au performanțe modeste în domeniul suprasarcinilor reduse.

■ De aceea este necesar să fie instalat un cablu supradimensionat față de cerințele normale ale circuitului, pentru a evita consecințele unei posibile suprasarcini prelungite (suprasarcină 60% pentru cel mult o oră în cel mai rău caz).

Pentru comparație, un întreruptor cu un curent nominal similar:

■ parcurs de $1,05I_n$ nu trebuie să declanșeze în mai puțin de o oră, și

■ parcurs de un curent de $1,25I_n$ trebuie să declanșeze într-o oră sau mai puțin (suprasarcină 25% pentru cel mult o oră în cel mai rău caz).

Siguranțele din clasa "aM" (pentru motoare)

Aceste siguranțe realizează protecția numai la curenții de scurtcircuit și trebuie să fie asociate cu alte aparate de comutație (contactoare echipate cu relee termice sau întreruptoare automate) pentru a asigura protecția la suprasarcină cu valori $< 4I_n$. De aceea ele nu sunt autonome.

Deoarece siguranțele "aM" nu sunt destinate să protejeze la nivele reduse de curent de suprasarcină, nu sunt fixate valori pentru curenții convenționali de fuziune și nonfuziune.

Curbele caracteristice pentru încercarea acestor siguranțe, sunt date pentru valori ale curentului de defect depășind aproximativ $4I_n$ (vezi Fig. H14) și siguranțele încercate conform CEI 60269 trebuie să aibă curbe de funcționare care se plasează în interiorul zonei hașurate.

Notă: Vârfurile de săgeată din diagramă indică zona permisă a caracteristicii timp-curent, pentru diferite siguranțe testate conform CEI 60269.

Curenții de rupere nominali în regim de scurtcircuit

O caracteristică a siguranțelor fuzibile moderne este aceea că datorită fuziunii rapide în cazul curentului de scurtcircuit de valoare mare⁽¹⁾, întreruperea începe înaintea apariției curentului de vârf, astfel încât curentul de defect nu atinge niciodată valoarea sa prezumată (vezi Fig. H15).

Această limitare a curentului reduce semnificativ solicitările termice și electrodinamice care ar putea să apară, minimizând consecințele la locul defectului. Puterea de rupere la scurtcircuit a siguranței se bazează de aceea pe valoarea efectivă a componentei de c.a. a curentului prezumat de defect. Pentru siguranțe fuzibile nu este specificată nici o valoare nominală la închiderea pe scurtcircuit, pentru curentul de scurtcircuit.

Memento

Curenții de scurtcircuit conțin inițial o componentă de c.c., de mărime și durată care depinde de raportul X_L/R , corespunzător buclei de curent de defect.

Aproape de sursă (transformatorul MT/JT) relația $I_{\text{vârf}}/I_{\text{ef}}$ (a componentei de c.a.) în momentul imediat următor defectului, poate să ajungă la 2,5 (standardizat de CEI și arătat în Fig. H16 pagina următoare). La nivelele inferioare ale distribuției, în cazul circuitelor periferice X_L este mic în comparație cu R și astfel pentru circuitele finale, $I_{\text{vârf}}/I_{\text{ef}} = 1,41$ condiție care corespunde cu Fig. H15.

Efectul de limitare a vârfului de curent apare numai când valoarea eficace prezumată a componentei de c.a. atinge un anumit nivel. De exemplu, în Fig. H16, siguranța de 100 A va limita vârful curentului de defect la o valoare de 2 kA (a). Aceeași siguranță, pentru un curent prezumat efectiv de 20 kA va limita vârful de curent la 10 kA (b). În acest caz particular, în lipsa limitării produse de siguranțe, vârful de curent ar fi atins 150 kA (c). Așa cum s-a menționat deja, la nivelele inferioare ale distribuției, R este mult mai mare decât X_L și nivelul curentului de defect este în general redus. Aceasta înseamnă că, curentul de defect poate să nu atingă valori suficient de mari pentru a se putea produce limitarea. Pe de altă parte, componenta de curent continuu tranzitorie (în acest caz) are un efect nesemnificativ asupra valorii de vârf a curentului, așa cum s-a menționat anterior.

Notă: asupra parametrilor nominali ai siguranței "gM"

O siguranță de tip "gM" este de fapt o siguranță de tip "gG" la care elementul fuzibil corespunde valorii de curent I_{ch} (ch = caracteristic) care poate fi, de exemplu, 63 A. Aceasta este valoarea de test CEI, astfel încât caracteristica timp-curent să fie identică cu cea a siguranței "gG" de 63 A.

Această valoare (63 A) este adoptată pentru ca siguranța să reziste la curenții de pornire ai motorului, curentul de funcționare de regim permanent I_n putând fi în valoare de 10 la 20 A.

Acesta înseamnă că soclul și părțile metalice aferente pot fi de gabarit redus, deoarece căldura disipată în funcționarea normală este mai mică.

O siguranță standard "gM" corespunzătoare pentru această situație va fi denumită 32M63 (adică $I_n M I_{ch}$).

Prima valoare de curent se referă la caracteristica de sarcină permanentă a siguranței fuzibile, în timp ce a doua valoare I_{ch} se referă la caracteristica de curent de pornire (scurtă durată).

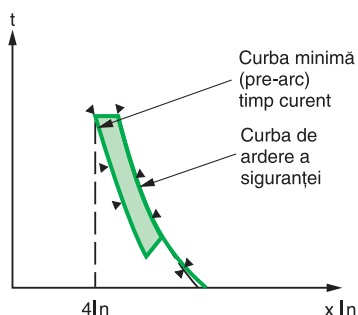


Fig. H14: Zona standardizată de fuziune a fuzibilelor de tip aM (toate calibrele de curent).

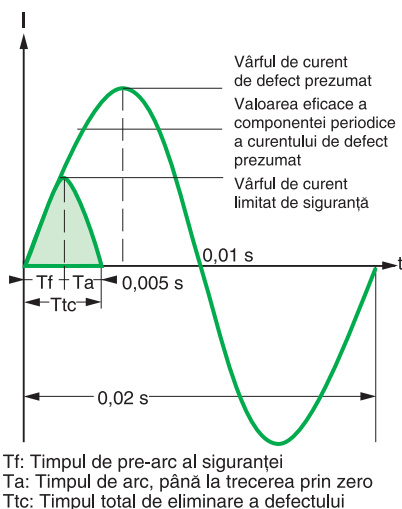


Fig. H15: Limitarea de curent dată de o siguranță.

(1) Pentru curenți depășind un anumit nivel, în funcție de curentul nominal al siguranței, cum este arătat mai sus în Fig. H15.

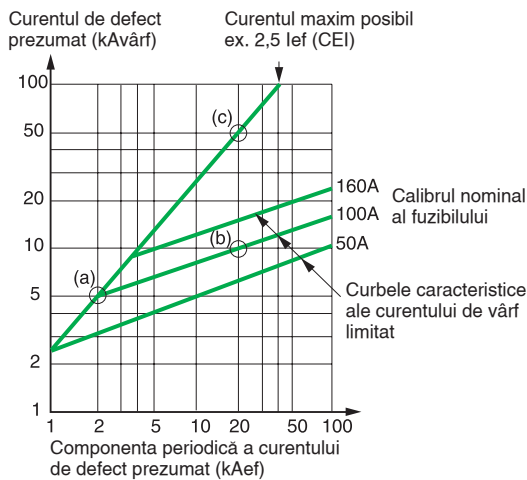


Fig. H16: Curentul de vârf limitat în funcție de curentul eficient prezumat al componentei periodice a curentului de defect pentru fuzibile de joasă tensiune.

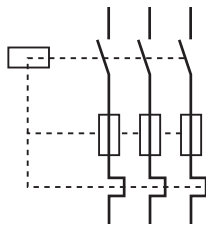


Fig. H17: Simbol pentru combinație fuzibile și separator cu declanșare automată.



Fig. H18: Simbol pentru combinație fuzibile și separator fără declanșare automată.

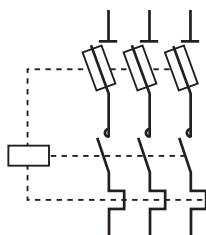


Fig. H20: Simbol pentru combinație fuzibile și separator + discontactor.

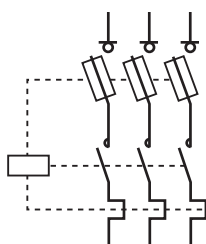


Fig. H21: Simbol pentru combinație fuzibile și separator de sarcină + discontactor.

În cazul folosirii siguranțelor "gM", protecția la suprasarcină a motorului nu este realizată de siguranță și astfel totdeauna este necesară utilizarea unui releu termic separat. De aceea, singurul avantaj oferit de siguranțele "gM" față de siguranțele "aM" este reducerea dimensiunilor fizice și o ușoară reducere a costurilor aferente.

2.2 Dispozitive de comutație combinate

În general, dispozitivele de comutație nu pot realiza singure toate cerințele celor trei funcții de bază: protecție, comandă și separare.

Atunci când instalarea unui întreruptor automat nu este oportună (mai ales când frecvența de conectare este mare, pe perioade îndelungate) sunt utilizate combinații de dispozitive special proiectate pentru funcțiile respective.

Cele mai utilizate combinații sunt descrise mai jos.

Asocieri separatoare și fuzibile

Se disting două cazuri:

■ Cazul în care arderea uneia sau multor siguranțe produce deschiderea aparatului de comutație adițional. Aceasta este realizată prin utilizarea siguranțelor dotate cu pini de percuție și un sistem de declanșare a aparatului de comutație adițional, dotat cu resoarte și mecanisme basculante (vezi **Fig. H17**).

■ Cazul în care un aparat de comutație neautomat este asociat cu un set de siguranțe într-o carcasă comună.

În anumite țări conform cu CEI 60947-3, termenii "switch-fuse" și "fuse-switch" au semnificații speciale, adică:

□ un "switch-fuse" cuprinde un aparat de comutație, de regulă un separator (în general două întreruperi pe pol) în partea din amonte are trei socluri de siguranțe fixe, în care sunt montate elementele de înlocuire (vezi **Fig. H18**).

□ un "fuse-switch" constă din trei lame (căi de curent) de siguranțe, fiecare realizând o dublă întrerupere pe fază.

Căile de curent nu sunt continue pe toată lungimea lor, fiecare având o porțiune în mijloc unde este montat elementul de înlocuire (cartușul fuzibil). Unele dispozitive au o singură separare pe fază, cum se arată în **Fig. H19**.

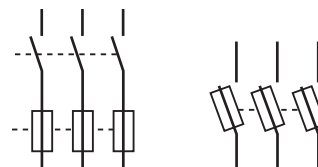


Fig. H19: Simbol pentru fuzibile și separator fără declanșare automată.

Domeniul de curent pentru aceste dispozitive este limitat la maximum 100 A, pentru tensiunea trifazată de 400 V, fiind utilizate în principal în instalații casnice sau similare. Pentru a evita confuzia între prima variantă (cu declanșare automată) și cea de a doua variantă, termenul "combinație fuzibile și separator" trebuie să fie completat cu "automat" sau "neautomat".

Separator combinat cu fuzibile + contactor dotat cu relee termice - separator de sarcină combinat cu fuzibile + contactor dotat cu relee termice

Așa cum s-a menționat, un contactor dotat cu relee termice (discontactor) nu realizează protecția la scurtcircuit și de aceea este necesară prezența siguranțelor fuzibile de tip aM, pentru a realiza această funcție. Combinația este utilizată în principal pentru circuitele de comandă ale motoarelor unde separatorul sau separatorul de sarcină permite manevre, cum sunt:

■ schimbarea elementelor de înlocuire (cu circuitul deschis);

■ intervenția asupra circuitului din aval de contactorul dotat cu relee termice (există riscul închiderii acestuia prin comanda de la distanță).

Separatorul combinat cu fuzibile trebuie să fie interbloctat cu contactorul cu relee. O manevră de deschidere sau închidere a separatorului combinat cu fuzibile trebuie să fie posibilă numai dacă contactorul este deschis (**Fig. H20**), deoarece separatorul combinat cu fuzibile nu are posibilitatea de a comuta sub sarcină. Un separator de sarcină combinat cu fuzibile nu necesită interblocare (**Fig. H21**). Aparatul de comutație trebuie să fie de clasă AC22 sau AC23 dacă circuitul alimentează un motor.

Întreruptor automat + contactor-întreruptor automat + contactor cu relee termice

Aceste combinații sunt utilizate în sistemele de distribuție comandate la distanță, la care numărul de acționări este mare sau pentru comanda și protecția circuitelor de alimentare a motoarelor.

3.1 Tabel cu caracteristici funcționale

După ce au fost studiate funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de JT (paragraful 1, **Tab. H1**) și diferitele componente ale acestora, (paragraful 2), **Tab. H22** prezintă posibilitățile diferitelor aparate de realizare a funcțiilor de bază.

Aparat de comutație	Separare	Comandă				Protecție electrică		
		Funcțională	De urgență	Oprire de urgență (mecanică)	Comutare ptr. mentenanță mecanică	Suprasarcină	Scurtcircuit	Diferențial
Separator (cu separ. vizibilă) ⁽⁴⁾	■							
Separator de sarcină ⁽⁵⁾	■	■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■			
Dispozitiv de curent rezidual (RCD) ⁽⁵⁾	■	■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■			■
Separator de sarcină cu separare vizibilă	■	■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■			
Contactor		■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■	■ ⁽³⁾		
Teleruptor		■	■ ⁽¹⁾		■			
Fuzibil	■					■	■	
Înteruptor automat ⁽⁵⁾		■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■	■	■	
Înteruptor automat cu ⁽⁵⁾ separ. vizibilă	■	■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■	■	■	
Înteruptor automat de supracurent și rezidual ⁽⁵⁾	■	■	■ ⁽¹⁾	■ ⁽¹⁾⁽²⁾	■	■	■	■
Locul de instalare (principiu general)	Originea fiecărui circuit	Toate punctele unde din punct de vedere operațional poate fi necesară oprirea procesului	În general pe circuitul de sosire al fiecărui tablou de distribuție	La punctele de alimentare ale fiecărei mașini și/sau la fiecare mașină implicată în proces	La punctele de alimentare ale fiecărei mașini	Originea fiecărui circuit	Originea fiecărui circuit	Originea circuit unde sistemul de tratare a neutrlui este potrivit TN-S, IT, TT

(1) Este realizată întreruperea tuturor conductoarele active.
(2) Ar putea să fie necesară menținerea alimentării sistemului de oprire.
(3) Dacă este asociat cu un releu termic (combinația este de obicei numită "discontactor").
(4) În anumite țări, un separator cu contacte vizibile este montat obligatoriu la partea amonte a unei instalații de JT alimentată direct de la un transformator MT/JT.
(5) Anumite tipuri de aparate de comutație, sunt corespunzătoare pentru funcții de separare, (RCD conform CEI 61008) fără să se specifice explicit acest lucru.

Tab. H22: Funcțiile îndeplinite de diverse tipuri de aparate de comutație.

3.2 Selecția aparatelor de comutație

Pentru o alegere optimă a aparatelor de comutație sunt utilizate din ce în ce mai mult pachete de programe de calcul (software). Fiecare circuit este analizat în mod separat și este întocmită o listă a cerințelor referitoare la funcțiile de protecție și de logistica de exploatare a instalației, conform celor menționate în tabelul **Tab. H22** și rezumate în **Tab. H1**.
Sunt studiate un număr de combinații de aparate de comutație și se fac comparații între diverse soluții, cu scopul de a realiza:
■ performanțe satisfăcătoare;
■ compatibilități între elementele individuale, de la curentului nominal I_n până la curentului de defect I_{cu} ;
■ compatibilitate cu aparatul de comutație din amonte sau luarea în considerație a contribuției acestuia în procesele de comutație;
■ conformitate cu toate reglementările și specificațiile în vigoare, privind funcționarea sigură și fiabilă a circuitului respectiv.
Pentru a determina numărul de poli ai unui tip de aparat de comutație facem referire la capitolul G, paragraful 7, **Fig. G64**. Aparatele de comutație multifuncționale, inițial mai costisitoare, reduc costurile aferente instalației și problemele de montaj sau de exploatare. Adesea se constată că astfel de aparate de comutație constituie cea mai bună soluție tehnico-economică.

4 Înteruptoare automate

Înteruptoarele automate care asigură separarea îndeplinesc toate funcțiile de bază ale aparatelor de comutație; în același timp, prin intermediul accesoriilor aferente, sunt create alte numeroase posibilități funcționale.

Așa cum se arată în **Tab. H23** un întreruptor automat cu aptitudine de separare este sigurul tip de aparat de comutație capabil să satisfacă simultan toate funcțiile necesare într-o instalație electrică. În plus, acesta poate să realizeze o gamă largă de alte funcții, prin intermediul unor elemente auxiliare, de exemplu: semnalizare (închidere/deschidere, declanșare pe defect), declanșare la tensiune minimă, comandă la distanță, etc. Aceste caracteristici fac din întreruptorul automat cu aptitudine de separare tipul de aparat de comutație de bază pentru orice instalație electrică.

Funcțiuni		Condiții posibile
Separare		■
Comandă	Funcțional	■
	Comandă de urgență	■ (cu utilizarea unei bobine de declanșare)
	Comutație pentru mentenanță mecanică	■
Protecție	Suprasarcină	■
	Scurtcircuit	■
	Defect de izolație	■ (cu releu de curent diferențial)
	Minimă tensiune	■ (cu bobină de minimă tensiune)
Comandă la distanță		■ (adaugată separat sau încorporată)
Indicații și măsurători		■ (opțiune generală pentru declanșator electronic)

Tab. H23: Funcțiile unui întreruptor automat cu aptitudine de separare.

Înteruptoarele automate industriale trebuie să fie conforme cu recomandările CEI 60947-1 și 60947-2, sau ale altor standarde echivalente. Tipurile de întreruptoare automate casnice trebuie să se conformeze standardului CEI 60898 sau standardului național echivalent.

4.1 Standarde și descriere

Standarde

Pentru instalații de JT de tip industrial, standardele CEI relevante sunt următoarele:

- 60947-1: reguli generale;
- 60947-2: partea a 2-a: întreruptoare de putere;
- 60947-3: partea a 3-a: comutatoare, separatoare, separatoare de sarcină, aparate de comutație combinate cu siguranțe fuzibile;
- 60947-4: partea a 4-a: contactoare și startere pentru motoare;
- 60947-5: partea a 5-a: dispozitive de comandă a circuitelor și elementelor de comutație;
- 60947-6: partea a 6-a: dispozitive cu funcții multiple de comutație;
- 60947-7: partea a 7-a: echipament auxiliar.

Pentru instalații de JT casnice și similare, standardul corespunzător este CEI 60898 și/sau alte standarde naționale echivalente.

Descriere

Figura H24 prezintă schematic părțile principale ale întreruptorului automat de JT și funcțiile aferente:

- componentele de comutație, conținând contactele fixe și mobile și camera de stingere a arcului electric;
 - mecanismul întreruptorului, care deschide piesele de contact prin intermediul dispozitivului de declanșare la apariția unui supracurent. Acest mecanism cuprinde și pârghia (maneta) de acționare manuală;
 - un dispozitiv de declanșare, care cuprinde:
 - un dispozitiv termic și magnetic în care o lamă bimetalică, acționată termic, detectează o situație de suprasarcină, în timp ce declanșatorul electromagnetic acționează la nivele de curent corespunzătoare unui regim de scurtcircuit, sau
 - un releu electronic ce primește informații de la transformatorii de curent instalați câte unul pe fiecare fază;
 - un spațiu de conectare, unde se pot monta diferite tipuri de borne, pentru conectarea conductoarelor aferente circuitului de forță.
- Înteruptoarele automate pentru uz casnic (vezi **Fig. H25**, pagina următoare), conforme cu CEI 60898 sau alte standarde naționale echivalente îndeplinesc funcțiile de bază de:
- separare;
 - protecție împotriva supracurentului.

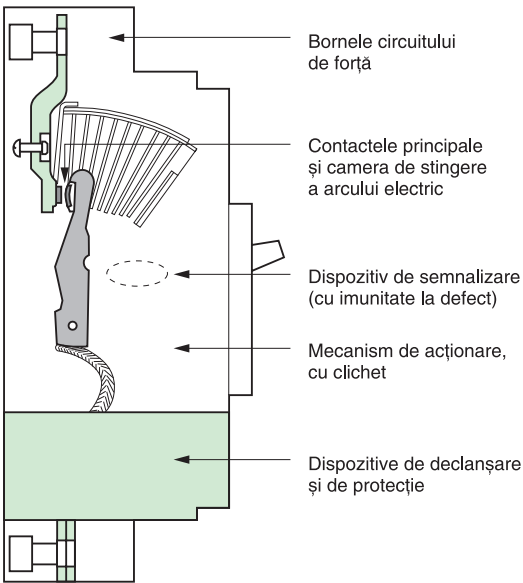


Fig. H24: Părțile principale ale unui întreruptor automat.



Fig. H25: Înteruptoarele automate pentru uz casnic protejază la supracurent și au aptitudini de separare.

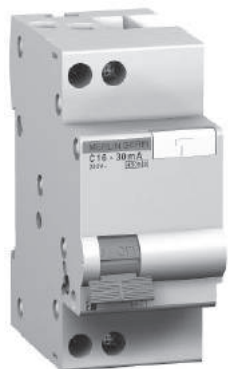


Fig. H26: În plus față de întreruptorul automat de mai sus (din Fig. H25) acesta oferă protecție diferențială.

Anumite modele au fost concepute pentru a oferi protecție diferențială (30 mA) prin adăugarea unui bloc modular, în timp ce alte modele (RCBO conform CEI 61009 și CBR conform CEI 60947-2, Anexa B) au anexa diferențială încorporată (vezi Fig. H26).

În afară de funcțiile mai sus menționate și alte funcții pot fi asociate ulterior unui întreruptor automat prin module adiționale, așa cum este arătat în Fig. H27, în special comanda de la distanță și indicarea poziției (închis-deschis-declanșat pe defect).

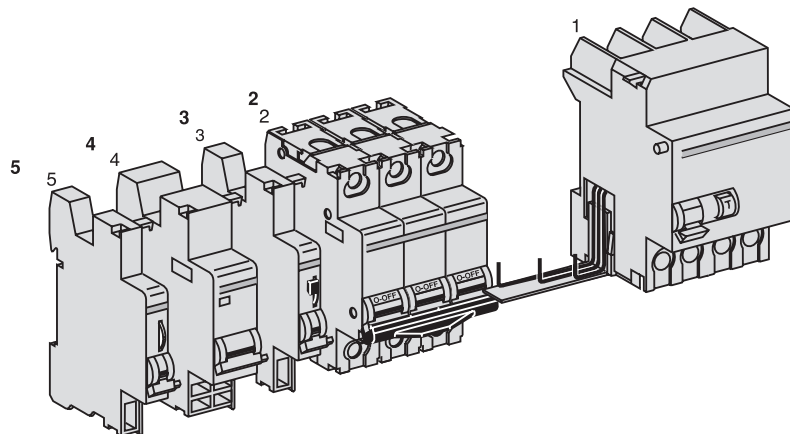


Fig. H27: Sistemul Multi 9 de aparataj modular de comutație de JT.

Înteruptoarele automate de JT în carcasă turnată, conforme cu CEI 60947-2, realizează prin intermediul blocurilor auxiliare adaptabile o gamă de funcții auxiliare similare celor descrise mai sus (vezi Fig. H28).

Înteruptoarele automate industriale de regim greu, conforme cu CEI 60947-2, au încorporate numeroase funcții electronice și de comunicare (vezi Fig. H29). Adicional funcțiilor de protecție, unitățile Micrologic aduc și funcții de optimizare (inclusiv de calitatea energiei), de diagnoză, de comunicare, de monitorizare și telecomandă.

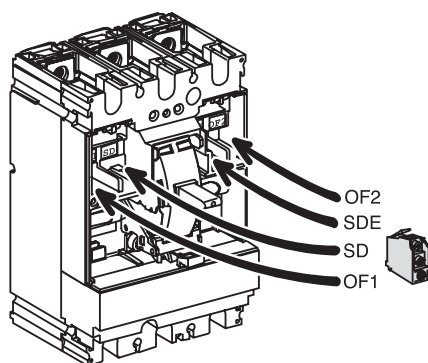


Fig. H28: Exemplu de întreruptor automat de tip industrial (Compact NS) capabil să îndeplinească numeroase funcții auxiliare.

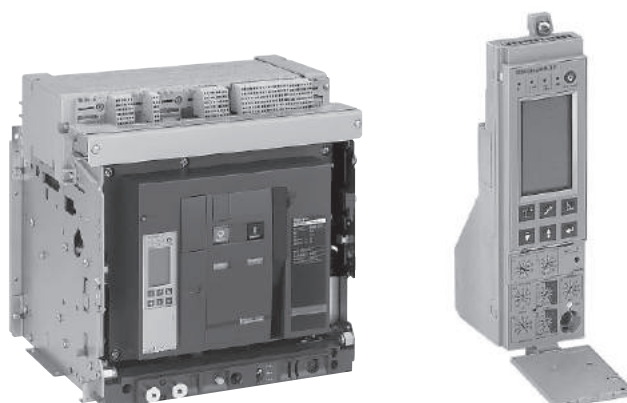


Fig. H29: Exemplu de întreruptor automat industrial de regim greu. Masterpact-ul oferă numeroase funcții încorporate în declanșatorul sau Micrologic.

4.2 Caracteristici fundamentale ale unui întreruptor automat

Parametrii fundamentali ai unui întreruptor automat sunt:

- tensiunea nominală U_e ;
- curentul nominal I_n ;
- domeniul de reglaj al curentului de declanșare, pentru protecția la suprasarcină ($I_r^{(1)}$ sau $I_{rth}^{(1)}$) și pentru protecție la scurtcircuit ($I_m^{(1)}$);
- capacitatea de deconectare (I_{cu} pentru întreruptoarele automate de tip industrial; I_{cn} pentru cele de tip casnic).

Tensiunea nominală (de funcționare) (U_e)

Aceasta este tensiunea la care întreruptorul automat a fost proiectat să funcționeze în condiții normale.

Alte valori de tensiune sunt asociate întreruptorului automat corespunzătoare altor condiții întâlnite în exploatare, așa cum se arată în subparagraful 4.3

Curentul nominal (I_n)

Aceasta este valoarea maximă a curentului, la care întreruptorul automat dotat cu un anumit tip de releu de protecție la supracurent poate să funcționeze indefinit, la o temperatură ambiantă specificată de fabricant, fără să fie depășite limitele de temperatură specifice pentru căile de curent.

Exemplu

Un întreruptor automat, având curentul nominal $I_n = 125$ A pentru temperatura ambiantă de 40°C , va fi echipat cu un releu de protecție la supracurent calibrat în mod corespunzător (la 125 A). Același întreruptor automat poate fi utilizat la valori mai mari ale temperaturii ambiante dacă reglajul este modificat în mod corespunzător. Astfel, la o temperatură ambiantă de 50°C , întreruptorul automat poate să funcționeze în regim de durată numai la 117 A, (sau numai la 109 A, pentru 60°C), pentru a se conforma limitei de temperatură specificate.

Ajustarea reglajului unui întreruptor automat este realizată prin reducerea valorii curentului de declanșare aferent releului de suprasarcină, fapt atestat printr-un marcaj corespunzător, aferent întreruptorului. Utilizarea unui modul de declanșare de tip electronic, proiectat să funcționeze la temperaturi ridicate, permite întreruptoarelor automate să funcționeze la o temperatură ambiantă de 60°C (sau chiar la 70°C).

Notă: curentul I_n pentru întreruptoare automate (conform CEI 60947-2) este egal cu I_u pentru aparatele de comutație în general, unde I_u este curentul nominal, de regim permanent.

Parametrii nominali în cazul modulelor cu domenii multiple

Un întreruptor automat, care poate fi dotat cu module diferite de protecție la supracurent, având diferite domenii de reglaj ale curentului de declanșare este considerat ca având curentul nominal egal cu cea mai mare valoare a curentului de reglaj, aferentă tuturor tipurilor de releu de protecție cu care acesta poate fi echipat.

Exemplu

Un întreruptor automat NS630N poate fi echipat cu 4 declanșatoare electronice de la 150 la 630 A. Calibrul întreruptorului automat este de 630 A.

Curentul reglat al releului de suprasarcină (I_{rth} sau I_n)

În afară de întreruptoarele automate de curenți mici, care sunt foarte ușor de înlocuit, întreruptoarele automate industriale de putere sunt echipate cu releu de protecție la supracurent demontabile sau interșanjabile.

În acest sens, pentru a adapta întreruptoarele automate la cerințele circuitului comandat și pentru a evita necesitatea instalării de cabluri supradimensionate, relele de protecție sunt, în general, reglabile. Curentul reglat de declanșare, I_n sau I_{rth} (sunt utilizate ambele notații) reprezintă valoarea curentului peste care întreruptorul automat va declanșa. Acesta reprezintă de asemenea, curentul maxim pe care întreruptorul automat poate să-l suporte, fără declanșare. Această valoare trebuie să fie mai mare decât curentul maxim de sarcină I_{smax} , dar mai redusă decât curentul maxim admisibil al circuitului, I_2 (vezi capitolul G, subparagraful 1.3). Relele de protecție de tip "termic" sunt în general reglabile de la 0,7 la $1,0I_n$. În cazul în care sunt utilizate dispozitive electronice pentru aceste funcții, intervalul de reglaj este mai mare; tipic în 0,4 și $1,0I_n$.

Exemplu (vezi Fig. H30):

Un întreruptor automat NS630N echipat cu un releu de protecție la supracurent STR23SE de 400 A reglat la 0,9 va avea curentul reglat de declanșare:

$$I_r = 400 \times 0,9 = 360 \text{ A.}$$

Notă: pentru întreruptoarele automate echipate cu releu de protecție la supracurent, nereglabile $I_r = I_n$. Exemplu pentru întreruptorul automat C60N, 20A, $I_r = I_n = 20\text{A}$.

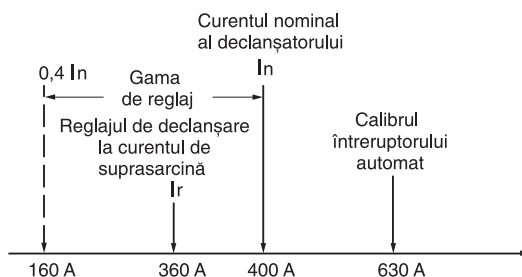


Fig. H30: Exemplu de întreruptor automat Compact NS630N echipat cu declanșator STR23SE reglat la 0,9 pentru a avea $I_r = 360$ A.

(1) Reglajul valorilor de curent se referă la declanșarea termică, la suprasarcină și magnetică, la scurtcircuit.

Reglajul curentului de declanșare al releului de scurtcircuit (I_m)

Releele de declanșare la scurtcircuit (instantanee sau cu temporizare de scurtă durată) sunt destinate să declanșeze rapid întreruptorul automat la apariția curenților de defect de valoare ridicată.

Valorile treptelor de declanșare I_m sunt:

- fie stabilite de standarde pentru tipurile casnice de întreruptoare automate, exemplu CEI 60898, sau
- indicate de fabricant pentru întreruptoarele automate de tip industrial, corespunzător standardelor, în special CEI 60947-2.

În cazul întreruptoarelor automate de tip industrial moderne, există o mare varietate de dispozitive de declanșare care permit utilizatorului să adapteze caracteristicile de protecție ale întreruptorului automat la cerințele specifice consumatorilor (vezi Tab. H31, Fig. H32, și Fig. H33).

	Tipul releului de protecție	Protecția la suprasarcină	Protecția la scurtcircuit		
Înteruptoare automate de uz casnic CEI 60898	Magneto-termic	$I_r = I_n$	Reglaj jos tip B $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	Reglaj standard tip C $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	Reglaj sus tip D $10 I_n \leq I_m \leq 20 I_n^{(1)}$
Înteruptoare automate modulare industriale ⁽²⁾	Magneto-termic	$I_r = I_n$ fixă	Reglaj jos tip B sau Z $3,2 I_n \leq I_m \leq 4,8 I_n$	Reglaj standard tip C $7 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	Reglaj sus tip D sau K $10 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$
Înteruptoare automate industriale ⁽²⁾ CEI 60947-2	Magneto-termic	$I_r = I_n$ fix Ajustabilă: $0,7 I_n \leq I_r \leq I_n$	Fixă: $I_m = 7$ la $10 I_n$ Ajustabilă: - Reglaj jos: 2 la $5 I_n$ - Reglaj standard: 5 la $10 I_n$		
	Electronic	Temporizată $0,4 I_n \leq I_r \leq I_n$	Temporizată, ajustabilă $1,5 I_r \leq I_m \leq 10 I_r$ Instantanee fixă $I = 12$ la $15 I_n$		

(1) $50 I_n$ în CEI 60898, ceea ce este considerată nerealistă de majoritatea fabricanților europeni (Merlin Gerin: 10 la $14 I_n$).

(2) Pentru uz industrial, standardul CEI nu specifică valori. Valorile date în tabel sunt cele de uz curent.

Tab. H31: Gamele de declanșare la suprasarcină și scurtcircuit pentru întreruptoarele automate de joasă tensiune.

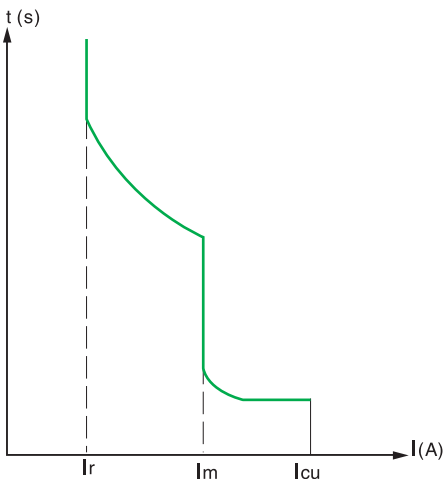


Fig. H32: Curba de declanșare a unui întreruptor automat cu declanșator magneto-termic.

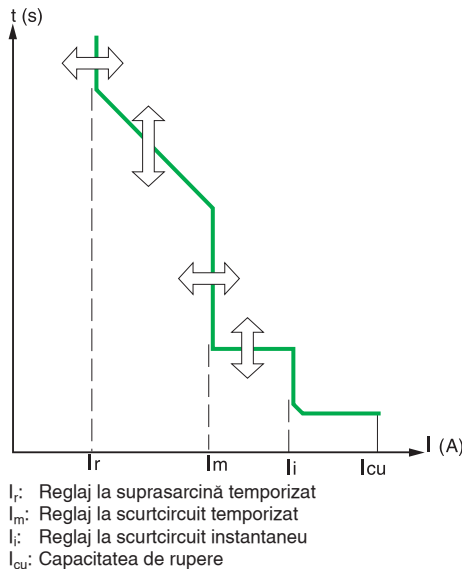



Fig. H33: Curba de declanșare a unui întreruptor automat cu declanșator electronic.

Caracteristici de separare (izolare)

Un întreruptor automat este capabil să separe un circuit dacă el îndeplinește condițiile impuse unui separator (la tensiunea sa nominală) corespunzătoare standardelor (vezi subparagraful 1.2). În acest caz este denumit întreruptor-separator (cu aptitudine de separare) și marcat cu simbolul . Toate aparatele de comutație de JT: Multi9, Compact NS și Masterpact, produse sub marca Merlin Gerin, se încadrează în această categorie.

Capacitatea de deconectare (rupere) la scurtcircuit a întreruptoarelor automate de JT depinde de valoarea factorului de putere $\cos \varphi$ aferent buclei de curent de defect. Valorile standard pentru aceste relații au fost stabilite în anumite standarde.

Capacitatea de deconectare la scurtcircuit (I_{cu} sau I_{cn})

Capacitatea de deconectare (nominală) la scurtcircuit a unui întreruptor automat de putere, este cea mai mare valoare (prezumată) a curentului, pe care acesta este capabil să-l întrerupă, fără a suferi deteriorări semnificative.

Valoarea de curent, specificată în standarde, este valoarea eficace a componentei de c.a. a curentului de defect, adică se consideră componenta de c.c. tranzitorie (care este totdeauna prezentă în cazurile cele mai defavorabile de scurtcircuit) ca fiind nulă. Această valoare nominală (I_{cu}) pentru întreruptoarele automate de tip industrial și (I_{cn}) pentru cele de tip casnic, este de obicei dată în kA valoare eficace. I_{cu} (capacitatea de deconectare "limită" sau "ultimă", care implică cea mai mare valoare pentru curentul de întrerupt, în cadrul ciclului de încercare la scurtcircuit) și I_{cs} (capacitatea de deconectare, de serviciu, care implică o anumită valoare de curent, în ciclul de încercare la scurtcircuit) sunt definite în CEI 60947-2, împreună cu un tabel care indică relația între I_{cs} și I_{cu} pentru diferite categorii de utilizare A (declanșare instantanee) și B (declanșare temporizată) așa cum se arată în subparagraful 4.3.

Încercările de laborator pentru stabilirea capacității de rupere a întreruptoarelor automate, sunt guvernate de standarde specifice care includ:

- secvențe de operare, cuprinzând o succesiune de manevre de închidere și deschidere, în regim de scurtcircuit
- defazajul între curent și tensiune. Atunci când curentul este în fază cu tensiunea de alimentare ($\cos \varphi = 1$) întreruperea curentului este mai ușoară, decât pentru alte valori ale factorului de putere. Deconectarea unui curent la valori reduse ale $\cos \varphi$ este mult mai dificil de realizat; un factor de putere egal cu zero fiind (teoretic) situația cea mai defavorabilă.

În practică, toți curenții de defect de scurtcircuit din sistemele de distribuție, au factori de putere subunitari. Ca urmare, standardele sunt bazate pe valori considerate ca fiind reprezentative pentru majoritatea sistemelor de distribuție. În general, cu cât nivelul curentului de defect este mai mare pentru o anumită tensiune de alimentare, cu atât este mai scăzută valoarea factorului de putere corespunzător buclei de defect (de exemplu, aproape de generatoare sau de transformatoare de mare putere).

Tabelul H34, de mai jos, extras din CEI 60947-2 face legătura între valorile standardizate ale factorului de putere $\cos \varphi$ și curentul I_{cu} corespunzător pentru întreruptoarele automate de tip industrial.

- pentru determinarea capacității de deconectare I_{cu} a întreruptorului automat (prin realizarea unui secvențe deschidere-pauză-închidere-deschidere) sunt necesare teste relativ la următoarele elemente:

- tensiunea de ținere dielectrică,
- performanțele de separare,
- funcționarea corectă a protecției la suprasarcină.

Este necesar ca secvența de încercare precedentă să nu afecteze comportarea întreruptorului automat din punct de vedere al performanțelor de comutație.

I_{cu}	$\cos \varphi$
$6 \text{ kA} < I_{cu} \leq 10 \text{ kA}$	0,5
$10 \text{ kA} < I_{cu} \leq 20 \text{ kA}$	0,3
$20 \text{ kA} < I_{cu} \leq 50 \text{ kA}$	0,25
$50 \text{ kA} < I_{cu}$	0,2

Tab. H34: Curentul I_{cu} corespunzător factorului de putere $\cos \varphi$ al rețelei cu scurtcircuit (CEI 60947-2).

Următoarele caracteristici, mai puțin importante, ale unui întreruptor automat de JT sunt deseori luate în calcul atunci când se face alegerea finală a acestuia.

4.3 Alte caracteristici ale unui întreruptor automat

Tensiunea nominală de izolație (U_i)

Aceasta este valoarea de tensiune la care se efectuează testele de rigiditate dielectrică (în general mai mari decât $2U_i$) și pentru care sunt definite distanțele de străpungere și conturare. Valoarea maximă a tensiunii nominale de funcționare nu trebuie să depășească tensiunea nominală de izolație, adică $U_e \leq U_i$.

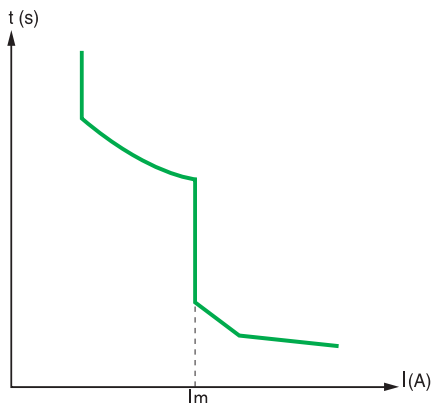


Fig. H35: Înteruptor automat categoria A.

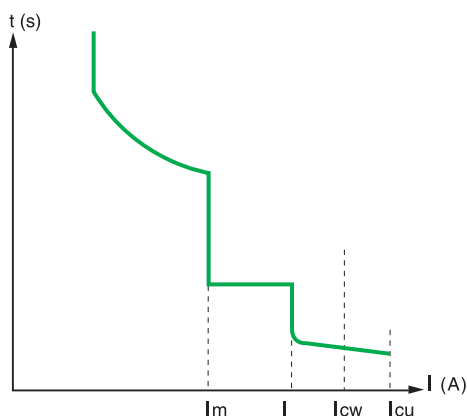


Fig. H36: Înteruptor automat categoria B.

Tensiunea nominală de ținere la impuls (U_{imp})

Această caracteristică indică valoarea de vârf (kV_{max}) a tensiunii de impuls (de o anumită formă și polaritate) pe care echipamentul este capabil să o suporte în condiții de test, fără a se defecta, și la care se raportează valorile distanțelor de izolare.

În general pentru întreruptoare automate industriale $U_{imp} = 8 \text{ kV}$ și pentru cele domestice $U_{imp} = 6 \text{ kV}$.

Categoriile de întreruptoare automate (A sau B) și curentul nominal admisibil de scurtă durată (I_{cw})

Așa cum s-a menționat anterior (în subparagraful 4.2) există două categorii de aparate de comutație de tip industrial, de JT, și anume A și B conform CEI 60947-2:

■ aparate din categoria A, la care nu există nici o întârziere deliberată în acțiunea dispozitivelor de declanșare electromagnetice la scurtcircuit (vezi Fig. H35). Acestea sunt în general întreruptoare automate cu carcasă turnată, și

■ aparate din categoria B, pentru care, în scopul de a realiza o coordonare cu celelalte întreruptoare în sensul selectivității protecției, este posibilă declanșarea temporizată. Aceasta este posibil numai dacă nivelul curentului de defect este mai scăzut decât curentul nominal admisibil de scurtă durată (I_{cw}) aferent întreruptorului automat respectiv (vezi Fig. H36). Acest mod de funcționare este în general utilizat în cazul întreruptoarelor aferente puterilor celor mai mari cu camere de rupere în aer și la anumite tipuri de întreruptoare de mare putere, cu carcasă turnată. I_{cw} este curentul maxim pe care întreruptoarele automate din categoria B, pot să-l suporte din punct de vedere termic și electrodinamic, un interval de timp indicat de fabricant, fără deteriorări semnificative.

Curentul maxim de conectare (închidere pe scurtcircuit - I_{cm})

I_{cm} este cea mai mare valoare instantanee a curentului, pe care un întreruptor automat poate să-l conecteze, în condiții specifice, la tensiunea nominală. În rețelele de c.a., această valoare instantanee de vârf, este corelată cu I_{cu} (curentul de deconectare) prin coeficientul k. Acesta depinde de factorul de putere ($\cos \varphi$) al buclei aferente curentului de scurtcircuit (așa cum se arată în Tab. H37).

I_{cm}	$\cos \varphi$	$I_{cm} = k I_{cu}$
$6 \text{ kA} < I_{cu} \leq 10 \text{ kA}$	0,5	$1,7 \times I_{cu}$
$10 \text{ kA} < I_{cu} \leq 20 \text{ kA}$	0,3	$2 \times I_{cu}$
$20 \text{ kA} < I_{cu} \leq 50 \text{ kA}$	0,25	$2,1 \times I_{cu}$
$50 \text{ kA} \leq I_{cu}$	0,2	$2,2 \times I_{cu}$

Tab. H37: Relația între capacitatea de rupere nominală I_{cu} și capacitatea de închidere nominală I_{cm} la diferite valori ale factorului de putere al curentului de scurtcircuit, așa cum este standardizată în CEI 60947-2.

Exemplu: Un Masterpact NW08H2 are o capacitate de deconectare I_{cu} în valoare de 100 kA. Capacitatea acestuia de conectare de vârf I_{cm} va fi $100 \times 2,2 = 220 \text{ (kA}_{max})$.

Capacitatea de rupere de serviciu la scurtcircuit (I_{cs})

Capacitatea nominală de rupere limită la scurtcircuit (I_{cu}) sau capacitatea nominală de închidere la scurtcircuit (I_{cm}) este curentul de defect maxim pe care întreruptorul automat poate să-l întrerupă fără să fie afectat în mod semnificativ. Probabilitatea de apariție a unui astfel de curent este foarte scăzută și în circumstanțe normale curentii de defect sunt considerabil mai scăzuți decât capacitatea de rupere "limită" I_{cu} a întreruptorului. Pe de altă parte este important ca acești curenti (cu probabilitate scăzută) să fie întrerupți în condiții bune astfel încât întreruptorul să fie imediat disponibil pentru reînchidere, după ce circuitul defect a fost remediat. Din aceste motive, a fost creat un nou parametru I_{cs} exprimat în procente din I_{cu} (25, 50, 75 și 100% pentru întreruptoarele automate industriale).

Secvența standard de încercare la scurtcircuit este următoarea:

■ O - CO - CO⁽¹⁾ (la I_{cs});

Testele realizate conform acestei secvențe sunt destinate să verifice dacă întreruptorul este în stare bună și disponibil unei funcționări normale.

Pentru întreruptoarele automate de tip casnic $I_{cs} = k \times I_{cu}$. Valorile coeficientului k sunt date în CEI 60898 tabelul XIV. În Europa, practica industrială utilizează un coeficient k de 100%, astfel încât $I_{cs} = I_{cu}$.

H16

Într-o instalație proiectată corect un întreruptor automat nu va fi niciodată în situația de a funcționa la curentul maxim de deconectare, I_{cu} . Din acest motiv, a fost introdus un nou parametru și anume, I_{cs} . Valoarea acestuia este definită în CEI 60947-2 ca fiind procent din I_{cu} (25, 50, 75 și 100%).

(1) "O" reprezintă operația de deschidere. "CO" reprezintă operația de închidere urmată de deschidere.

Multe modele de întreruptoare automate de JT sunt caracterizate printr-o capacitate de limitare a curentului de scurtcircuit, mijloc prin care acesta este redus și este prevenită atingerea valorii de vârf maxime a curentului prezumat (Fig. H38). Performanțele de limitare a curentului ale acestor întreruptoare automate sunt prezentate în forma grafică în Fig. H39, diagrama (a).

Limitarea curentului de scurtcircuit

Capacitatea de limitare a curentului de scurtcircuit aferentă unui întreruptor automat constă în abilitatea de a preveni atingerea curentului de defect prezumat maxim, permițând numai trecerea unui curent limitat, așa cum se arată în Fig. H38. Caracteristicile de limitare a curentului sunt date de producător sub formă de diagrame specifice (Fig. H39, a și b).

■ diagrama (a) arată dependența valorii de vârf a curentului limitat față de valoarea componentei de c.a. a curentului de defect prezumat (curentul prezumat este curentul de defect care ar trece prin întreruptorul automat dacă nu s-ar realiza limitarea curentului);
■ limitarea de curent reduce semnificativ solicitările termice (proportionale cu I^2t) această dependență fiind arătată în diagrama (b) a Fig. H39. Aceste diagrame au în abscisă valoarea eficace a componentei de c.a. a curentului de defect prezumat. Întreruptoarele automate pentru instalații casnice și similare sunt clasificate în anumite standarde (mai ales standardul european EN 60898). Ca urmare, întreruptoarele automate aparținând unei clase (de limitatoare de curent) au caracteristici de limitare standard, definite de clasa respectivă. În aceste cazuri fabricanții, de obicei, nu furnizează curbe de performanță caracteristice.

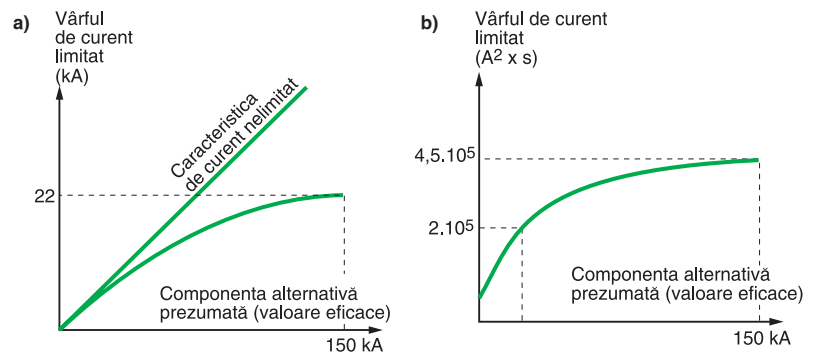


Fig. H39: Curbele de performanță ale unui întreruptor automat de JT tipic.

Limitarea de curent reduce eforturile termice și electrodinamice în toate elementele de circuit parcurse de curent, prelungind semnificativ durata de viață a acestor elemente. Mai mult, proprietatea de limitare permite utilizarea tehnicilor "de filiație" (vezi 4.5), reducând semnificativ costurile proiectării și instalării unor circuite electrice.

Avantajele limitării de curent

Utilizarea întreruptoarelor automate limitatoare de curent aduce numeroase avantaje:

- o mai bună conservare a circuitelor instalației: întreruptoarele limitatoare de curent atenuează puternic toate efectele nocive asociate curenților de scurtcircuit;
 - reducerea efectelor termice: încălzirea conductoarelor (și implicit a instalației) este semnificativ redusă, astfel încât durata de viață a cablurilor crește corespunzător;
 - reducerea efectelor electrodinamice (mecanice): forțele datorate respingerii electrodinamice sunt mai reduse, cu risc mai mic de deformare și posibilă rupere, uzură excesivă a contactelor, etc.;
 - reducerea efectelor de influență electromagnetică:
 - influență mai redusă asupra instrumentelor de măsură și circuitelor asociate, sistemelor de telecomunicații, etc.
- Ca urmare, întreruptoarele limitatoare contribuie la o exploatare optimă a:
- cablurilor și circuitelor electrice;
 - sistemelor de bare colectoare;
 - aparatelor de comutație, reducând semnificativ îmbătrânirea izolației.

Exemplu

Într-un sistem având curentul de scurtcircuit prezumat de 150 kA_{ef}, un întreruptor automat Compact L limitează curentul de vârf la mai puțin de 10% din valoarea de vârf prezumată și efectul termic (integrala Joule) la mai puțin de 1% din valoarea calculată.

Utilizarea tehnicii filiației cu ajutorul unor întreruptoare limitatoare pe mai multe nivele de distribuție poate determina realizarea unor importante economii.

Tehnica filiației, descrisă în subcapitolul 4.5, permite realizarea de economii substanțiale din punctul de vedere al aparatului de comutație (întreruptoarele din aval de cele limitatoare vor putea avea performanțe mai reduse). Economii care se fac la costul tablourilor de distribuție din faza de proiectare pot atinge, global, valoarea de 20%.

Schemele de protecție selectivă și schemele utilizând tehnica filiației sunt compatibile pentru întreruptoarele automate Compact NS, până la capacitatea de deconectare maximă a acestora.

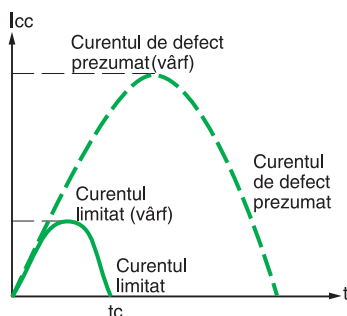


Fig. H38: Curenți prezumați și reali.

Alegerea unei anumite clase de întreruptoare automate este determinată de: caracteristicile electrice ale instalației, mediul înconjurător, sarcinile și necesitățile de comandă la distanță, împreună cu tipul de sistem de telecomunicații utilizat.

4.4 Selecția unui întreruptor automat

Alegerea unui întreruptor automat

Alegerea unui întreruptor automat se realizează în funcție de:

- caracteristicile electrice ale instalației pentru care este destinat;
- mediul înconjurător: temperatură ambientă, amplasare în interiorul unui panou sau într-un tablou de distribuție, condiții climatice, etc.;
- cerințele de deconectare a curentului de scurtcircuit și de conectare pe scurtcircuit;
- specificații funcționale: declanșare selectivă, cerințe de comandă la distanță și semnalizare, prezența contactelor auxiliare, bobine auxiliare de declanșare, integrarea într-o rețea locală (de comunicare, comandă și semnalizare);
- regulamente de exploatare aferente instalației, în particular protecția persoanelor;
- parametri și caracteristicile consumatorilor: motoare, iluminat fluorescent, transformatoare JT/JT etc.

Următoarele paragrafe se referă la alegerea unui întreruptor automat de JT, destinat utilizării în sistemele de distribuție.

Alegerea curentului nominal în funcție de temperatura ambientă

Curentul nominal al unui întreruptor automat este definit pentru funcționarea la o temperatură ambientă specificată, în general:

- 30° C pentru întreruptoarele automate de tip casnic;
- 40° C pentru întreruptoarele automate de tip industrial.

Performanțele întreruptoarelor automate la diferite temperaturi ambiante, depind în principal de tehnologie și de unitățile lor de declanșare (vezi Fig. H40).

Declanșatoare termice și electromagnetice necompensate

Întreruptoarele automate cu declanșatoare termice necompensate au mărimea curentului de declanșare dependentă de temperatura mediului ambient. Dacă întreruptorul automat este instalat într-o încălțată sau într-un loc încălzit (cameră încălzită, etc.) curentul necesar pentru declanșare la suprasarcină va fi mult mai redus. Când temperatura mediului în care este amplasat întreruptorul automat depășește temperatura de referință, reglajul acestuia trebuie corectat. Din acest motiv, fabricanții de întreruptoare automate furnizează tabele care indică factorii de corecție pentru temperaturi diferite față de temperatura de referință a întreruptorului automat. Din aceste tabele, se poate observa (vezi Tab. H41) că la temperaturi mai joase decât valoarea de referință, are loc o mărire virtuală a parametrilor nominali ai întreruptorului automat. În plus, reperiile modulare de întreruptoare automate de curenți mici, montate prin juxtapunere (așa cum se arată în Fig. H27) sunt de obicei plasate într-o carcasă metalică, închisă. În aceste situații încălzirea reciprocă, produsă de curenții de sarcină normali, necesită aplicarea unui coeficient de corecție de 0,8.

H18

Întreruptoarele automate cu dispozitive de declanșare termice necompensate au nivelul de curent de declanșare dependent de temperatura mediului ambient.

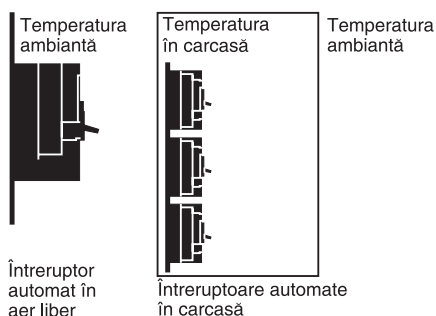


Fig. H40: Temperatura ambientă.

C60a, C60H: curbă C, C60N: curbă B și C (temperatura de referință: 30° C)

Curent (A)	20° C	25° C	30° C	35° C	40° C	45° C	50° C	55° C	60° C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2

NS250N/H/L (temperatura de referință: 40° C)

Curent (A)	40° C	45° C	50° C	55° C	60° C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

Tab. H41: Exemplu de tabele pentru determinarea factorului de declasare/supraclasare în funcție de temperatura ambientă pentru întreruptoarele automate fără declanșatoare compensate.

4 Înteruptoare automate

Exemplu

Care este valoarea curentului nominal I_n , aferentă unui întreruptor automat C60N cu următoarele funcții:

- protejează un circuit, curentul de sarcină maxim fiind estimat la 34 A;
- este instalat alături de alte întreruptoare automate, într-o cutie de distribuție închisă;
- temperatura mediului ambiant este de 50° C.

Un întreruptor automat C60N de 40 A va trebui utilizat la 35,6 A la temperatura mediului ambiant de 50° C (vezi **Tab. H41**). Pentru a ține seama de încălzirea reciprocă din spațiul închis trebuie utilizat un coeficient de 0,8 - după cum s-a arătat mai devreme - astfel încât $35,6 \times 0,8 = 28,5$ A, care nu este corespunzător sarcinii de 34 A. De aceea, trebuie ales un întreruptor automat de 50 A, care asigură un curent nominal după declasare de $44 \times 0,8 = 35,2$ A.

Declanșatoare termice și electromagnetice compensate

Aceste declanșatoare conțin o lamă bimetalică de compensare, care permite reglajul curentului de declanșare la suprasarcină (I_r sau I_{th}) în cadrul unui interval specific, independent de temperatura ambiantă.

Exemplu:

- în anumite țări sistemul TT este standard pentru rețelele de distribuție de JT și instalațiile casnice (sau similare) sunt protejate la punctul de delimitare de un întreruptor automat furnizat de autoritatea competentă. Acest întreruptor automat, pe lângă protecția la atingerea indirectă, va declanșa la suprasarcină în cazul în care consumatorul depășește nivelul de curent fixat în contractul încheiat cu furnizorul de energie. Întreruptoarele automate ($I_n \leq 60$ A) sunt compensate pentru intervalul de temperaturi (-5° C la +40° C).
- întreruptoarele automate de JT, având curenții nominali ($I_n \leq 630$ A) sunt de regulă echipate cu declanșatoare compensate pentru intervalul (-5° C la +40° C).

Declanșatoare electronice

Un avantaj important al declanșatoarelor electronice îl constituie stabilitatea caracteristicilor, în condiții de temperatură variabilă. Totuși, însuși aparatul de comutație impune limite, așa cum s-a menționat anterior, astfel încât fabricanții dau de obicei un tabel de dependență a valorilor maxime admisibile pentru valorile curentului de declanșare în funcție de temperatura ambiantă (vezi **Fig. H42**).

Declanșatoarele electronice sunt foarte stabile în condiții de temperatură variabilă.

Masterpact, versiunea NW20		40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
H1/H2/H3	Debroșabil cu bornele pe plat	I _n (A)	2.000	2.000	2.000	1.980	1.890
		Reglaj maxim I _r	1	1	1	0,99	0,95
L1	Debroșabil cu bornele pe cant	I _n (A)	2.000	2.000	1.900	1.850	1.800
		Reglaj maxim I _r	1	1	0,95	0,93	0,90

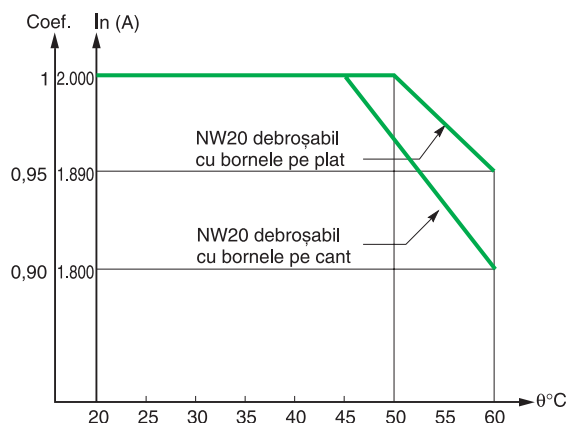
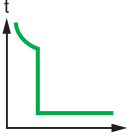
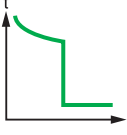
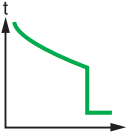
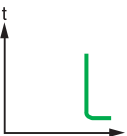


Fig. H42: Declasarea unui întreruptor automat Masterpact NW20, în funcție de temperatură.

Alegerea pragului de declanșare instantanee sau cu temporizare redusă

Tabelul H43 de mai jos prezintă principalele caracteristici ale declanșatoarelor instantanee sau cu temporizare redusă.

Tip	Declanșator	Aplicații
	Reglaj jos, tip B	<ul style="list-style-type: none"> surse cu puteri de scurtcircuit reduse (generatoare de rezervă) cabluri sau linii aeriene lungi
	Reglaj standard, tip C	<ul style="list-style-type: none"> protecția circuitelor, cazul general
	Reglaj sus tip D sau K	<ul style="list-style-type: none"> protecția circuitelor cu curenți tranzitorii inițiali importanți (motoare, transformatoare, sarcini rezistive)
	12 I _n tip MA	<ul style="list-style-type: none"> protecția motoarelor în asociere cu discontactoarele (contactoare cu protecție la suprasarcină)

Tab. H43: Diferite declanșatoare instantanee sau cu temporizare redusă.

H20

Instalarea unui întreruptor automat de JT impune ca valoarea capacității de rupere a acestuia (sau aceea a întreruptorului automat împreună cu a dispozitivului asociat) să fie egală sau mai mare decât curentul de scurtcircuit prezumat calculat, în punctul de instalare.

Întreruptorul automat conectat la ieșirea celui mai mic transformator trebuie să aibă capacitatea de rupere adecvată curentului de defect cel mai mare care poate să treacă prin întreruptorul automat aferent oricărui alt transformator.

Alegerea întreruptorului automat în funcție de capacitatea de rupere

Instalarea unui întreruptor automat într-o instalație de JT trebuie să îndeplinească una din condițiile următoare:

- să aibă o capacitate de rupere I_{cu} și I_{cs} (sau I_{cn}) egală sau mai mare decât curentul de scurtcircuit prezumat, calculat în punctul respectiv al instalației, sau
- dacă prima condiție nu este satisfăcută, să fie asociat cu un alt dispozitiv, plasat în amonte, care are capacitatea de deconectare necesară.

În al doilea caz, caracteristicile celor două dispozitive trebuie să fie coordonate astfel încât energia care poate să treacă prin dispozitivul din amonte să nu depășească pe cea pe care poate să o suporte dispozitivul din aval. De asemenea cablurile asociate, conductoarele și celelalte componente, trebuie să nu fie afectate în nici un fel. Această tehnică este utilizată eficient în:

- asocierea siguranțelor cu întreruptoare automate;
 - asocierea întreruptoarelor limitatoare cu întreruptoare automate standard.
- Această tehnică este denumită filiație (vezi subparagraful 4.5).

Alegerea întreruptoarelor automate generale și plecări

Un singur transformator

Dacă transformatorul este plasat în postul de transformare de tip consumator, anumite standarde naționale impun un aparat de comutație de JT, la care poziția "deschis" a contactelor este vizibilă, cum este cazul unui Compact NS debroșabil.

Exemplu (vezi **Fig. H44** pagina alăturată)

Ce tip de aparat este potrivit pentru a îndeplini funcția de întreruptor automat principal într-o instalație alimentată printr-un transformator trifazat 250 kVA MT/JT (400 V) plasat într-un post de transformare de tip consumator?

I_n transformator = 360 A

I_{sc} (trifazat) = 8,9 kA

Un întreruptor automat de 400 A, cu un declanșator reglabil în intervalul 250 - 400 A și cu o capacitate nominală de rupere (I_{cu} = 45 kA) va fi corespunzător acestei utilizări.

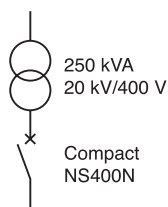


Fig. H44: Exemplu de transformator plasat în postul de transformare de tip consumator.

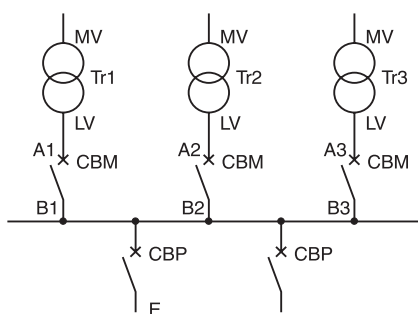


Fig. H45: Transformatoare în paralel.

Mai multe transformatoare în paralel (vezi Fig. H45)

■ Întreruptoarele automate CBP plecări din tabloul de distribuție de JT, trebuie să fie capabile să întrerupă curentul de defect al tuturor transformatoarelor conectate în paralel la barele colectoare adică: $I_{sc1} + I_{sc2} + I_{sc3}$;

■ Întreruptoarele automate CBM, fiecare controlând câte o ieșire de transformator, trebuie să fie capabile să deconecteze curentul de scurtcircuit maxim (de exemplu) de numai $I_{sc2} + I_{sc3}$ pentru un scurtcircuit produs în amonte de CBM1. Din aceste considerații, se observă că în aceste circumstanțe, întreruptorul automat al celui mai mic transformator va fi afectat de cel mai mare curent de scurtcircuit, în timp ce întreruptorul automat al celui mai mare transformator va fi parcurs de cel mai mic curent de scurtcircuit;

■ Reglajul întreruptoarelor automate CBM trebuie ales în acord cu puterile nominale ale transformatoarelor respective.

Notă: condițiile de bază pentru funcționarea corectă a celor trei transformatoare trifazate în paralel, pot fi rezumate astfel:

1. Defazajul între tensiunile primar și secundar să fie același pentru toate unitățile conectate în paralel.

2. Tensiunile nominale în gol trebuie să fie aceleași pentru toate unitățile.

3. Tensiunea de scurtcircuit ($u_{sc}\%$) trebuie să fie aceeași pentru toate unitățile.

De exemplu, un transformator de 750 kVA cu $u_{sc} = 6\%$ va alimenta corect o sarcină împreună cu un transformator de 1000 kVA, având $u_{sc} = 6\%$. În acest caz, transformatoarele vor fi încărcate proporțional cu puterile lor. Pentru transformatoare la care raportul puterilor depășește valoarea 2, funcționarea în paralel nu este recomandată.

Tabelul H46 indică pentru configurația cea mai uzuală (2 sau 3 transformatoare de puteri egale) curenții de scurtcircuit care solicită întreruptoarele automate CBM și CBP conform Fig. H45. Tabelul se bazează pe următoarele ipoteze:

■ puterea trifazată de scurtcircuit pe partea de MT a transformatorului este 500 MVA;

■ transformatoarele sunt de tip standard de 20/0,4 kV și au puteri nominale conform tabelului;

■ cablurile aferente fiecărui transformator, până la întreruptorul automat de JT, sunt realizate din conductor monofilar, de lungime 5 m;

■ între fiecare CBM al circuitului de sosit și fiecare CBP al circuitului de plecare există o lungime de 1 m de bare colectoare;

■ aparatul de comutație este instalat într-un dulap de distribuție închis, montat la sol; temperatura ambiantă este de 30° C.

De asemenea tabelul indică tipurile de întreruptoare automate din fabricația Merlin Gerin recomandate pentru funcția de tip CBM și respectiv CBP, la fiecare caz.

Exemplu (vezi Fig. H47 pagina următoare).

■ Alegerea întreruptoarelor automate pentru funcția de CBM:

I_n pentru un transformator de 800 kVA = 1126 A (la 410 V tensiune în gol)

I_{cu} (minim) = 48 kA (din Tab. H46)

CBM indicat în tabel este Compact NS 1250 N ($I_{cu} = 50$ kA).

■ Alegerea întreruptoarelor automate pentru funcția CBP:

Capacitatea de rupere la scurtcircuit (I_{cu}) necesară acestor întreruptoare automate este 56 kA, conform Tab. H46.

Soluția recomandată pentru cele trei circuite de plecare 1, 2 și 3 o reprezintă întreruptoarele automate limitatoare de curent, tip NS 400 L, NS 250 L, NS 100L.

Curentul I_{cu} în fiecare caz este 150 kA.

Numărul și puterea nominală (kVA) pentru transformatoare 20/0,4 kV	Capacitatea de rupere min. a întreruptorului automat sosit (I_{cu}) kA	Selectivitatea totală între întreruptoarele autom. sosit (CBM) și plecare (CBP) din TG	Capacitatea de rupere min. a întreruptoarelor autom. plecare (I_{cu}) kA	Curentul nominal I_n al întreruptoarelor autom. plecare (CPB) 250A
2 x 400	14	NW08N1/NS800N	27	NS250H
3 x 400	28	NW08N1/NS800N	42	NS250H
2 x 630	22	NW10N1/NS1000N	42	NS250H
3 x 630	44	NW10N1/NS1000N	67	NS250H
2 x 800	19	NW12N1/NS1250N	38	NS250H
3 x 800	38	NW12N1/NS1250N	56	NS250H
2 x 1.000	23	NW16N1/NS1600N	47	NS250H
3 x 1.000	47	NW16N1/NS1600N	70	NS250H
2 x 1.250	29	NW20N1/NS2000N	59	NS250H
3 x 1.250	59	NW20N1/NS2000N	88	NS250L
2 x 1.600	38	NW25N1/NS2500N	75	NS250L
3 x 1.600	75	NW25N1/NS2500N	113	NS250L
2 x 2.000	47	NW32N1/NS3200N	94	NS250L
3 x 2.000	94	NW32N1/NS3200N	141	NS250L

Tab. H46: Valorile maxime ale curentului de scurtcircuit ce pot fi întrerupte de întreruptoarele sosit și plecare din TG (CBM și CBP), pentru câteva transformatoare în paralel.

Nivelele de curent de scurtcircuit din orice punct al unei instalații electrice pot fi obținute din tabele.

Aceste înteruptoare automate oferă următoarele avantaje:

- selectivitate totală față de înteruptorul automat CBM din amonte,
- utilizarea tehnicii “filiației” pentru componentele din aval, rezultând avantaje economice.

Alegerea înteruptoarelor automate din circuitul de plecare și din circuitele finale

Utilizarea Tabelului G40

Cu ajutorul acestui tabel poate fi determinată rapid valoarea curentului de scurtcircuit trifazat, în orice punct al instalației, dacă se cunosc:

- valoarea curentului de scurtcircuit într-un punct din amonte de înteruptorul respectiv;

- lungimea, secțiunea și structura conductoarelor între cele două puncte.

Este recomandată alegerea unui înteruptor automat cu o capacitate de rupere superioară celei din tabel.

Calculul detaliat al nivelului curentului de scurtcircuit

Pentru a calcula în mod precis curentul de scurtcircuit, mai ales atunci când capacitatea de rupere a înteruptorului automat este ceva mai mică decât cea indicată în tabel, este necesar să se utilizeze metoda din capitolul G, paragraful 4.

Înteruptoarele automate bipolare (cu poli pe fază și neutru), având protecție pe un singur pol

Aceste înteruptoare automate sunt în general dotate cu un dispozitiv de protecție la supracurent, plasat numai pe polul fazei. Acestea pot fi utilizate în schemele TT, TN-S și IT. Reamintim că într-o schemă IT trebuie respectate următoarele condiții:

- condiția (B) din **Tab. G67**, relativ la protecția conductorului de neutru, față de supracurentul care apare în cazul defectului dublu;
- capacitatea de deconectare la scurtcircuit (nominală): un înteruptor automat bipolar (fază și neutru) trebuie să fie capabil să întrerupă pe un pol (la tensiunea dintre faze) curentul unui defect dublu egal cu 15% din curentul de scurtcircuit trifazat din punctul respectiv al instalației, dacă curentul este ≤ 10 kA, sau 25% din curentul de scurtcircuit trifazat, dacă acesta depășește 10 kA;
- protecția la atingere indirectă: această protecție este realizată conform regulilor pentru schemele IT.

Capacitate de deconectare insuficientă

În sistemele de distribuție de JT se întâmplă uneori (mai ales în rețelele foarte încărcate) ca I_{sc} calculat să depășească I_{cu} al înteruptorului automat disponibil în instalație, sau modificări ale rețelei din amonte, să ducă la depășirea performanțelor înteruptorului automat de JT.

- Soluția 1: verificați dacă înteruptoarele automate din amonte sunt limitatoare de curent, permițând aplicarea principiului filiației (descries în subparagraful 4.5);
- Soluția 2: instalarea unei game de înteruptoare automate având performanțe sporite. Această soluție este interesantă din punct de vedere economic atunci când numai unul sau două înteruptoare sunt afectate;
- Soluția 3: asocierea siguranțelor limitatoare de curent “gG” sau “aG” (cu înteruptoarele automate implicate), pe partea amonte. Această combinație trebuie totuși să respecte următoarele reguli:

- performanțele siguranței trebuie să fie corespunzătoare,
- să nu se monteze siguranțe pe conductorul de neutru, exceptând anumite instalații IT unde un defect dublu produce un curent în conductorul de neutru care poate depăși capacitatea de deconectare a înteruptorului automat. În acest caz, topirea siguranței de pe neutru, trebuie să ducă la declanșarea înteruptorului automat și întreruperea tuturor fazelor.

H22

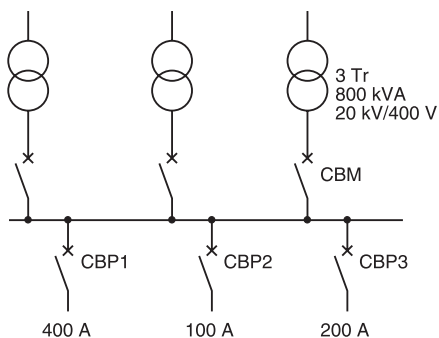


Fig. H47: Transformatoare în paralel.

Tehnica “filiației” utilizează proprietățile înteruptoarelor limitatoare de curent pentru a permite instalarea în aval de acestea, a unor cabluri și componente de circuit cu performanțe semnificativ mai reduse decât ar fi fost necesar, simplificând și reducând costurile instalației.

4.5 Coordonarea între înteruptoarele automate

Tehnica “filiației”

Descrierea tehnicii “filiației”

Prin limitarea în amplitudine și durată a valorii de vârf a curentului de scurtcircuit un înteruptor automat limitator permite utilizarea, în circuitele din aval, a unor aparate de comutație și componente de circuit cu capacități de deconectare și performanțe de stabilitate termică și electrodinamică mai scăzute decât în cazurile clasice. Reducerea dimensiunilor fizice și a cerințelor de performanță asigură economii substanțiale și simplificarea lucrărilor de instalare. Este de remarcat că, în timp ce înteruptoarele automate limitatoare de curent produc un efect de creștere virtuală a impedanței sursei pe durata scurtcircuitului, acestea nu au nici un efect în alte condiții cum ar fi pornirea unui motor de putere mare (când este dorit o impedanță redusă a sursei). În acest sens, de mare interes este gama de înteruptoare limitatoare Compact NS cu performanțe ridicate de limitare.

În general sunt necesare încercări de laborator, pentru a ne asigura că sunt îndeplinite condițiile de exploatare impuse de standardele naționale și că producătorul asigură combinații corespunzătoare de aparate de comutație

Condiții de exploatare

Cele mai multe standarde naționale permit utilizarea tehnicii "filiației" cu condiția ca nivelul de energie care trece prin întreruptoarele limitatoare să fie mai mic decât cel pe care pot să îl suporte întreruptoarele și componentele din aval. În practică, această condiție poate fi verificată numai prin încercări realizate în laborator. Astfel de teste sunt realizate de fabricanți care furnizează informații sub formă de tabel. În acest mod, utilizatorii pot să proiecteze într-o manieră riguroasă o schemă tip cascadă, bazată pe combinații de tipuri de întreruptoare recomandate. De exemplu, **Tab. H48** indică posibilitatea utilizării tehnicii "filiației" a întreruptoarelor automate de tip C60, Clario și NG125, dacă se instalează în aval de întreruptoarele limitatoare NS 250 N, H sau L pentru instalații de 230/400 V sau 240/415 V trifazate.

	$kA_{eficace}$			
Capacitatea de rupere a întreruptorului automat limitator amonte	150			NS250L
	50		NS250H	
	35	NS250N		
		↓	↓	↓
Capacitatea de rupere a întreruptorului automat aval (beneficiind de tehnica "filiației")	150			NG125L
	70		NG125L	
	40		C60L ≤ 40 A	C60L ≤ 40 A
	36	NG125N	NG125N	
	30	C60H C60L	C60N/H/L	C60N/H C60L 50-63 A
	25	C60N C120N/H	C120N/H	
	20	Clario	Clario	Clario

Tab. H48: Exemple de posibilități de "filiație" pentru instalații de 230/400 V sau 240/415 V trifazate.

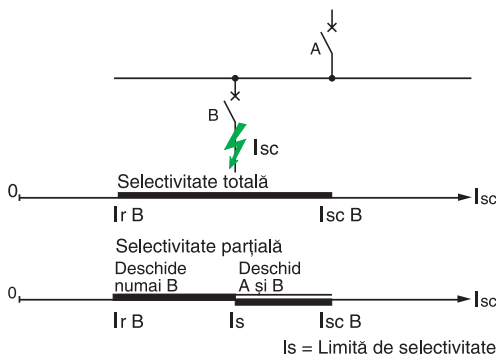


Fig. H49: Selectivitate totală și parțială.

Selectivitatea poate fi totală sau parțială. Aceasta poate fi bazată pe principiul nivelurilor de curent sau temporizărilor sau o combinație a celor două. Dezvoltări recente sunt bazate pe principiul selectivității logice. Un sistem (brevetat de Merlin Gerin) utilizează avantajele combinate ale limitării de curent și selectivității.

Avantajele tehnicii "filiației"

De procesul de limitare a curentului beneficiază toate circuitele din aval care sunt alimentate prin întreruptorul automat limitator respectiv. Principiul nu este restrictiv, adică întreruptoarele automate limitatoare pot fi montate în orice punct al instalației unde circuitele și componentele din aval ar avea performanțe inadecvate. Rezultatul este:

- simplificarea calculului de curent de scurtcircuit;
- simplificarea, adică alegerea într-un domeniu mai larg a aparatelor de comutație și echipamentelor din aval;
- utilizarea unor aparate de comutație și echipamente cu performanțe mai reduse, cu micșorarea costurilor corespunzătoare;
- economie de spații de amplasare, deoarece echipamentele cu performanțe mai reduse sunt în general mai puțin voluminoase.

Declanșarea selectivă (selectivitatea)

Selectivitatea este realizată de dispozitive automate de protecție, astfel încât un defect care apare în orice punct a instalației, să fie deconectat de dispozitivele de protecție plasate imediat în amonte de defect, în timp ce toate celelalte dispozitive de protecție rămân în aceeași stare (vezi **Fig. H49**).

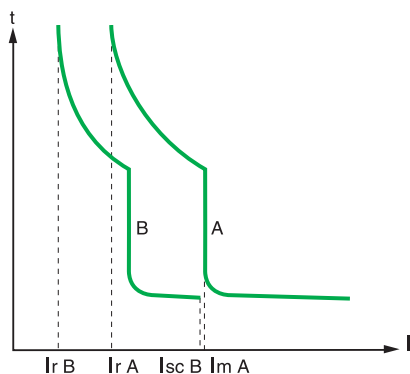


Fig. H50: Selectivitate totală între întreruptoarele automate A și B.

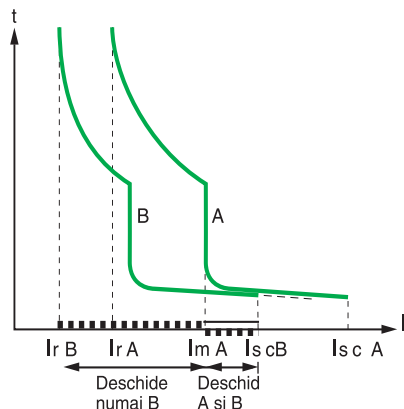


Fig. H51: Selectivitate parțială între întreruptoarele automate A și B.

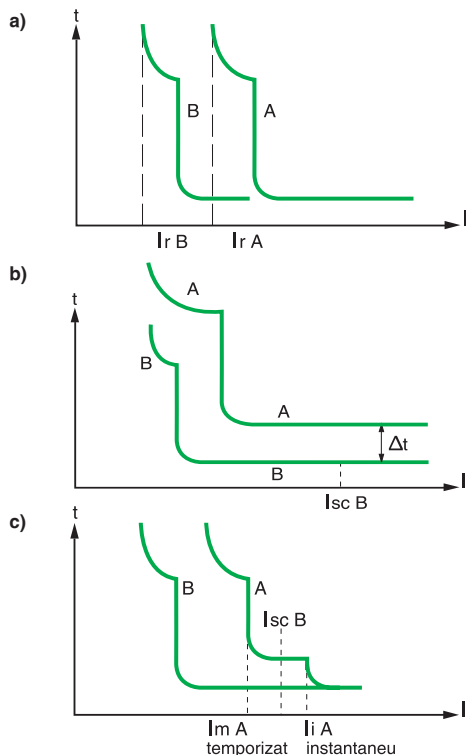


Fig. H52: Selectivitate.

Selectivitatea între întreruptoarele automate A și B este totală dacă valoarea maximă a curentului de scurtcircuit în circuitul B ($I_{sc} B$) nu depășește reglajul de declanșare la scurtcircuit al întreruptorului automat A ($I_m A$). În această situație la scurtcircuit va declanșa numai B (vezi Fig. H50).

Selectivitatea este parțială dacă curentul de scurtcircuit maxim posibil în circuitul B depășește reglajul de declanșare aferent întreruptorului automat A. Într-o astfel de situație la curent de scurtcircuit maxim, vor declanșa ambele întreruptoare automate A și B (vezi Fig. H51).

Selectivitatea bazată pe nivelul de curent: protecția împotriva suprasarcinilor (vezi Fig. H52a).

Această metodă este realizată prin reglajul succesiv al nivelelor de declanșare ale releelor, în trepte, de la releul din aval (reglaj inferior) către sursă (reglaj superior). Selectivitatea este totală sau parțială conform anumitor condiții particulare, așa cum s-a arătat în exemplele de mai sus.

Ca regulă selectivitatea este obținută când:

■ $I_r A / I_r B > 2$:

Selectivitatea bazată pe nivele de timp: protecția împotriva scurtcircuitelor de nivel scăzut (vezi Fig. H52b)

Această metodă este implementată prin reglajul declanșării temporizate astfel încât releele din aval să aibă cel mai scurt timp de acțiune; întârzierea crește progresiv pe măsură ce înaintăm către sursă.

În diagrama cu două nivele prezentată întreruptorul automat A, din amonte, este întârziat suficient pentru a asigura selectivitatea totală cu întreruptorul automat B (de exemplu, Masterpact cu declanșator electronic).

Selectivitatea bazată pe combinarea celor două metode de mai sus (vezi Fig. H52c)

O întârziere mecanică, adițională schemei nivelelor de curent, poate să îmbunătățească performanțele de selectivitate globală. Întreruptorul automat din amonte are două niveluri pentru declanșarea electromagnetice ultrarapidă:

■ I_m A declanșator magnetic cu temporizare sau declanșator electronic cu scurtă temporizare;

■ I_i declanșare instantanee.

Selectivitatea este totală dacă $I_{sc} B < I_i$ (instantanee).

Selectivitatea bazată pe nivelele energiei arcului electric: protecția împotriva scurtcircuitelor foarte puternice

Această tehnologie implementată în întreruptorul automat limitator Compact NS este extrem de eficientă pentru obținerea selectivității totale.

Principiu: Atunci când un scurtcircuit foarte puternic este detectat de către două întreruptoare automate A și B, contactele acestora se deschid simultan. Ca rezultat curentul este limitat semnificativ.

■ cantitatea importantă de energie a arcului electric provoacă declanșarea întreruptorului automat B;

■ apoi energia scade și nu mai este suficientă pentru a provoca declanșarea lui A.

Ca regulă, selectivitatea între Compact NS este totală dacă raportul între A și B este mai mare decât 2,5.

Selectivitate prin nivele de curent

Selectivitatea prin nivele de curent este realizată prin reglajul în trepte al curenților de acționare ai declanșatoarelor magnetice.

Selectivitatea prin nivele de curent este realizată cu întreruptoare automate, de preferat limitatoare, prin reglajul în trepte al nivelelor de curent aferente declanșatoarelor electromagnetice instantanee.

În acest sens pot exista mai multe cazuri:

■ Întreruptorul din aval nu este limitator de curent

În acest caz, selectivitatea totală este practic imposibilă, deoarece $I_{sc} A$ este aproximativ egal cu $I_{sc} B$ astfel încât ambele întreruptoare automate vor declanșa simultan. Ca urmare, pentru această situație, selectivitatea este parțială și limitată la I_m al întreruptorului automat din amonte (vezi Fig. H51).

■ Întreruptorul din aval este limitator de curent

Îmbunătățirea declanșării selective poate fi obținută prin utilizarea unui întreruptor automat limitator de curent în aval, adică în poziția întreruptorului B. Pentru un scurtcircuit produs în aval de B, curentul limitat I_B va duce la funcționarea declanșatorului electromagnetic din B (reglat corespunzător) dar va fi insuficient pentru a produce declanșarea lui A.

Notă: toate întreruptoarele automate de JT (considerate aici) au un anumit grad de limitare al curentului, chiar și acelea care nu sunt clasificate ca limitatoare de curent. Acest fapt s-a luat în considerare pentru curba caracteristică a întreruptorului automat standard A, prezentată în Fig. H53. Sunt necesare totuși calcule și teste adecvate pentru a asigura performanțe satisfăcătoare în cazul acestei combinații.

4 Înteruptoare automate

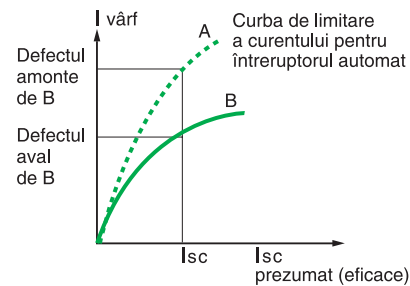


Fig. H53: Limitarea aval de întreruptorul automat B.

■ Întreruptorul automat din amonte este de tip ultrarapid cu întârziere redusă (SD) Aceste întreruptoare sunt dotate cu declanșatoare care au o temporizare redusă, nereglabilă. Întârzierea este suficientă pentru asigurarea unei selectivități absolute cu orice alt întreruptor ultrarapid din aval, la orice valoare a curentului de scurtcircuit, până la valoarea I_i A (vezi Fig. H54).

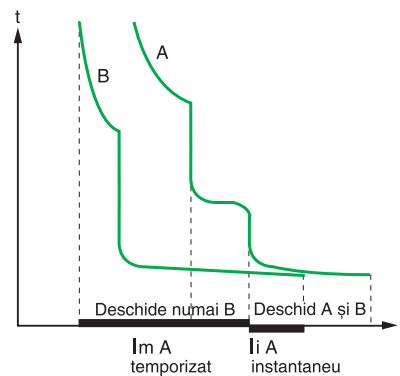


Fig. H54: Utilizarea unui întreruptor automat amonte selectiv.

Exemplu

Întreruptorul automat A: Compact NS250N dotat cu un declanșator care include o caracteristică SD.

$I_r = 250$ A, declanșator magnetic reglat la 2000 A

Întreruptorul automat B: Compact NS100N

$I_r = 100$ A

Catalogul de distribuție electrică Merlin Gerin indică limita de selectivitate la 3000 A (o îmbunătățire peste limita de 2500 A obținută la folosirea unui declanșator standard).

Selectivitate temporală

Această tehnică necesită:

- introducerea unui mecanism de temporizare în structura declanșatoarelor aferente;
- întreruptoare automate cu performanțe de stabilitate termică și electrodinamică corespunzătoare nivelurilor ridicate de curent și întârzierilor implicate.

Două întreruptoare automate A și B în serie (parcuse de același curent) sunt selective dacă durata de declanșare a întreruptorului automat B din aval este mai mică decât durata de nondeclanșare a întreruptorului automat A.

Selectivitatea bazată pe declanșare întârziată, utilizează întreruptoare automate numite "selective" (în anumite țări).

Utilizarea acestor întreruptoare automate este relativ simplă și constă în eșalonarea în timp a momentelor de declanșare pentru mai multe întreruptoare automate conectate în serie.

Selectivitate pe mai multe nivele

Un exemplu de schemă practică cu întreruptoare automate Merlin Gerin - Masterpact (cu dispozitive electronice de protecție). Aceste întreruptoare automate sunt echipate cu temporizatoare reglabile permițând 4 trepte de reglaj, astfel încât:

- întârzierea corespunzătoare unei anumite trepte este mai mare decât timpul de întrerupere total al treptei următoare inferioare;
- temporizarea corespunzătoare primei trepte este mai mare decât timpul total de rupere al întreruptoarelor automate ultrarapide (tip Compact de exemplu) sau al fuzibilelor (vezi Fig. H55).

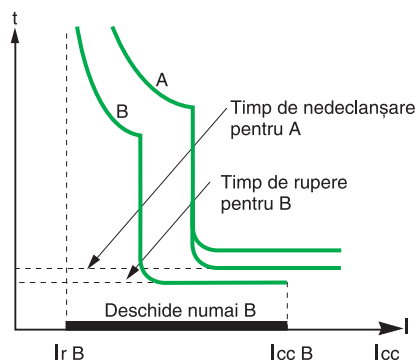


Fig. H55: Selectivitate temporală.

Limitare și selectivitate obținute pe baza energiei arcului electric (selectivitate energetică)

Filiația între 2 aparate este obținută utilizând declanșarea întreruptorului automat din amonte A pentru a ajuta întreruptorul automat din aval B să rupă arcul. Limita selectivității I_s este în consecință egală cu capacitatea de rupere ultimă $I_{cu} B$ a întreruptorului automat B acționând singur, deoarece filiația implică declanșarea ambelor aparate.

Tehnologia bazată pe energia arcului electric implementată în întreruptoarele automate Compact NS permite creșterea limitelor selectivității. Principiile sunt următoarele:

- întreruptorul automat limitator din aval (**B**) vede un curent de scurtcircuit important. Declanșarea este rapidă ($< 1\text{ ms}$) și deci curentul este limitat;
- întreruptorul automat amonte (**A**) vede un curent de scurtcircuit limitat comparat cu capacitatea sa de rupere. Acest curent provoacă o respingere a contactelor. Ca rezultat tensiunea arcului crește și curentul este și mai mult limitat. Presiunea nu este destul de mare pentru a provoca declanșarea întreruptorului automat. Deci, întreruptorul automat A va ajuta întreruptorul automat B să declanșeze, fără a declanșa el însuși. Limita selectivității poate fi mai mare decât $I_{cu} B$ și selectivitatea devine totală la un cost optim al aparatelor.

Selectivitate totală naturală cu Compact NS

Avantajul major al întreruptorului automat Compact NS constă în asigurarea selectivității totale naturale între două aparate înseriate dacă:

- raportul între curenții nominali ai celor două declanșatoare este $> 1,6$;
- raportul curenților nominali ai celor două întreruptoare automate $> 2,5$.

4 Înteruptoare automate

Se pot realiza scheme de selectivitate logică utilizând întreruptoare automate dotate cu declanșatoare electronice, proiectate special în acest scop (Compact, Masterpact, fabricate de Merlin Gerin) interconectate prin conductoare pilot.

Selectivitate logică

Acest sistem de selectivitate necesită întreruptoare automate echipate cu declanșatoare electronice, proiectate special și cu conductoare pilot de interconexiune, pentru transferul de date între întreruptoarele automate. Pentru două nivele A și B (vezi **Fig. H56**) întreruptorul automat A este reglat să declanșeze instantaneu în caz că releul întreruptorului automat B nu trimite un semnal care să confirme că defectul se află în aval de B. Acest semnal produce întârzierea declanșării lui A asigurând totodată protecția de rezervă în eventualitatea că întreruptorul automat B nu reușește întreruperea. Acest sistem (brevetat de Merlin Gerin) permite de asemenea localizarea rapidă a defectelor.

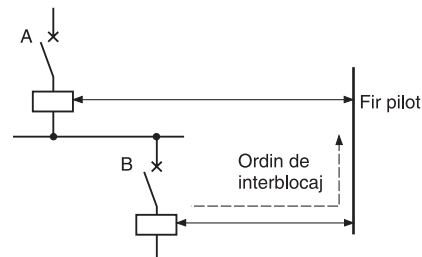


Fig. H56: Selectivitate logică.

4.6 Selectivitate MT/JT într-un post de transformare de tip consumator

În general, transformatorul dintr-un post de transformare de tip consumator este protejat prin siguranțe de MT care corespund parametrilor transformatorului, în conformitate cu principiile enunțate în CEI 60787 și CEI 60420, urmând indicațiile fabricantului de siguranțe fuzibile.

Deoarece siguranța de MT nu trebuie să declanșeze la defecte apărute pe partea de JT (în aval de întreruptorul de JT), curba caracteristică a celui din urmă trebuie să se găsească la stânga curbei de pre-arc a siguranței fuzibile.

Această condiție, fixează reglajele maxime pentru protecția întreruptorului de JT, și anume:

- reglajul nivelului maxim al curentului de scurtcircuit al declanșatorului electromagnetic;
- întârzierea maximă permisă pentru declanșatorul de scurtcircuit (vezi **Fig. H57**).

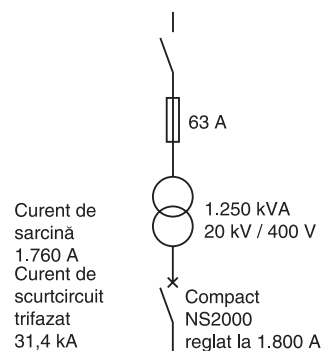
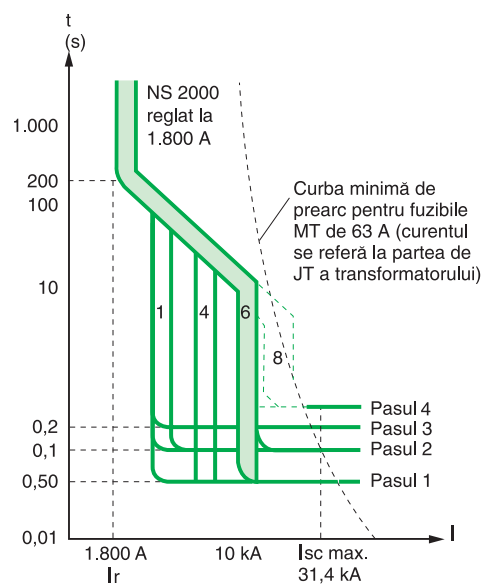


Fig. H57: Exemplu.

- nivelul de scurtcircuit la bornele de MT ale transformatorului: 250 MVA;
 - transformator MT/JT: 1250 kVA, 20/0,4 kV;
 - siguranțe MT: 63 A;
 - conexiune între transformator și întreruptorul automat de JT: 10 m de cablu monofilar;
 - întreruptor automat de JT: Compact NS 2000 reglat la 1800 A (I_r).
- Care este reglajul maxim al curentului de declanșare la scurtcircuit și întârzierea maximă permisă?
- Curbele din **Fig. H58** arată că selectivitatea este asigurată dacă întârzierea declanșatorului temporizat este reglată la:
- un nivel $\leq 6 I_r = 10,8$ kA;
 - un reglaj de întârziere la treapta 1 sau 2.



Capitolul J

Protecția împotriva supratensiunilor la JT

Cuprins

1	General	J2
	1.1 Ce este o supratensiune tranzitorie?	J2
	1.2 Cele patru tipuri de supratensiuni tranzitorii	J2
	1.3 Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii	J4
	1.4 Moduri de propagare	J5
2	Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor	J6
	2.1 Dispozitive de protecție primară (protecția instalațiilor împotriva trăsnetului)	J6
	2.2 Dispozitive de protecție secundară (protecția instalațiilor interioare împotriva trăsnetului)	J8
3	Standarde	J11
	3.1 Descrierea unui descărcător	J11
	3.2 Standarde de produs	J11
	3.3 Datele tehnice ale unui descărcător în conformitate cu standardul CEI 61643-11	J11
	3.4 Standarde de instalare ale descărcătoarelor	J13
4	Alegerea unui dispozitiv de protecție	J14
	4.1 Evaluarea riscului supratensiunilor pentru instalația de protejat	J14
	4.2 Alegerea capacității de scurgere a unui descărcător (pentru o rețea de JT)	J16
	4.3 Alegerea descărcătorului în funcție de sistemul de tratare a neutrului	J16
	4.4 Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului	J17

1.1 Ce este o supratensiune tranzitorie?

O supratensiune tranzitorie este un impuls de tensiune sau o undă care este suprapusă tensiunii nominale a rețelei (vezi Fig. J1).

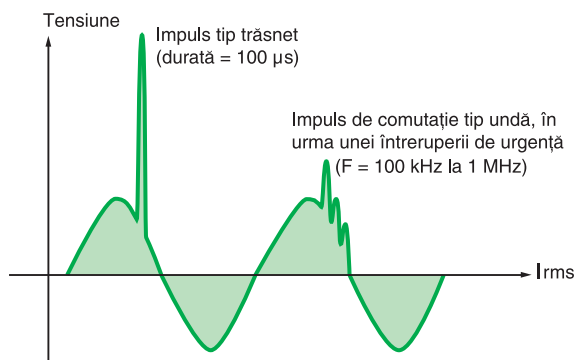


Fig. J1: Exemple de supratensiuni tranzitorii.

Acest tip de supratensiune tranzitorie este caracterizat de (vezi Fig. J2):

- frontul de undă (t_f) măsurat în μs ;
- gradientul S măsurat în $kV/\mu s$.

O supratensiune tranzitorie perturbă echipamentele și provoacă radiații electromagnetice. Mai mult decât atât, durata supratensiunii tranzitorii (T) cauzează un impuls de energie în circuitele electrice care poate să distrugă echipamentele.

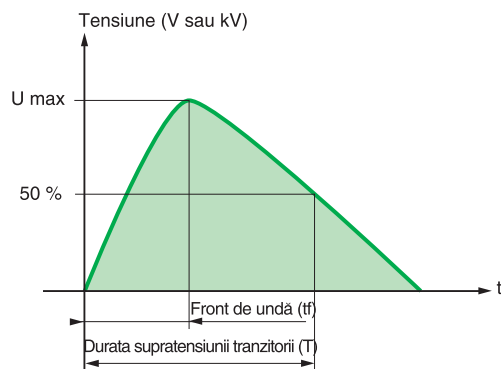


Fig. J2: Principalele caracteristici ale supratensiunii.

1.2 Cele patru tipuri de supratensiuni tranzitorii

Există patru tipuri de supratensiuni tranzitorii care pot perturba instalațiile electrice și consumatorii alimentați din acestea:

- supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică;
- supratensiuni tranzitorii de comutație;
- supratensiuni tranzitorii de frecvență industrială;
- supratensiuni tranzitorii cauzate de descărcări electrostatice.

Supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică

Riscul unei lovituri de trăsnet: câteva cifre

În fiecare zi între 2000 și 5000 de furtuni se formează pe planeta noastră. Aceste furtuni sunt însoțite de trăsnete care constituie un risc serios pentru oameni și echipamente. Lovituri de trăsnet ating pământul cu o rată de 30 până la 100 lovituri pe secundă. Anual aceasta înseamnă 3 mii de miliarde de lovituri de trăsnet.

- Pretutindeni în lume, în fiecare an, mii de persoane sunt lovite de trăsnet și un număr foarte mare de animale sunt ucise.
- Trăsnetul provoacă un mare număr de incendii, în special asupra clădirilor din ferme.

- Trăsnetul afectează transformatoarele electrice, contoarele de energie, aparatele electro-casnice, în general toate aplicațiile electrice și electronice din sectorul rezidențial și industrial.
 - Clădirile înalte sunt cele mai des lovite de trăsnet.
 - Costul reparațiilor pentru daunele provocate de trăsnete este foarte mare.
 - Este dificilă evaluarea daunelor provocate de perturbațiile produse de trăsnete asupra rețelilor de telecomunicație sau calculatoare, erori ale automatelor programabile sau defectări ale sistemelor de reglare automată.
- În plus pierderile provocate de un echipament scos din uz de o lovitură de trăsnet pot avea consecințe financiare apropiate de costul inițial al echipamentului.

Caracteristicile unui descărcări de trăsnet

Tabelul J3 arată valorile date de comitetul de protecție împotriva trăsnetelor (comisia tehnică 81 a CEI). După cum se poate vedea 50% din trăsnete sunt de o forță mai mare de 33 kA și 5% sunt mai mari de 85 kA. Energia implicată este deci foarte mare.

Probabilitatea de producere P%	Curentul de vârf I (kA)	Gradientul S (kA/μs)	Durata totală T (s)	Număr total descărcări n
95	7	9,1	0,001	1
50	33	24	0,01	2
5	85	65	1,1	6

Tab. J3: Caracteristicile descărcărilor de trăsnet date de comitetul de protecție împotriva trăsnetelor al CEI.

Trăsnetul provine dintr-o descărcare a sarcinilor electrice acumulate în norii cumulo-nimbus care formează un condensator cu pământul. Fenomenul furtunilor provoacă daune serioase. Trăsnetul este un fenomen atmosferic frecvent care produce supratensiuni tranzitorii în toate elementele conductoare și în special în conductoare și în echipamente.

Este important de cunoscut probabilitatea și forța loviturilor atunci când protejăm o instalație. Mai trebuie știut și că curentul unui trăsnet este un impuls de curent de înaltă frecvență ajungând până la un megahertz.

Efectele trăsnetului

Curentul unui trăsnet este deci un curent electric de înaltă frecvență. La fel ca și efectele provocate de o inducție puternică sau de alte supratensiuni tranzitorii, el provoacă aceleași efecte asupra unui conductor ca și orice alt curent de joasă frecvență:

- Efecte termice: topire la locul impactului și efectul Joule datorat circulației de curent care provoacă incendii.
- Efecte electrodinamice: când curentul de trăsnet circulă printr-un conductor paralel cu alte conductoare poate provoca atragere sau respingere între conductoare, adică deformații mecanice sau rupeți ale acestora.
- Efectul de combustie: trăsnetul provoacă dilatarea aerului în canalul de arc implicând suprapresiuni pe o distanță de zeci de metri. Suflul poate sparge geamuri sau proiecta oameni și animale la câțiva metri față de locația inițială. La reîntoarcerea aerului în canalul de arc, unda de șoc se transformă într-o undă sonoră: tunetul.
- Supratensiunile tranzitorii circulă după impact pe rețelele electrice sau pe rețelele telefonice aeriene.
- Supratensiunile induse de efectul radiației electromagnetice a canalului de arc de trăsnet, care acționează ca o antenă peste câțiva kilometri, și care reprezintă un impuls de curent considerabil.
- Ridicarea potențialului pământului la circulația curentului de trăsnet în pământ. Aceasta explică loviturile indirecte ale trăsnetului prin tensiunea de pas și distrugerea echipamentelor.

Supratensiuni tranzitorii de comutație

O schimbare bruscă în condițiile de funcționare ale unei rețele electrice va provoca apariția unor fenomene tranzitorii. Acestea sunt în general unde de tensiune de înaltă frecvență sau amortizate (vezi **Fig. J1**).

Acestea au un front lent; frecvența lor variază de la zeci la sute de kilohertzi.

Supratensiunile tranzitorii de comutație sunt provocate de:

- impulsuri de tensiune la deconectarea aparatului de comutație (fuzibile, întrerupătoare automate), datorită funcționării dispozitivelor de protecție, sau de deschiderea și închiderea aparatului de comandă (relee, contactori);
- impulsuri de tensiune de la circuite inductive provocate de motoare la pornire sau oprire sau conectarea și deconectarea transformatoarelor în posturile de transformare MT/JT;
- impulsuri de tensiune la conectarea unei baterii de condensatoare la rețea;
- toate dispozitivele care conțin o bobină, un condensator sau un transformator, conectate la alimentarea cu energie electrică: rele, contactoare, televizoare, imprimante, computere, cupatoare electrice, filtre, etc.

Supratensiuni tranzitorii de frecvență industrială (vezi Fig. J4)

Aceste supratensiuni au aceeași frecvență ca și rețeaua (50, 60 sau 400 Hz):

- supratensiuni cauzate de defecte de izolație fază/carcasă sau fază/pământ în rețelele cu neutrul izolat sau tratat prin impedanță sau prin întreruperea conductorului neutru. Când aceasta se întâmplă, aparatele monofazice pot primi în loc de 230 V, până la 400V sau pentru medie tensiune tensiunea poate crește cu până la $\sqrt{3}$;
- supratensiuni cauzate de avarii, de exemplu un conductor de medie tensiune căzut peste unul de joasă tensiune.
- funcționarea unui eclator de înaltă sau medie tensiune provoacă o creștere a potențialului pământului, pe durata acționării dispozitivului de protecție. La ciclurile automate de cuplări-decuplări succesive, ce urmează după detectarea unui defect, aceste dispozitive vor rearmosa arcul dacă defectul persistă.

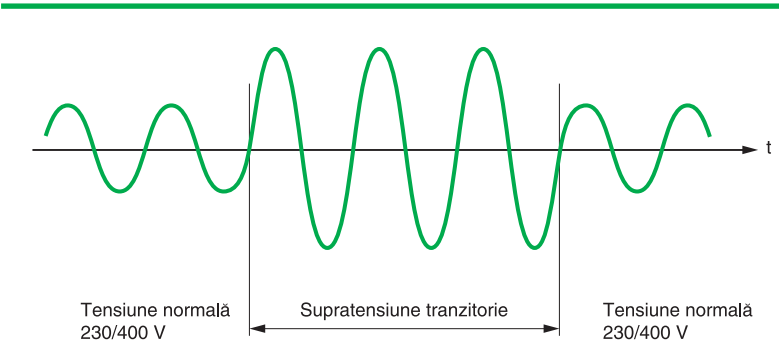


Fig. J4: Supratensiuni tranzitorii de frecvență industrială.

Supratensiuni tranzitorii cauzate de descărcări electrostatice

Într-un mediu uscat, sarcinile acumulate crează un câmp electrostatic foarte puternic. De exemplu o persoană mergând pe un covor cu încălțăminte electroizolantă se va încărca cu o sarcină la o tensiune de câțiva kilovolți. Dacă persoana se apropie de un obiect conductor, va transmite o descărcare electrică de câțiva amperi cu un front de undă de câteva nanosecunde. Dacă avem de-a face cu un obiect conținând electronică sau circuite imprimate neprotejate acestea pot fi distruse.

1.3 Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii

Tabelul J5 de mai jos prezintă principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii.

Tip de supratensiune tranzitorie	Coef. supratens. tranzitorii	Durată	Gradientul sau frecvența
Frecvență industrială (defect de izolație)	$\leq 1,7$	Lungă 30 la 1.000 ms	Frecvență industrială (50-60-400 Hz)
De comutație sau descărcare electrostatică	2 la 4	Scurtă 1 la 100 ms	Medie 1 la 200 kHz
Atmosferică	> 4	Foarte scurtă 1 la 100 μ s	Foarte mare 1 la 1.000 kV/ μ s

Tab. J5: Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii.

Trei lucruri trebuie reținute:

- o lovitură de trăsnet directă sau indirectă poate avea consecințe distructive asupra instalațiilor electrice la câțiva kilometri depărtare de locul impactului;
- supratensiunile tranzitorii industriale sau de comutație pot provoca, de asemenea, daune considerabile;
- faptul că o instalație este subterană nu o protejează complet, deși riscul unei lovituri directe este limitat.

1.4 Moduri de propagare

Modul obișnuit

Modul obișnuit de propagare a supratensiunilor este între părțile active și pământ: fază/pământ sau neutru/pământ (vezi **Fig. J6**).

Ele sunt periculoase în special pentru aparatele cu carcasă metalică legată la pământ datorită riscului străpungerii dielectricului.

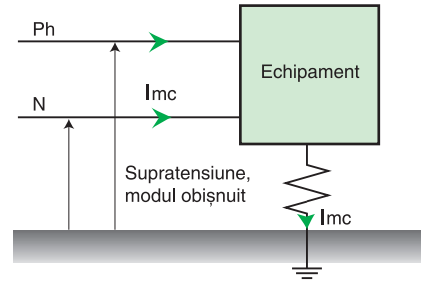


Fig. J6: Modul obișnuit.

Modul diferențial

Modul diferențial de propagare a supratensiunilor este între fază/fază sau fază/neutru (vezi **Fig. J7**).

Ele sunt periculoase în special pentru aparatele electronice, computere etc.

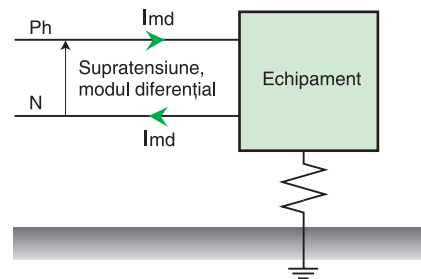


Fig. J7: Modul diferențial.

2 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor

Două tipuri majore de dispozitive sunt utilizate pentru suprimarea sau limitarea supratensiunilor: ele sunt denumite dispozitive de protecție primară și dispozitive de protecție secundară.

2.1 Dispozitive de protecție primară (protecția instalațiilor împotriva trăsnetului)

Scopul dispozitivelor de protecție primară este protecția instalațiilor împotriva loviturilor directe ale trăsnetului. Ele captează și conduc curentul de trăsnet la pământ. Principiul este bazat pe aria de protecție determinată de o structură care este mai înaltă decât restul. Același principiu se aplică pentru un stâlp, clădire sau structură metalică înaltă.

Există trei tipuri de protecție primară:

- conductor paratrăsnet Franklin, care este cel mai vechi și mai bine cunoscut dispozitiv de protecție împotriva trăsnetului;
- conductoare aeriene orizontale;
- zăbrele metalice sau cușca Faraday.

Conductorul paratrăsnet

Conductorul paratrăsnet este o vergea metalică plasată în vârful unei clădiri. Ea este legată la pământ prin intermediul unui sau mai multor conductoare (adesea platbandă de cupru) (vezi Fig. J8).

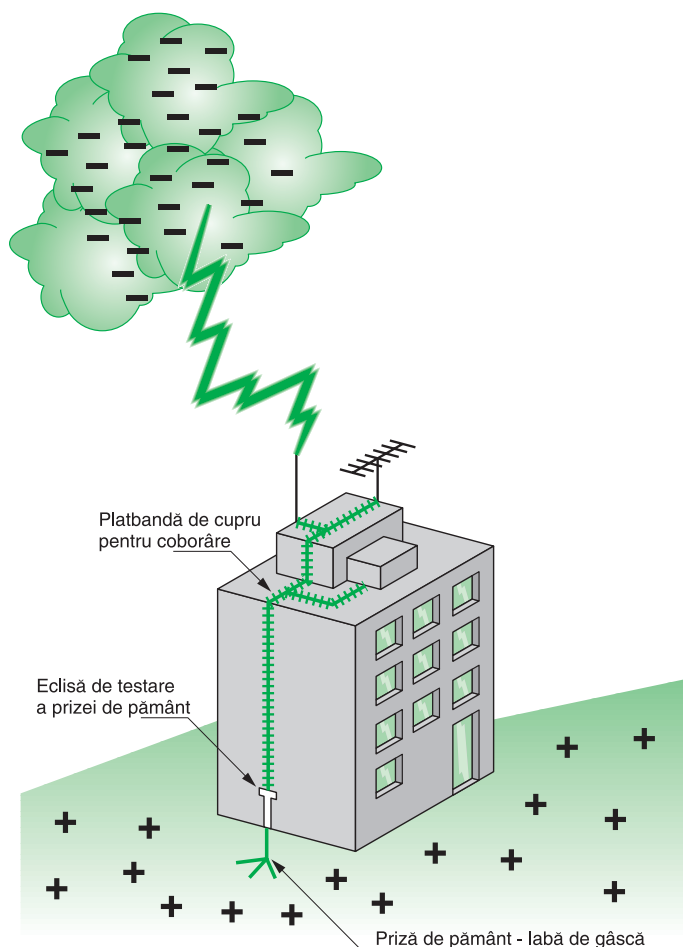


Fig. J8: Exemplu de protecție utilizând conductorul paratrăsnet Franklin.

2 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor

Proiectarea și execuția unei instalații de paratrăsnet este sarcina unui specialist. Trebuie acordată atenție traseului platbandelor de cupru, ecliselor de testare a prizelor de pământ, electrozilor prizei de pământ și distanțelor până la celelalte rețele utilitare (gaz, apă, etc.).

Mai mult, scurgerea curentului de trăsnet spre pământ va induce supratensiuni, prin radiație electromagnetică, în circuitele electrice ale clădirii ce este protejată. Acestea pot să ajungă la zeci de kilovolți; pentru acest motiv este recomandabil ca să divizăm conductoarele de coborâre în două, patru sau mai multe coborâri în paralel pentru a minimiza efectele electromagnetice.

Conductoare aeriene orizontale

Aceste conductoare sunt întinse deasupra structurii care urmează a fi protejată (vezi Fig. J9). Ele sunt utilizate pentru structuri speciale: lansatoare de rachete, aplicații militare și conductoare de gardă pentru liniile electrice aeriene de înaltă tensiune (vezi Fig. J10).

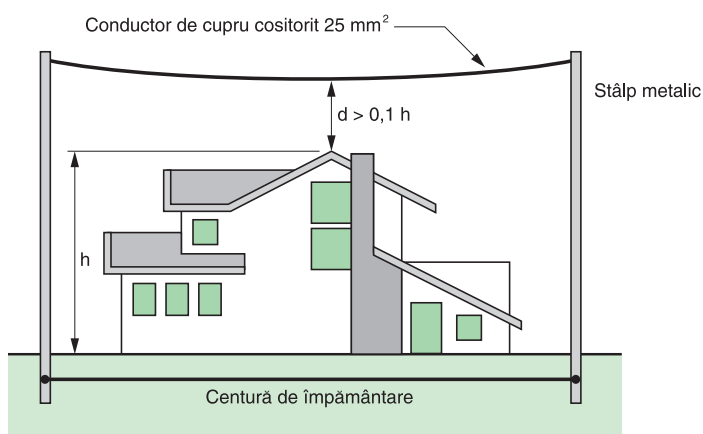


Fig. J9: Exemplu de paratrăsnet utilizând metoda conductorului orizontal.

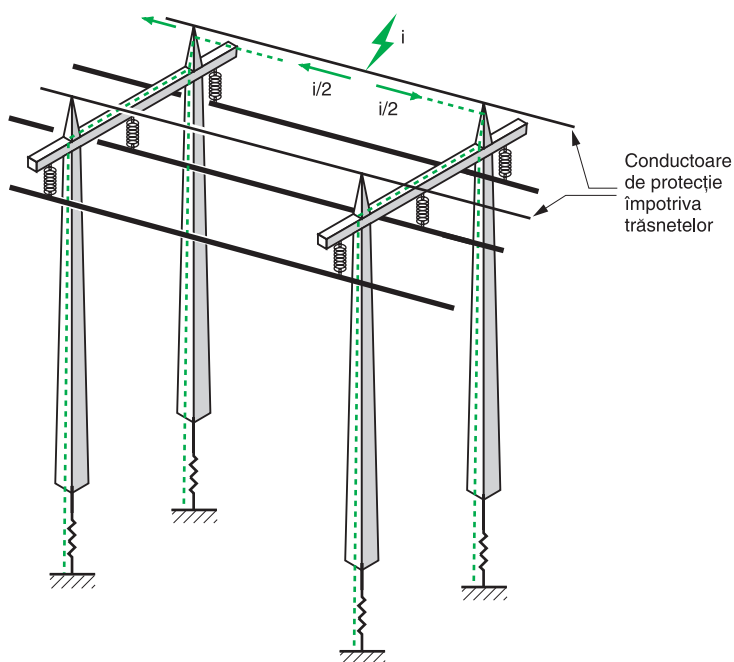


Fig. J10: Exemplu de protecție a LEA utilizând conductoare de gardă.

2 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor

Dispozitivele de protecție primară împotriva trăsnetelor precum conductoarele orizontale sau zăbrelele metalice sunt utilizate pentru protecția împotriva loviturilor directe de trăsnet. Aceste dispozitive de protecție nu previn apariția efectelor secundare distructive asupra echipamentelor. De exemplu creșterea potențialului pământului sau inducția electromagnetică datorată scurgerii curentului către pământ. Pentru reducerea efectelor secundare în rețelele telefonice și electrice trebuie să se monteze descărcători de joasă tensiune.

Zăbrele metalice (cușca Faraday)

Principiul este utilizat pentru clădiri foarte sensibile adăpostind calculatoare sau producție de circuite integrate. El constă în multiplicarea simetrică a numărului de coborâri pe exteriorul clădirii. Se adaugă legături orizontale suplimentare dacă clădirea este înaltă; de exemplu la fiecare două etaje (vezi Fig. J11). Conductoarele verticale sunt legate la pământ și între ele. Rezultatul este o serie de zăbrele de 15 x 15 m sau 10 x 10 m. Aceasta înseamnă o legătură echipotențială mai bună a clădirii care divizează curenții de trăsnet, reducând considerabil câmpul electromagnetic și inducția.

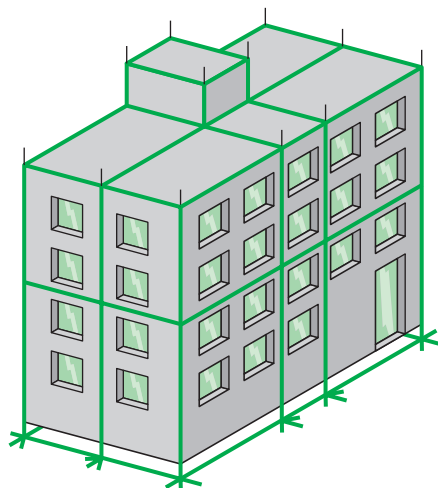


Fig. J11: Exemplu de protecție a unei clădiri utilizând principiul zăbrelelor metalice (cușca Faraday).

J8

Dispozitivele de protecție secundară sunt clasate în două categorii: dispozitive de protecție montate în serie și dispozitive de protecție montate în paralel. Dispozitivele de protecție montate în serie sunt specifice unor sisteme sau aplicații. Dispozitivele de protecție montate în paralel sunt utilizate pentru rețele electrice, rețele telefonice, rețele de comandă.

2.2 Dispozitive de protecție secundară (protecția instalațiilor interioare împotriva trăsnetului)

Acestea tratează efectele supratensiunilor tranzitorii atmosferice, de comutație sau de frecvență industrială. Ele pot fi clasificate după felul în care sunt conectate în instalații: în serie sau în paralel.

Dispozitivele de protecție conectate în serie

Acestea sunt conectate în serie cu conductoarele electrice ale sistemului care trebuie protejat (vezi Fig. J12).

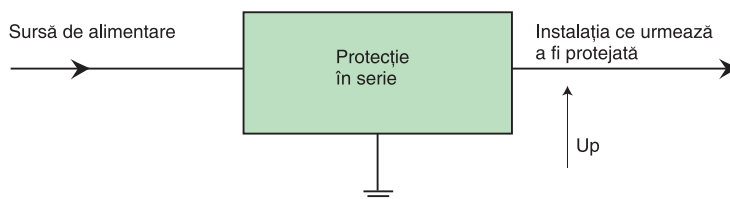


Fig. J12: Principiul protecției în serie.

Transformatoarele

Acestea reduc vârfurile de tensiune prin efectul inducției și elimină câteva armonici datorită modului de realizare a conexiunilor. Această protecție nu este foarte eficientă.

Filtrele

Bazate pe componente precum rezistențe, inductanțe sau condensatori, ele sunt potrivite împotriva supratensiunilor de comutație sau a celor de frecvență industrială, corespunzătoare unei benzi de frecvență bine definită. Aceste protecții nu sunt potrivite pentru perturbații atmosferice.

2 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor

Amortizoare de undă

Sunt fabricate în principiu din bobine în aer care limitează supratensiunile și descărcători care absorb curenții. Ele sunt potrivite pentru protejarea electronicii sensibile sau a computerelor, acționând numai asupra supratensiunilor. Totuși aceste aparate sunt masive și scumpe.

Condiționerele de rețea și sursele neîntreruptibile statice (UPS)

Aceste dispozitive sunt utilizate pentru protecția echipamentelor sensibile precum calculatoarele, care solicită energie de cea mai bună calitate. Ele pot fi folosite pentru reglajul frecvenței și tensiunii, eliminarea interferențelor și asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică, chiar în cazul dispariției tensiunii (pentru UPS).

Pe de altă parte, aceste dispozitive nu oferă protecție împotriva supratensiunilor atmosferice și, deci, este în continuare necesară utilizarea descărcătorilor.

Dispozitivele de protecție conectate în paralel

Principiu

Dispozitivele de protecție conectate în paralel se adaptează la instalația ce urmează a fi protejată (vezi **Fig. J13**).

Este protecția la supratensiune cel mai des folosită.

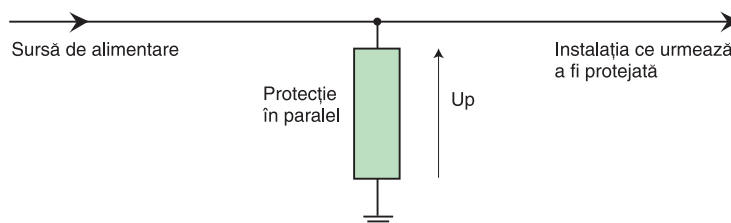


Fig. J13: Principiul protecției în paralel.

Principalele caracteristici

- Tensiunea nominală a dispozitivului de protecție trebuie să corespundă tensiunii rețelei la bornele dispozitivului: 230/400 V.
- Dacă nu există supratensiuni prin dispozitiv nu se va scurge nici un curent către pământ.
- La apariția unei supratensiuni de o valoare mai mare decât un prag reglabil în instalația ce urmează a fi protejată, dispozitivul de protecție conduce supratensiunea la pământ limitând tensiunea la nivelul de protecție dorit U_p (vezi **Fig. J14**).

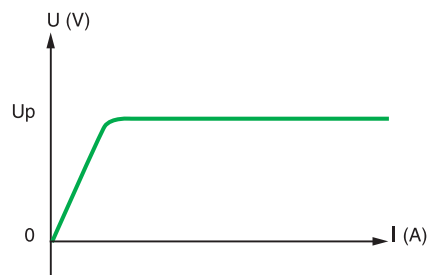


Fig. J14: Curbă tipică U/I a unui dispozitiv de protecție ideal.

Când supratensiunea dispare, dispozitivul de protecție nu mai conduce și se reîntoarce la starea inactivă. Aceasta este caracteristica ideală tensiune/curent:

- timpul de răspuns al dispozitivului de protecție (t_r) trebuie să fie cât de scurt posibil, pentru protecția cât mai rapidă a instalației;
- dispozitivul de protecție trebuie să aibă capacitatea de a conduce energia prezizibilă a supratensiunilor ce ar putea să apară;
- descărcătorul trebuie să reziste la curentul nominal I_n .

2 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor

Produsele utilizate

■ Limitatoare de tensiune

Sunt utilizate în posturile de transformare MT/JT la bornele JT ale transformatorului în schema de tratare a neutrului IT. Ele pot conduce supratensiunile tranzitorii către pământ, în special cele de frecvență industrială (vezi **Fig. J15**).

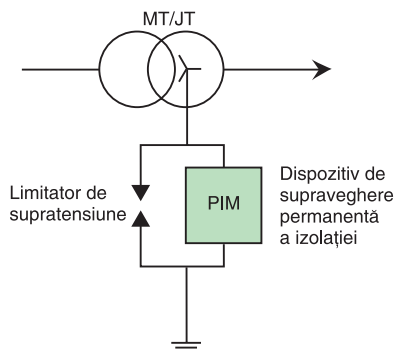


Fig. J15: Limitator de tensiune.

■ Descărcătoare de JT

Acest termen desemnează dispozitive foarte diferite, în funcție de tehnologia constructivă aplicată. Descărcătoarele de JT le găsim sub formă de module gata de instalat în dulapurile de distribuție de JT. Pot fi debroșabile și pot proteja doar puncte specifice. Ele asigură protecție secundară elementelor vecine dar capacitatea de scurgere este destul de mică. Există variante înglobate în receptoarele electrice care însă nu pot proteja împotriva supratensiunilor puternice.

■ Descărcătoare de JT pentru curent redus

Acestea protejează liniile telefonice sau de comunicație împotriva supratensiunilor atmosferice și de comutație. Și acestea sunt instalate în cutii de distribuție sau înglobate în receptoarele electrice.

3 Standarde

3.1 Descrierea unui descărcător

Un descărcător este un dispozitiv care limitează supratensiunile tranzitorii și conduce curenții la pământ pentru a reduce amplitudinea supratensiunilor la o valoare nepericuloasă pentru instalațiile și echipamentele electrice. Descărcătorii conțin componente neliniare cum ar fi de exemplu varistorii.

Descărcătorii elimină supratensiunile propagate:

- în modul obișnuit: fază/pământ sau neutru/pământ;
- în modul diferențial: fază/neutru.

Când tensiunea depășește pragul U_c , descărcătorul conduce energia spre pământ în modul comun. În modul diferențial energia este direcționată către un alt dispozitiv conductor.

Descărcătoarele au o protecție termică internă, care protejează împotriva aprinderii la sfârșitul perioadei de viață. Gradual, de-a lungul funcționării normale, după câteva cicluri de funcționare, descărcătorul se degradează și se transformă într-un dispozitiv conductor. Un indicator inclus informează utilizatorul despre apropierea sfârșitului ciclului de exploatare.

Anumiți descărcători transmit aceste informații la distanță.

Protecția împotriva scurtcircuitelor este asigurată de către întreruptorul automat extern.

3.2 Standarde de produs

Standardul internațional CEI 61643-1

Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor conectate la rețelele de distribuție.

Acest standard recent (2002) este bazat pe trei standarde de produs: VDE0675, NF C 61740/95 și UL1449. Sunt definite trei clase:

- Clasa 1 de test: dispozitivele conduc curentul de descărcare nominal (I_n), impulsuri de forma 1,2/50 și curentul de impuls I_{imp} ;
- Clasa 2 de test: dispozitivele conduc curentul de descărcare nominal (I_n), impulsuri de forma 1,2/50 și curentul de descărcare I_{max} ;
- Clasa 3 de test: dispozitivele conduc impulsuri de forma 1,2/50 sau 8/20.

Cele trei clase de test nu pot fi comparate, fiecare având originea în altă țară, cu propriile specificații. Fiecare fabricant se referă la una din cele trei clase.

3.3 Datele tehnice ale unui descărcător în conformitate cu standardul CEI 61643-1

■ **Descărcător (SPD, Surge Protection Device):** dispozitiv care trebuie să limiteze supratensiunile tranzitorii și să conducă curenții de scurgere. Ei conțin cel puțin o componentă neliniară.

■ **C clasele de test:** clasificarea descărcătorilor după clasa de testare.

■ I_n : curentul de descărcare nominal, reprezintă valoarea de vârf a impulsului de curent având forma de undă de 8/20 μs , care circulă prin descărcător. Este utilizat în clasificarea descărcătorilor pentru clasă 2 de test și pentru condiții inițiale pentru clasa 1 și 2 de test.

■ I_{max} : curentul de descărcare pentru clasa 2 de test, este valoarea de vârf a curentului cu o formă de undă de 8/20 μs care circulă prin descărcător și cu o magnitudine conformă cu secvența de test operațional pentru clasa 2; I_{max} este mai mare decât I_n .

■ I_c : curentul de scurgere sau curentul de operare permanent, este curentul care se scurge prin descărcător atunci când este alimentat la tensiunea operațională de ținere (U_c) pentru fiecare mod. I_c corespunde sumei curenților care circulă prin descărcător și prin celelalte circuite în paralel cu acesta.

■ I_{imp} : curentul de impuls, este definit utilizând un curent de vârf ($I_{vârf}$), și sarcina "Q" și testată în conformitate cu secvența de test operațional. Este utilizat pentru clasificarea descărcătorilor pentru clasă 1.

■ U_n : tensiunea nominală a rețelei; este tensiunea de referință care definește rețeaua, exemplu 230/400 V pentru o rețea trifazică. Este utilizată de asemenea tensiunea fază-nul, notată U_0 ; valoarea U_0 este necesară la alegerea U_c .

■ U_c : tensiunea de ținere permanentă, este valoarea efectivă maximă care poate fi aplicată permanent descărcătorului; este egală cu tensiunea nominală.

■ U_p : tensiunea de protecție, este un parametru care caracterizează funcționarea descărcătorului prin limitarea tensiunii la bornele sale la o valoare aleasă; această valoare va fi mai mare decât valoarea maximă obținută la măsurarea tensiunii limitate.

Valorile comune pentru o rețea de 230/400 V sunt:

1 kV – 1,2 kV – 1,5 kV – 1,8 kV – 2 kV – 2,5 kV.

■ U_{res} : tensiunea reziduală, valoarea de vârf a tensiunii care apare la bornele descărcătorului în timpul procesului de trecere a curentului.

Descărcătorul este caracterizat prin U_c , U_p , I_n și I_{max} (vezi **Fig. J16**).

■ Pentru a testa descărcătorii fiecare țară a definit unde de curent și tensiune specifice:

□ impuls de tensiune, exemplu pentru România: 1,2/50 μs (vezi **Fig. J17**).

□ impuls de curent, exemplu pentru România: 8/20 μs (vezi **Fig. J18**).

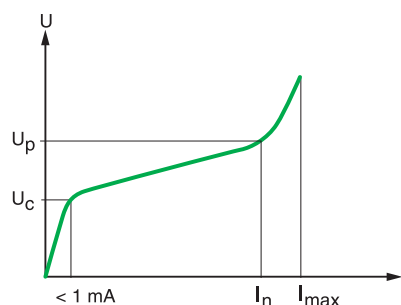


Fig. J16: Caracteristica tensiune/curent.

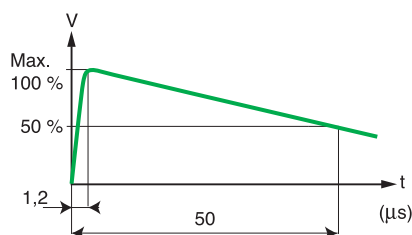


Fig. J17: Impuls de 1,2/50 μs .

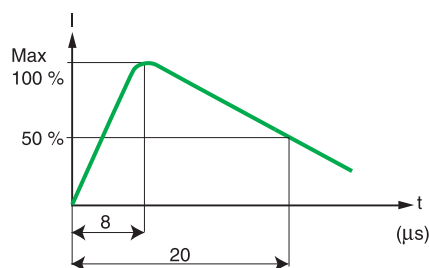


Fig. J18: Impuls de 8/20 μs .

□ alte impulsuri posibile, exemplu 4/10 μs , 10/1000 μs , 10/350 μs ...

Comparația și testele asupra descărcătorilor trebuie să se facă cu aceeași formă de undă astfel încât rezultatele să fie relevante.

3.4 Standarde de instalare ale descărcătoarelor

■ **Internațional:** CEI 61643-12, principii de selecție și montaj

■ **Internațional:** CEI 60364, instalații electrice în clădiri

□ CEI 60364-4-443: protecție pentru garantarea securității

Atunci când instalația este alimentată sau conține o linie electrică aeriană, trebuie prevăzut un dispozitiv de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice dacă indicele keraunic al amplasamentului este suficient de ridicat ($N_k > 25$ de zile pe an cu furtuni)

□ CEI 60364-4-443-4: alegerea echipamentului pentru instalații

Această secțiune ajută la alegerea nivelului de protecție U_p pentru descărcători în funcție de receptoarele ce urmează a fi protejate. Tensiunea nominală a dispozitivelor de protecție reziduală nu trebuie să fie mai mare decât valoarea corespunzătoare categoriei a 2-a (vezi **Tab. J19**).

Tensiunea nominală a instalației ⁽¹⁾ V		Tensiunea nominală de impuls recomandată pentru kV			
Rețea trifazată ⁽²⁾	Rețea monofazată cu punct median	Echipament în apropierea sursei (tensiune de ținere categoria 4)	Echipament de distribuție (tensiune de ținere categoria 3)	Echipament de utilizare (tensiune de ținere categoria 2)	Echipament protejat individual (tensiune de ținere categoria 1)
-	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/440 ⁽²⁾	-	6	4	2,5	1,5
277/480 ⁽²⁾	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1.000	-	Valori sugerate de inginerii de sistem			

Tab. J19: Alegerea echipamentului pentru instalații conform CEI 60364.

□ CEI 60364-5-534: alegerea și montarea echipamentului electric

Această secțiune descrie condițiile de instalare ale descărcătoarelor:

- **în funcție de sistemul de tratare al neutrului:** tensiunea de ținere permanentă U_c pentru un descărcător trebuie să nu fie mai mică decât tensiunea de funcționare maximă la bornele sale.

În sistemele TT, dacă descărcătorul este pe partea sarcinii a unui RCD (dispozitiv de curent diferențial rezidual), U_c trebuie să fie egal cu $1,5 U_0$.

În sistemele TN și TT, dacă descărcătorul este pe partea alimentării a unui RCD (dispozitiv de curent diferențial rezidual), U_c trebuie să fie cel puțin egal cu $1,1 U_0$.

În sistemele IT, U_c trebuie să fie cel puțin egală tensiunea fază-fază U .

U_0 este tensiunea rețelei (între fază și neutru) în rețelele IT, deci valori mai mari ale U_c pot fi necesare.

- **în amonte la instalație:** dacă descărcătorul este instalat în apropierea sursei instalației electrice alimentate din rețeaua electrică de distribuție publică, curentul nominal de descărcare trebuie să fie mai mic de 5 kA.

Dacă descărcătorul este instalat în aval de un dispozitiv de protecție reziduală de tip S, descărcătorul trebuie să fie imun la un impuls de curent mai mic de 3 kA (8/20 μ s).

- **în prezența conductoarelor de paratrăsnet:** dacă este instalat un descărcător, trebuie aplicate specificații adiționale pentru descărcători (vezi CEI 61024-1 și CEI 61312-1).

(1) Conform standardului CEI 60038.

(2) În SUA și Canada, pentru tensiuni mai mari decât 300 V față de pământ, se utilizează tensiunea din rândul de jos.

4 Alegerea unui dispozitiv de protecție

4.1 Evaluarea riscului supratensiunilor pentru instalația de protejat

Pentru a determina tipul de protecție la supratensiune necesar unei anumite instalații propunem următoarea metodă de evaluare a riscului. Ea ia în considerare criterii specifice amplasamentului pe de o parte și caracteristici ale receptorilor din instalația ce urmează a fi protejată pe de altă parte.

Principiu general

Următoarele elemente trebuie luate în considerare atunci când evaluăm riscul:

- riscul ca zona să fie lovită de un trăsnet;
- tipul de rețea de distribuție electrică sau tipul de rețea telefonică;
- topografia zonei;
- prezența unui conductor de paratrăsnet;
- echipamentul ce urmează a fi protejat;
- supratensiunile de comutație.

Utilizând aceste elemente se pot genera două diagnostice: ale receptoarelor ce urmează a fi protejate și a zonei ce urmează a fi protejate.

Diagnosticul receptoarelor ce urmează a fi protejate

Sunt date în formula următoare:

$R = S + C + I$ (vezi **Tab. J20**).

Unde:

- R: riscul receptoarelor
- S: sensibilitatea echipamentului
- C: costul echipamentului
- I: consecințele indisponibilității echipamentului

■ Sensibilitatea echipamentului

Este definită în funcție de ținerea la impuls de tensiune a echipamentului ce urmează a fi protejat (U_i):

S = 1	S = 2	S = 3
Echipament cu ținere la impuls importantă (4 kV)	Echipament cu ținere la impuls normală (2,5 kV)	Echipament cu ținere la impuls mică (1,5 kV)
Dulapuri de distribuție, prize industriale, motoare, transformatoare	Toate electrocasnicele, frigidere, cuptoare, mașini de spălat vase, unelte portabile	Echipamente cu circuite electronice, televizoare, sisteme audio, computere și telecomunicații

■ Costul echipamentului

C = 1	C = 2	C = 3
Cost redus < 2 kUS\$	Cost mediu 2 la 20 kUS\$	Cost ridicat > 20 kUS\$

■ Indisponibilitatea echipamentului și consecințele

Se poate accepta:

I = 1	I = 2	I = 3
Întreruperea totală a funcționării (consecințe financiare reduse)	Întreruperea parțială a funcționării (consecințe financiare acceptabile)	Fără întreruperea funcționării (consecințe financiare inacceptabile)

Tab. J20: Calculul riscului receptoarelor $R = S + C + I$.

4 Alegerea unui dispozitiv de protecție

Diagnosticul amplasamentului ce urmează a fi protejat

Este dat de următoarea formulă:

$$E = N_g(1 + LV + MV + d) \text{ (vezi Fig. J21)}$$

Unde:

N_g : densitatea loviturilor de trăsnet (numărul loviturilor/km²/an)

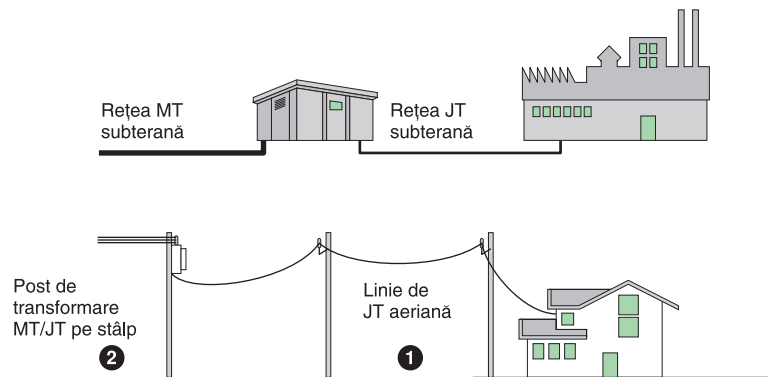
Aceasta poate fi obținută consultând o hartă furnizată de serviciul meteorologic.

Dacă dispuneți de indicele keraunic N_k (numărul de zile pe an în care este auzit tunetul) trebuie să știți că $N_g = N_k/20$

LV: lungimea în km a rețelelor electrice aeriene de JT ce alimentează instalația

MV: parametru depinzând de rețeaua de medie tensiune ce alimentează postul de transformare MT/JT

d: coeficient care ia în considerare locația liniilor aeriene și instalațiile.



LV: lungimea în km a rețelelor electrice aeriene (conductor sau torsadat) ce alimentează instalația

LV = 0	LV = 0,2	LV = 0,4	LV = 0,6	LV = 0,8	LV = 1
Subteran sau torsadat	L = 100 la 199 m	L = 200 la 299 m	L = 300 la 399 m	L = 400 la 499 m	L > 500 m

Lungimea liniei aeriene de JT ①

MV: parametru depinzând de rețeaua de medie tensiune ce alimentează postul de transformare MT/JT

MV = 0	MV = 1
Post de transformare MT/JT cu alimentare subterană	Post de transformare MT/JT cu alimentare în principal aeriană ②

d: coeficient care ia în considerare locația liniilor aeriene și instalațiile

d	d = 0	d = 0,5	d = 0,75	d = 1
Clădiri, linii MT, JT telefonice	Înconjurate de structuri	Câteva structuri în jur	Teren deschis sau plat	Pe un vârf, lângă apă, în zonă montană, lângă un conductor de paratrăsnet

Fig. J21: Structura rețelei de alimentare de JT, $E = N_g(1 + LV + MV + d)$.

Supratensiunile de comutație

Descărcătorii instalați pentru protejarea instalațiilor împotriva supratensiunilor atmosferice pot proteja și împotriva supratensiunilor de comutație.

Conductorul de paratrăsnet

Riscul apariției supratensiunilor într-o zonă este mai mare dacă există un conductor mai înalt de 50 de metri sau o clădire în zonă.

Notă: O structură care este mai înaltă de 20 de metri precum coșurile de fabrică, copaci, stâlpi au același efect ca un conductor de paratrăsnet.

Standardul EN 61024-1 solicită instalarea unui descărcător în tabloul electric principal, dacă zona care urmează a fi protejată include o instalație de paratrăsnet.

4 Alegerea unui dispozitiv de protecție

4.2 Alegerea capacității de scurgere a unui descărcător (pentru o rețea de JT)

După obținerea riscurilor pentru receptoare (R) și pentru amplasament (E), poate fi determinată capacitatea de scurgere I_{\max} (formă de undă 8/20) pentru un descărcător de JT:

■ **Protecția pe sosire** (vezi Tab. J22)

■ **Protecția secundară**

În cele două cazuri care urmează o protecție secundară prin descărcători este necesară:

□ dacă nivelul de protecție (U_p) este prea mare față de tensiunea de ținere la impuls U_{soc} ,

□ dacă un echipament sensibil este la o distanță mai mare de 30 de metri față de descărcătorul instalat pe sosire.

În acest caz un descărcător de 8 kA trebuie instalat într-un tablou secundar și în apropiere de sarcinile sensibile.

	I = 1	I = 2	I = 3
R = 8 sau 9	30 - 40 kA	65 kA	65 kA
R = 6 sau 7	15 kA ⁽¹⁾	30 - 40 kA	65 kA
R ≤ 5	15 kA ⁽¹⁾	15 kA ⁽¹⁾	30 - 40 kA

Tab. J22: Alegerea capacității de scurgere a unui descărcător.

4.3 Alegerea descărcătorului în funcție de sistemul de tratare a neutrlui (vezi Tab. J23)

Tratarea neutrlui	TT	TN-S	TN-C	IT
Valoarea U_c în modul obișnuit (fază-pământ, neutru-pământ)	$\geq 1,5 U_o$	$\geq 1,1 U_o$	$\geq 1,1 U_o$	$\geq 1,732 U_o$
Valoarea U_c în modul diferențial (fază-neutru)	$\geq 1,1 U_o$ 15 kA ⁽¹⁾	$\geq 1,1 U_o$ 30-40 kA		$\geq 1,1 U_o$

U_o : tensiunea rețelei între fază și neutru (230/240 V).

U_c : tensiunea de ținere în regim permanent.

Tab. J23: Valorile U_c conform standardului internațional CEI 60364-5-534.

Alegerea descărcătorilor în funcție de sistemul de tratare a neutrlui.
Oferta Merlin Gerin: PRD-PF-PE

Tratarea neutrlui	TT	TN-S	TN-C	IT neutru distribuit	IT neutru nedistribuit
U_c (rețea) Tensiunea completă	345/360 V	345/264 V	253/264 V	380/415 V	380/415 V
Descărcători debroșabili					
CM $U_c = 275$ V			1P		
CM $U_c = 440$ V			3P		3P
CM/DM $U_c = 440/275$ V	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
Descărcători în montaj fix					
PF30 - 65 kA					
CM $U_c = 440$ V	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
PF8 - 15 kA					
CM/DM $U_c = 440/275$ V	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
PE					
CM $U_c = 440$ V			1P 3 x 1P		3 x 1P

Completați alegerea cu următoarele elemente:

- dacă este necesar, transmiterea la distanță a stării de uzură a descărcătorului;
- un întrerupător automat pentru protejarea și deconectarea descărcătorului.

(1) Riscul este scăzut, oricum dacă se dorește instalarea unui descărcător este recomandat modelul cu $I_{\max} = 15$ kA.

4 Alegerea unui dispozitiv de protecție

4.4 Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului (vezi Tab. J24)

După alegerea descărcătoarelor necesari pentru protecția instalației, întreruptorul automat pentru protejarea descărcătoarelor poate fi ales utilizând tabelul de mai jos:

- capacitatea de rupere trebuie să fie compatibilă cu curentul de scurtcircuit din instalație;

- fiecare conductor activ trebuie protejat, exemplu un descărcător 1P+N trebuie asociat cu un întreruptor automat bipolar (doi poli protejați).

Curentul de scurgere max. pentru descărcător	Întreruptor automat	
	Calibru	Curbă
8-15-30-40 kA	20 A	C
65 kA	50 A	C

Tab. J24: Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului.

Capitolul K

Eficiența energetică în distribuția electrică

Cuprins

1	Introducere	K2
2	Eficiența energetică și electricitatea	K3
	2.1 Lumea este acum pregătită pentru programe și acțiuni legate de eficiența energetică	K3
	2.2 O nouă provocare: date electrice	K4
3	Un proces, câțiva participanți	K5
	3.1 Eficiența energetică necesită o abordare antreprenorială	K5
	3.2 Studii de competitivitate economică	K6
	3.3 Variatele profiluri și misiuni ale participanților din cadrul companiei	K8
4	De la măsurători electrice la informații electrice	K10
	4.1 Achiziția valorilor fizice	K10
	4.2 Date electrice pentru obiective reale	K11
	4.3 Măsurătorile încep cu produse autonome cu funcții de măsură suplimentare	K13
5	Sistem de informare și comunicare	K16
	5.1 Rețeaua de comunicație la nivelul produsului, echipamentului și amplasamentului	K16
	5.2 De la sistemul de control și monitorizare rețea până la echipamentul de putere inteligent	K19
	5.3 Suportul web (e-suport) devine accesibil	K21

1 Introducere

Anumite informații din acest capitol sunt preluate din ghidul publicat de Carbon Trust (www.carbontrust.co.uk) GPG119 și GPG231.

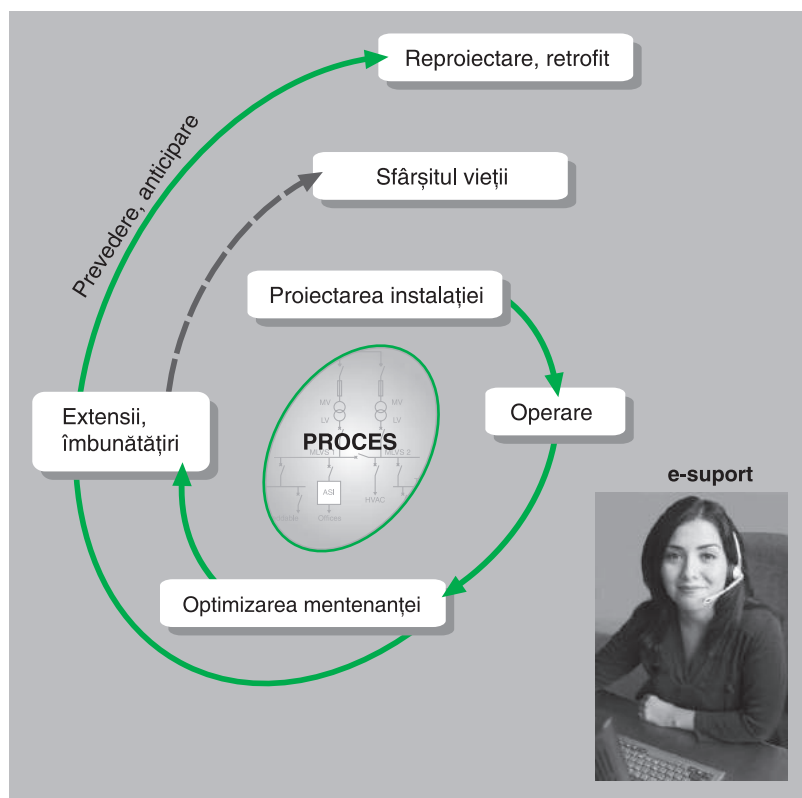
Sistemele de control și monitorizare a energiei pot aduce un mare beneficiu pentru proprietarul rețelei electrice ca și componenta strategică în abordarea globală "Eficiența Energetică".

Costul total al deținerii (TCO, Total Cost of Ownership) unei rețele electrice include nu numai investiția inițială în echipament ci și performanțele economice în operare. Responsabilul cu securitatea muncii, responsabilul cu consumul de energie, șeful electrician sau managerul administrativ al locației sunt cu toții din ce în ce mai interesați. Profilul variază, dar o parte din munca tuturor acestor oameni include managementul atent al consumului de electricitate, condițiile de achiziție a electricității și rețeaua care o distribuie.

Mai puține întreruperi costisitoare pentru afacerile companiei, mai puțin consum nejustificat, operații de mentenanță reduse la necesarul corect, acestea sunt obiective ce implică decizii pentru care este util un sistem de "Eficiența Energetică" capabil să furnizeze date oricărei persoane ce are nevoie de ele, indiferent de profil. Astăzi apropiindu-ne de abordarea "Eficiența Energetică" nu înseamnă să creăm un sistem complex și costisitor. Câteva caracteristici simple sunt cu adevărat abordabile cu o eficiență foarte bună deoarece ele sunt incluse ca funcțiuni direct în echipamentul de putere.

Odată ce o instalație electrică este echipată cu funcții de măsură, ea poate utiliza mediul de comunicație Intranet al utilizatorului. Operațiile adiționale nu necesită aptitudini specifice sau training, ci doar un software "License Free" cum ar fi un browser Internet.

Evolutivitatea sau e-serviciile prin Internet sunt de asemenea o realitate de astăzi, bazate pe noile tehnologii derivate din lumea comunicațiilor și biroticii. Decizia de a profita de aceste noi posibilități poate fi în viitor din ce în ce mai mult un factor de diferențiere.



2 Eficiența energetică și electricitatea



2.1 Lumea este acum pregătită pentru programe și acțiuni legate de eficiența energetică

Prima mare mișcare a fost inițiată de protocolul de la Kyoto din 1997, reînnoit în 2006. Această extrem de cunoscută înțelegere cere țărilor semnatare o reducere colectivă a emisiilor de gaze ce provoacă efectul de seră cu o medie anuală de aproximativ 5 procente sub nivelul din 1990 pe perioada 2008-2012.

Protocolul este bazat pe trei mecanisme primare de piață.

- Mecanismul de dezvoltare curată (Clean Development Mechanism, CDM), înțelegere pentru ca reducerile să fie “sponsorizate” și în țările fără obiective în reducerea emisiilor.

- Implementare reunită (Joint Implementation), program care permite țărilor industrializate să-și îndeplinească obiectivele privind reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin participarea la proiecte care reduc emisiile în alte țări.

- Tranzacționarea emisiilor, mecanism prin care o parte cu angajamente privind emisiile poate tranzacționa unități de emisie ce îi sunt permise cu altă parte pentru că emite mai puțin decât are dreptul. Aceasta este așa numita piață de carbon (carbon market).

În toate zonele geografice, la nivel de țară, regiune, federație s-au lansat programe, acțiuni, reglementări :

- reglementări și standarde întărite în Europa (vezi **Fig. K1**);
- proiecte și inițiative în Asia;
- programe dedicate în Statele Unite.



Fig. K1: Directiva consiliului parlamentului European 2006/32/CE datată 5 Aprilie 2006 relativ la Eficiența Energetică pentru utilizatori finali și servicii legate de energie.

ISO 14001 definește principiile și procesele necesare pentru reducerea permanentă a consumurilor de energie și a emisiilor poluante în orice organizație.

Motivațiile pentru dezvoltarea unor programe de eficiență energetică - în special pentru forma electrică a energiei - sunt din ce în ce mai puternice. Planul de eficiență energetică este acum o prioritate pentru un număr din ce în ce mai mare de companii:

- Clădirile sunt cel mai mare consumator de energie și o țintă prioritară;
- Deoarece costul energiei s-a dublat în ultimii trei ani, economiile de electricitate au devenit o sursă de productivitate semnificativă pentru industrie;
- Economia energiei este acum parte a angajamentului social al corporațiilor, pentru cele mai multe companii;
- Cum rețelele de producție și distribuție se află sub presiunea crescută a creșterii cererii și diminuării resurselor, disponibilitatea energiei este o problemă pentru industriile grav afectate de consecințele întreruperilor;
- Sectorul rezidențial este un sector cheie din ce în ce mai afectat.

2.2 O nouă provocare: date electrice

Toate caracteristicile dezvoltărilor curente conduc la apariția “Noii lumi electrice” în care considerațiile cheie vor fi:

- controlul riscurilor legate de întreruperile în alimentarea cu energie;
- restricțiile energetice sau eficiența și controlul costurilor; prețul MWh a crescut între 2003 și 2006 de la 30 la 60 € pentru piața europeană;
- sursele de energie regenerabile;
- mediul înconjurător și dezvoltarea durabilă.

Electricitatea va fi folosită mai inteligent și mai rațional pentru a contribui în egală măsură la competitivitatea companiilor, independența lor energetică și la protecția mediului. Noile reguli de bază obligă factorii de decizie din cadrul companiilor să aloce noi resurse și să investească în produse și servicii pentru a aborda astfel consumul de energie.

În particular înființarea unui sistem de informații global în cadrul companiei va permite datelor electrice să fie transmise și utilizate și controlate în timp real pentru (vezi Fig. K2):

- predicția indisponibilității rețelelor electrice;
- înregistrarea calității energiei electrice;
- optimizarea consumului pe clădire, sector, unitate, atelier, locație, evitarea consumului excesiv sau variațiilor anormale. Vom avea deci toate datele necesare pentru a face economii reflectate direct în factura de energie. Utilizatorii finali vor profita deci de avantajul monitorizării rețelei electrice pentru a evita pierderile și pentru a alimenta cu energie de calitate acolo unde este cu adevărat necesar;
- organizarea mentenanței echipamentelor electrice;
- o achiziție mai bună a energiei electrice și în anumite cazuri o mai bună revânzare.

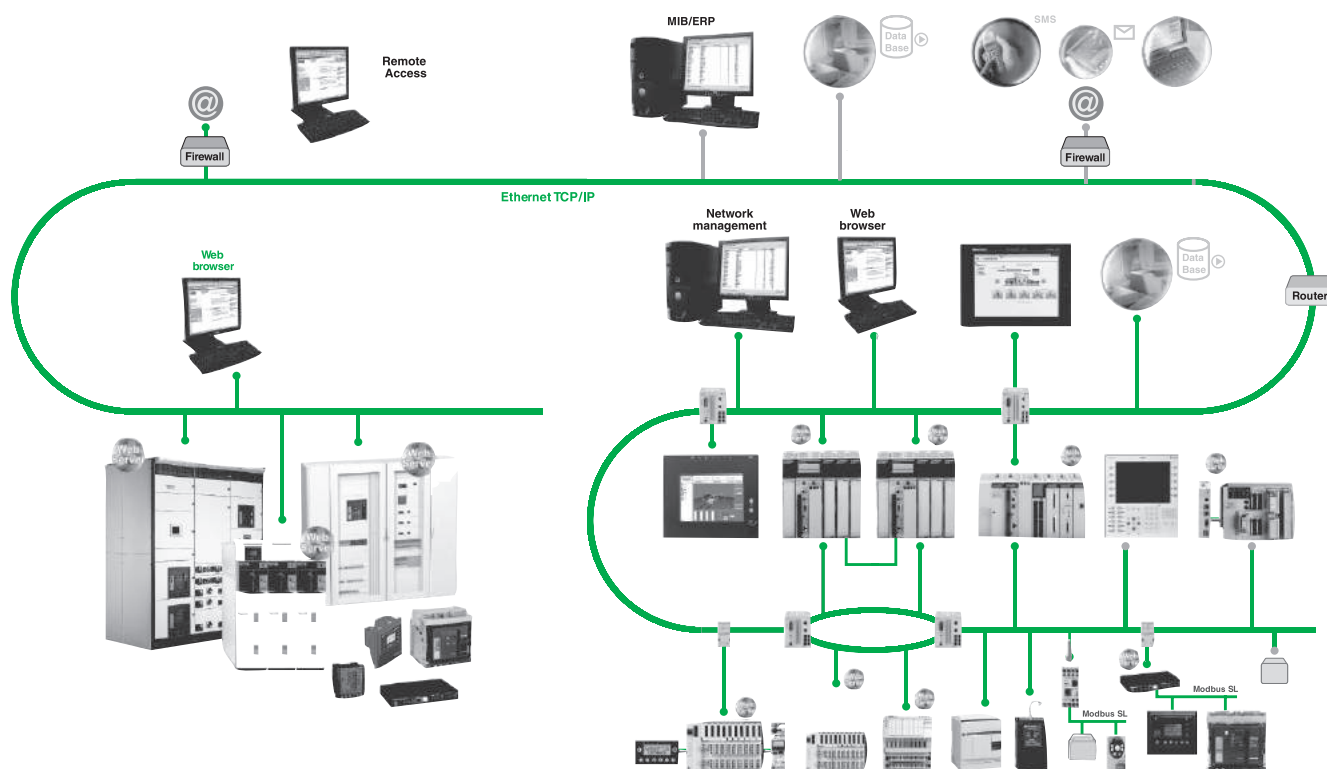


Fig. K2: Soluțiile Schneider Electric pentru controlul instalațiilor electrice.

3 Un proces, câțiva participanți

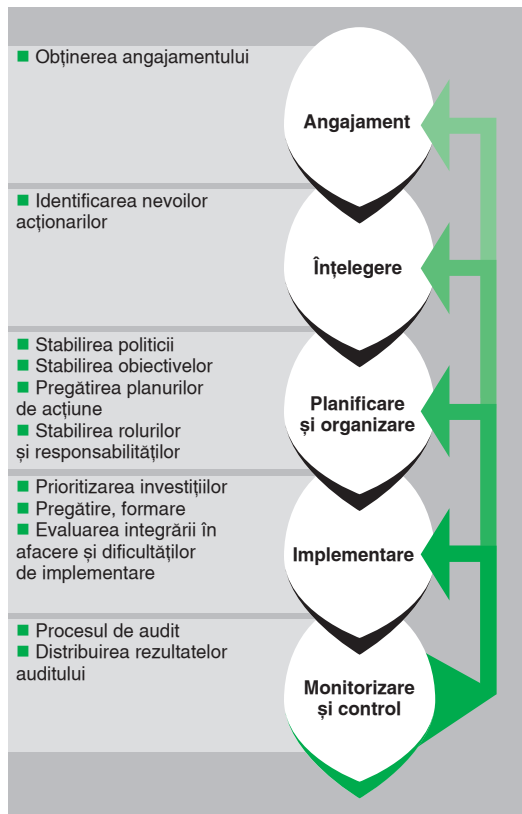


Fig. K3: O abordare pas cu pas pentru organizarea managementului energiei.

3.1 Eficiența energetică necesită o abordare antreprenorială

Un sistem de informații trebuie integrat în abordarea globală a companiei.

Următoarea abordare pas cu pas pentru organizarea managementului energiei (așa cum este arătată în Fig. K3) este o metodă structurată pentru conducerea proiectelor și atingerea rezultatelor. Poate fi aplicată atât în cazurile simple cât și în cele complicate și a dovedit în timp că este în același timp robustă și practică. Referitor la filozofia 6 Sigma - Definește, Măsoară, Analizează, Îmbunătățește, Controlează - nu poți îmbunătăți ceea ce nu măsori.

Obținerea angajamentului

Pentru a demara acțiuni în domeniul eficienței energetice este esențial sprijinul majorității persoanelor de decizie ale colectivului de conducere ca individualități și ca parte structurală a organizației.

Înțelegerea începe cu:

- studiul nivelurilor curente ale consumului de energie și costurilor aferente;
- examinarea modurilor în care energia este utilizată;
- stabilirea standardelor pentru consumul eficient de energie în organizație;
- analiza posibilității reducerii costurilor prin reducerea consumului așa încât să poată fi fixate obiective rezonabile;
- identificarea efectelor consumului de energie asupra mediului înconjurător.

Planificare și organizare

Primul pas ar trebui să fie elaborarea unei politici energetice adecvate organizației. Prin dezvoltarea și difuzarea acestei politici conducerea organizației arată angajamentul față de obiectivul excelenței în managementul energiei. Aceasta trebuie făcută în spiritul culturii organizației pentru a obține cel mai bun efect.

Implementare

Toți angajații ar trebui să fie implicați în implementarea politicii energetice. Oricum pentru a ușura o abordare structurată începutul se face prin a repartiza responsabilități speciale unor persoane sau grupuri.

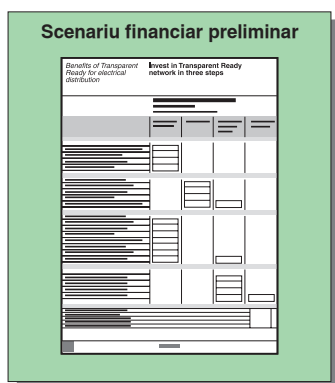
Control și monitorizare

Fiecare proiect trebuie să aibă un sponsor - o persoană sau un grup cu responsabilitate asupra ansamblului eforturilor de monitorizare și organizarea lor pentru obținerea rezultatelor așteptate. Încă o dată Sistemul de Informații legat de utilizarea energiei electrice și impactul său asupra activității de bază a companiei va susține acțiunile sponsorului.

Conducerea organizației trebuie să sublinieze importanța proiectelor prin solicitarea unor rapoarte regulate asupra progreselor obținute și prin publicarea și sprijinirea succeselor, ceea ce poate susține motivațiile și angajamentul individual.

Matricea managementului energiei:

Nivel	Politica energetică	Organizare	Motivare	Sistem de informații	Marketing	Investiții
4	Politica energetică, planuri de acțiune și revizii regulate cu angajamentul conducerii întreprinderii ca parte a strategiei de mediu	Managementul energiei deplin integrat în structura de conducere. Responsabilități clar delegate în ceea ce privește consumurile energetice	Canale de comunicare regulate, formale sau informale, folosite de managerul energetic și de echipa lui la toate nivelurile	Sistem cuprinzător de monitorizare consum, identificarea defectelor, relevarea economiilor și alocare buget	Suport marketing pentru valorile eficienței energetice și performanța managementului energetic în organizație și în afară	Discriminare pozitivă în favoarea soluțiilor "verzi" cu evaluarea detaliată a investițiilor cu ocazia construcțiilor noi sau renovărilor
2	Politica propusă de managerul energetic sau șeful departamentului electric neadoptată	Post de manager energetic, raportând unui comitet ad-hoc dar cu liniile directe și autoritatea neclară	Contacte cu principalii utilizatori prin comitete ad-hoc prezidate de responsabilul departamentului	Monitorizare și rapoarte bazate pe datele achiziționate. Responsabilii energetici sunt implicați în stabilirea bugetului	Câteva formări ad-hoc în domeniul eficienței energetice	Numai investiții utilizând criteriul amortizării rapide
0	Fără politică explicită	Fără management energetic sau fără delegare formală a responsabilităților pentru consumurile energetice	Fără contacte cu utilizatorii	Fără sistem de informații. Fără contabilizarea consumurilor energetice	Fără promovarea eficienței energetice	Fără investiții în creșterea eficienței energetice în imobil



3.2 Studii de competitivitate economică

Un sistem de informații asupra eficienței energetice legat de utilizarea electricității trebuie privit și din punct de vedere economic pentru a asigura îndeplinirea obiectivului de creștere a competitivității economice.

Studiul economic depinde în principal de alocarea unei valori financiare consumului de electricitate, pierderilor operaționale legate de indisponibilitatea energiei și costurilor de mentenanță, în scopul exploatării optime a instalației electrice.

Stadiu preliminar: evaluarea situației curente și efectuarea unui studiu financiar (Figura K4)

Nevoia unei instalații de măsură este justificată prin câștigurile pe care le poate genera. O soluție care acoperă întreaga instalație reprezintă o îmbunătățire majoră a competitivității companiei dar implică o echipă dedicată pentru exploatarea noilor capacități.

Exemplu:

Figura de mai jos este un exemplu pentru calculul amortizării investiției - disponibilă în format Excel pe www.trensparentready.com.

K6

Company data	00000	Automatic calculation	Contributing factors	Savings per Item	Savings / Investment per category	Total savings or investment
Background: your organisation's characteristics						
Annual revenues			100.000.000 €			
Net profit (%)			10 %			
Annual work hours (hours/day x days/week x weeks/year)			1.950 hrs			
Average hourly wage (loaded rate)			75 €			
Annual electrical energy costs			1.000.000 €			
Interest rate			15 %			
Corporate tax rate			30 %			
Annual energy cost savings potential						
Reduction in energy usage (% estimated)			10 %			
Reduction in energy usage				100.000 €		
Reduction in demand charges				20.000 €		
Power factor penalties avoided				20.000 €		
Energy billing errors avoided				5.000 €		
Energy costs allocated to tenants				0 €		
Annual energy cost savings				145.000 €		
Downtime cost avoidance potential						
Number of downtime events per year			2			
Hours of downtime per event			1,5 ore			
Hours to recovery per downtime event			2 ore			
Employees idled per downtime event			250			
Manufacturing employees required for line start-up			10			
IS employees required for computer system recovery			2			
Reduction in equipment replacements (e.g., transformers)				25.000 €		
Reduction in scrapped products or parts				50.000 €		
Corporate profit increase				15.385 €		
Increase in productive work hours				56.250 €		
Reduction in computer system recovery hours				600 €		
Reduction in manufacturing line start-up costs				3.000 €		
Annual downtime cost avoidance					150.235 €	
Operations & maintenance savings potential						
Employees assigned to manually read meters			3			
Employees assigned to maintenance			2			
Employees assigned to energy data analysis			2			
Activity-based costing savings (e.g., equipment or process removal)				50.000 €		
Equipment maintenance savings				10.000 €		
Automatic meter reading				7.875 €		
Fewer maintenance inspections				2.250 €		
Fewer hours for data analysis				10.500 €		
Operations & maintenance savings					80.625 €	
Total annual gross savings potential						375.860 €
Transparent Ready system investment						
Number of buildings where energy is to be managed			2			
Metering devices, main/critical feeders, per building			10			
Metering devices, non-critical feeders, per building			15			
Metering devices, simple energy usage, per building			15			
Device costs					125.000 €	
Software costs					15.000 €	
Computer equipment costs					8.000 €	
Installation					160.000 €	
Configuration					8.000 €	
Training					3.500 €	
Support contract					14.338 €	
Total system investment						333.838 €
ROI summary						
Invested capital						-333.838 €
Gross annual savings						375.860 €
Yearly depreciation						-66.768 €
Corporate tax						-112.758 €
Net annual savings (after taxes and depreciation)						196.334 €
Payback period (before tax & dep) (in months)						11
Payback period (after tax & dep) (in months)						20
Net present value						324.304 €
Discounted return on investment (NPV / Invested Capital)						97 %

Fig. K4: Exemplu pentru calculul amortizării investiției.

3 Un proces, câțiva participanți

Investiții în trei pași:

1 - Formulați prioritățile;

2 - Definiți mărimile electrice cheie;

3 - Selectați componentele.

Pasul 1 : formularea priorităților

Fiecare obiectiv industrial sau terțiar are propriile sale cerințe și o arhitectură de distribuție electrică specifică. În funcție de cerințele obiectivului se determină aplicația de eficiență energetică adecvată (**Tab. K5**):

Obiective	Aplicații
Optimizarea consumului	Alocarea costurilor
	Analiza utilizării energiei
	Pompe și ventilatoare pentru industrie și infrastructură Pompe și ventilatoare pentru clădiri
	Control iluminat
Optimizarea achiziției de energie	Reducerea vârfului de putere
	Optimizarea alimentării cu energie
	Subfacturarea
Îmbunătățirea eficienței echipelor însărcinate cu exploatarea instalațiilor electrice	Jurnal de evenimente și alarme de distribuție electrică
Îmbunătățirea disponibilității și calității energiei	Teleconducerea rețelei de distribuție electrică Automatizarea rețelei de distribuție electrică
Optimizarea activelor	Analiza statistică a utilizării echipamentului - Compensarea energiei reactive

Tab. K5: Obiective și aplicații.

Pasul 2 : definirea mărimilor electrice cheie

■ Odată ce am formulat prioritățile, putem defini mărimile electrice cheie ce trebuie incluse în sistemul de măsură.

■ Parametrii luați în considerare trebuie să permită detectarea unei perturbații sau a unui fenomen similar imediat după apariție, în alte cuvinte înainte să aibă un efect în detrimentul instalațiilor electrice și consumatorilor curenți.

■ Metoda include instalarea de dispozitive adecvate pe fiecare plecare implicată și într-un centru de coordonare în așa fel încât să existe o vedere de ansamblu asupra instalației. Oricum trebuie identificate consumatorii vitali pentru afacerile companiei și de asemenea procesele costisitoare pentru a fi luate în considerare ca informații în cadrul soluției.

Exemplu: Dacă aplicația este mare consumatoare de electricitate și nu prea sensibilă la calitate, sistemul de măsură implică produsele de măsură adecvate. În același sens o aplicație sensibilă din punct de vedere al calității energiei solicită produse de măsură diferite.

Pasul 3 : selecția componentelor

Pentru instalații existente: câteva din echipamentele dumneavoastră includ deja funcții de măsură.

Exemplu: Releele de protecție includ adesea funcții de măsură. Trebuie doar să stabiliți comunicația printr-o rețea serială Modbus către site-ul intranet.

3.3 Variatele profiluri și misiuni ale participanților din cadrul companiei

Punerea la punct a unui sistem de colectare a informațiilor va permite accesul la date importante ale echipamentelor electrice și trebuie să implice în egală măsură personalul IT și cel cu profil electric, care prin definiție se află în departamente diferite ale companiei (**Tab. K6** și **Fig. K7**).

Exemplu: Tabelul de mai jos arată câteva poziții într-un supermarket. Mai pot fi implicate și alte poziții cum ar fi Departamentul Administrativ, Șefii de ateliere sau Responsabilii tehnici.

Poziție	Dep.	Cunoștințe	Rol	Date afișate	Când?	Formatul datelor
Personal de securitate	Local	Fără cunoștințe tehnice electrice specifice	Siguranța persoanelor și a bunurilor	În camera centrală de securitate, pe ecran, prin cabluri, GSM sau rețeaua de date	Rar, în cazul unui eveniment	Ordine derivate din proceduri planificate în funcție de tipul de eveniment electric și de alarmele predefinite către responsabili.
Șeful compartimentului de întreținere	Local	Responsabil de buna funcționare a instalațiilor inclusiv cele electrice, vechime 3-8 ani în această poziție, bun tehnician cu nivel ridicat de autonomie în decizii. Deleagă problemele electrotehnice în afara organizației (de exemplu calculul reglajului protecțiilor)	Împreună cu echipa sa asigură funcționarea corectă a aparaturii în toate zonele (răcire, aer condiționat, electricitate, securitate, siguranța personalului, etc.). Prioritate o are disponibilitatea, din cauza superiorilor, de aceea el decide implicarea consultantilor externi și contribuie la proiectele de investiții	MMS/SMS, calculator, prin intranet, e-mail	Rar, la evenimente, consultări periodice ale rapoartelor, frecvente cereri de consultare a informațiilor	Datele sunt partajate cu echipa sa: - ecrane cu măsurători, asistență la interpretări posibile (limitări, etc.) - ecrane de consumuri (kWh și Euro) - evenimente cu marcă de timp - adresele subcontractorilor - schema monofilară a instalației, desene ale dulapurilor electrice, legături către instrucțiunile fabricantilor - date financiare utilizate în proiectele de investiții - indicatori de performanță electrică de completat
Responsabilul administrativ	Local	Competențe în conducerea corporativă ca și în conducerea executivă	Responsabilul cu centrul de profit. Asigură conformitatea cu procedurile pentru personal pe baza unei liste de verificări. Interesat de reducerea costurilor	Rapoarte economice	Lunar	Aspecte financiare incluzând consumul de electricitate, legătura între cifra de afaceri și consumul de electricitate, costul mentenanței rețelei electrice
Managerul de eficiență energetică din cadrul unei companii multinaționale	Sediu corporație	Responsabil achiziții negociază contracte globale de achiziție de energie	Responsabil de factura globală de energie a companiei ca sumă a filialelor, face comparații între entități	Rapoarte economice	Lunar	Date financiare inclusiv consumul de electricitate pentru fiecare din entități

Tab. K6: Diferitele poziții și misiuni ale participanților din cadrul companiei.

3 Un proces, câțiva participanți

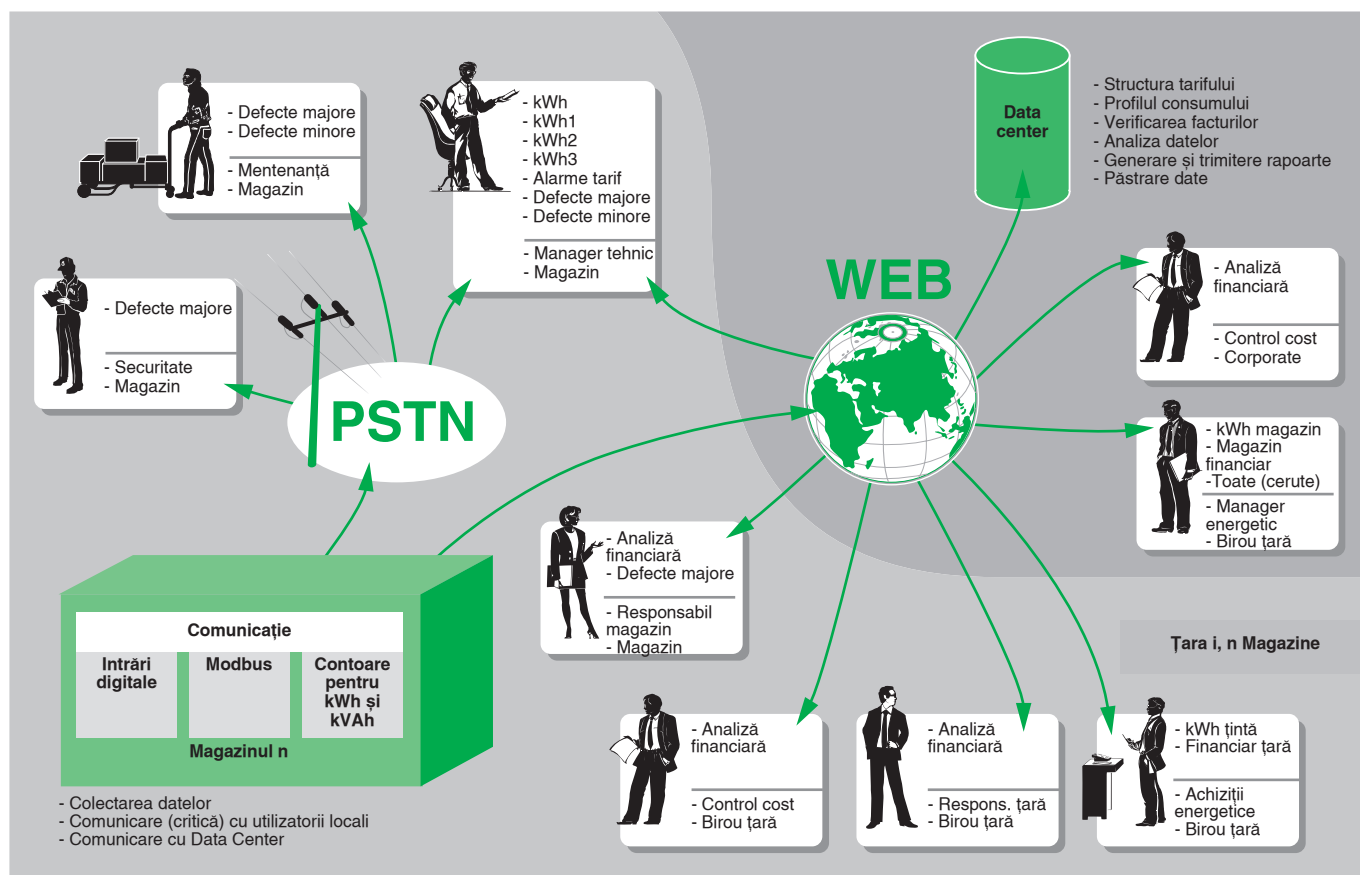


Fig. K7: Exemplu: Configurația unei rețele de complexe comerciale cu rolul mai multor participanți.

4 De la măsurători electrice la informații electrice

Performanțele de eficiență energetică în domeniul electricității pot fi explicate numai în termeni de mărimi fizice fundamentale - tensiuni, curenți, armonici, etc. Aceste măsurători fizice trebuie reprocesate pentru a deveni date digitale și apoi informații.

În formă brută datele nu sunt de mare folos. Din păcate mulți responsabili energetici s-au cufundat total în aceste date și văd colectarea și interpretarea datelor ca sarcina lor principală. Pentru a genera valoare din aceste date ele trebuie transformate în informații, (utilizate pentru suportul celor care supraveghează consumurile energetice) și înțelegere (utilizată pentru acțiuni în domeniul reducerii consumului).

Ciclul operațional este bazat pe patru procese: colectarea datelor, analiza datelor, comunicarea datelor și acțiune (vezi **Fig. K8**). Aceste elemente se aplică oricărui sistem de achiziție a informațiilor. Ciclul funcționează cu condiția ca o rețea de comunicații adecvată să fie funcțională.

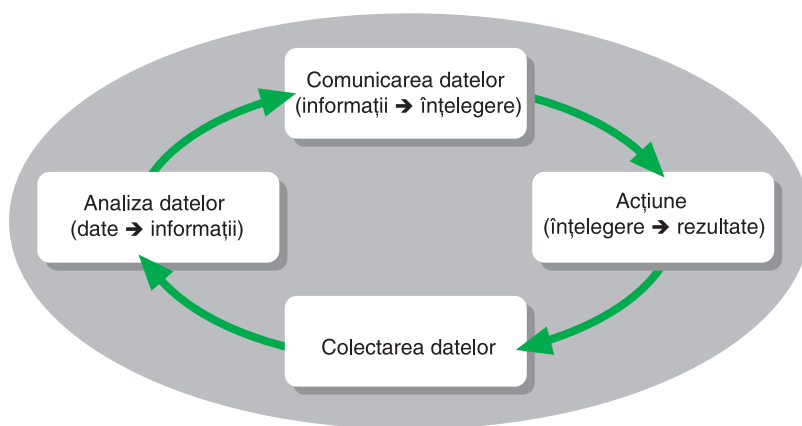


Fig. K8: Ciclul operațional.

Nivelul procesării datelor generează informații care pot fi înțelese la nivelul personalului; abilitatea interpretării datelor de către utilizator rămâne o provocare în sensul stabilirii deciziilor.

Datele sunt legate direct de receptorii care consumă electricitate (procese industriale, iluminat, aer condiționat, etc.) și de serviciile pe care acești receptori le aduc companiei (cantitate de produse manufacturate, confortul vizitatorilor unui supermarket, temperatura într-o camera frigorifică, etc.).

Sistemul de informații este apoi, gata să fie utilizat zilnic de cei interesați pentru a atinge obiectivele de eficiență energetică stabilite de conducătorii companiei.

K10

4.1 Achiziția valorilor fizice

Calitatea datelor începe de la măsurătoare: la locul potrivit, la timpul potrivit și în cantitatea potrivită. În principiu măsurătorile electrice se bazează pe tensiune și pe curentul ce trece prin conductori. Aceste valori ne conduc la toate celelalte: putere, energie, factor de putere, etc.

Mai întâi vom asigura coerența între clasa de precizie a transformatoarelor de curent, transformatoarelor de tensiune și precizia aparatelor de măsură. Clasa de precizie va fi mai mică la înaltă tensiune; o eroare de măsură la înaltă tensiune înseamnă foarte multă energie.

Eroarea totală este egală cu suma pătratică a fiecărei erori:

$$\sum \text{erorilor} = \sqrt{\text{eroare}^2 + \text{eroare}^2 + \dots + \text{eroare}^2}$$

Exemplu: un dispozitiv de măsură cu o eroare de 2% conectat la un TC cu eroare de 2% înseamnă:

$$\sum \text{erorilor} = \sqrt{(2)^2 + (2)^2} = 2,828\%$$

Aceasta poate însemna o pierdere de 2.828 kWh pentru 100.000 kWh consumați.

4 De la măsurători electrice la informații electrice

Un TC este definit prin:

- Raportul de transformare. De ex.: 50/5 A;
- Clasa de precizie Cl. De exemplu Cl = 0,5 cazul general;
- Puterea de precizie în secundar necesară pentru a alimenta cu energie dispozitivele de măsură din secundar. De exemplu 1,25 VA;
- Factorul limită de precizie indicat ca factor aplicat I_n înaintea saturației. De exemplu FLP (sau F_s) = 10 pentru dispozitive de măsură cu o putere de măsură conformă cu normele.



Unitate de măsură PM700.

Măsurarea tensiunii

La JT tensiunea se măsoară direct de către dispozitive de măsură. Atunci când nivelul de tensiune devine incompatibil cu caracteristicile dispozitivului (de exemplu la medie tensiune) trebuie să utilizăm transformatoare de tensiune.

Un TT (transformator de tensiune) este definit de:

- tensiunea primară și tensiunea secundară;
- puterea aparentă;
- clasa de precizie.

Măsurarea curentului

Măsurarea curentului este executată de transformatoare de curent (TC) cu miez despăcat sau miez continuu, plasate în jurul fazelor și în jurul neutrului acolo unde este cazul. În concordanță cu precizia cerută pentru măsurători TC asociate cu releele de protecție permit de asemenea măsurarea curentului în condiții normale.

În particular pentru a măsura energia considerăm două obiective:

- Obiectiv contractual stabilit cu furnizorul de energie sau în eventualitatea revânzării energiei. În acest caz CEI 62053-21 pentru clasele 1 și 2 și CEI 62053-22 pentru clasele 0,5S și 0,2S devin aplicabile pentru a măsura energia activă. Întregul lanț de măsură - TC, TT și dispozitivul de măsură - poate atinge o clasă de precizie Cl de 1 la joasă tensiune, 0,5 la medie tensiune și 0,2 la înaltă tensiune cu posibilități de a atinge 0,1 în viitor.

- Alocarea costurilor interne în cadrul companiei adică împărțirea costurilor electricității pe fiecare produs fabricat într-un anume atelier. În acest caz o clasă de precizie între 1 și 2 pentru întregul lanț (TC, TT și dispozitivul de măsură) este suficientă.

Vă recomandăm să coordonați precizia întregului lanț de măsură cu cerințele de măsură actuale; nu există o singură soluție universală ci un bun compromis tehnic și economic cu cerințele ce trebuie să fie satisfăcute. Rețineți că și precizia măsurătorilor are un cost care trebuie comparat cu amortizarea investiției pe care o așteptăm.

În general câștigurile în termeni de eficiență energetică sunt mai mari atunci când rețeaua electrică nu a fost echipată în acest fel până acum. În schimb, modificările permanente ale rețelei electrice cauzate de activitatea companiei ne fac să căutăm optimizări semnificative și imediate.

Exemplu:

Un ampermetru analogic de clasă 1, calibru 100 A, va afișa o măsurătoare de ± 1 A la 100 A. Dacă el afișază 2 A, măsurătoarea este corectă începând de la 1 A, rezultând deci o incertitudine de 50%. O stație de măsură clasă 1 ca PM710 Merlin Gerin - ca toate celelalte stații de măsură și unități de monitorizare și măsură a circuitelor Merlin Gerin - au o precizie de 1% pe întreg domeniul de măsură așa cum este specificat în standardul CEI 62053.

Alte măsurători fizice îmbunătățesc datele culese:

- poziția închis/deschis a aparatului de comutație;
- măsurarea energiei prin impulsuri;
- temperatura transformatoarelor și motoarelor;
- orele de funcționare, numărul de conectări/deconectări;
- sarcina motoarelor;
- sarcina bateriilor UPS-urilor;
- jurnale pentru evenimente, în special pentru defecte;
- etc.

4.2 Date electrice pentru obiective reale

Datele electrice sunt transformate în informații care urmăresc să satisfacă următoarele obiective:

- modificarea obiceiurilor utilizatorilor pentru a consuma rațional energie electrică și a obține în final costuri energetice mai mici.
- îmbunătățirea eficienței personalului de exploatare;
- scăderea costului energiei;
- economia de energie prin înțelegerea modului în care aceasta este utilizată și cum activele și procesele pot fi optimizate pentru a fi mai eficiente energetic.
- optimizarea și creșterea duratei de viață a mijloacelor fixe asociate cu rețeaua electrică;
- în final poate deveni o piesă importantă în creșterea productivității proceselor asociate (proces industriale sau chiar de birou, managementul clădirilor), prevenind sau reducând întreruperile sau asigurând energie de o calitate mai bună receptorilor.

4 De la măsurători electrice la informații electrice

Costurile operaționale suprapuse peste imaginea unui iceberg (vezi **Fig. K9**). Dacă un iceberg pare mare la suprafață, mărimea din apă este de-a dreptul copleșitoare. Prin analogie în fiecare lună furnizorul de energie vă trimite o factură pentru energia consumată. Economii în această factură sunt importante și singure pot justifica nevoia unui sistem de monitorizare a energiei. Există însă și alte economii mai puțin evidente dar mult mai semnificative care pot fi obținute dacă dispuneți de unele corespunzătoare.

Modificarea obiceiurilor utilizatorilor de energie

Utilizând rapoartele de alocare a costurilor puteți verifica corectitudinea și acuratețea facturii de energie, distribui factura internă pe departamente, adopta decizii efective bazate pe considerente energetice și făcând publice performanțele măsurii la fiecare nivel din organizație. Apoi utilizând modelul "proprietarul consumului de energie" la nivelul potrivit în organizație este posibil să fie modificat comportamentul utilizatorilor pentru a induce respect față de consumurile energetice și în final pentru a diminua costurile totale energetice.

Îmbunătățirea eficienței personalului de exploatare

Una din principalele provocări pentru personalul de exploatare al rețelei electrice este de a adopta deciziile potrivite și de a acționa în cel mai scurt timp. De aceea este necesar ca acești oameni să știe mai bine ce se întâmplă în rețeaua lor, și pe cât posibil să fie informați oriunde s-ar afla în obiectivul respectiv. Acest obiectiv înțelept - transparent este un factor cheie care permite personalului să:

- înțeleagă parcursul energiei electrice - să verifice dacă rețeaua este parametrizată corespunzător, echilibrată, care sunt principalii consumatori, în ce perioadă a zilei (sau săptămânii), etc;
- înțeleagă comportamentul rețelei - declanșarea unei plecări principale este mai ușor de înțeles dacă ai acces la informații de la sarcinile din aval;
- fie informați operativ asupra evenimentelor, chiar atunci când se află în afara obiectivului, utilizând comunicațiile mobile disponibile în prezent;
- în cazul unei avarii să se ducă direct la echipamentul afectat, cu piesele de schimb potrivite, și cu cauza avariei bine înțeleasă;
- inițieze acțiuni de mentenanță luând în considerare uzura reală a echipamentului, nici mai devreme nici mai târziu;
- în final electricianul va avea posibilitatea să monitorizeze rețeaua electrică și va obține în anumite cazuri o scădere drastică a costului energiei.

Iată mai jos câteva exemple ale celor mai simple aplicații de sisteme de monitorizare:

- marcarea zonelor unde au fost detectate consumuri anormale;
- urmărirea consumurilor neprevăzute;
- asigurarea că consumul de energie nu este mai mare decât al competiției;
- alegerea contractului de furnizare optim cu furnizorul de energie;
- stabilirea unor reguli de consum simple pentru receptorii simpli (de exemplu iluminat);
- solicitarea compensării daunelor datorită livrărilor de energie cu parametri necorespunzători de către furnizorul de energie (de exemplu oprirea unui proces datorită unui gol de tensiune).

Implementarea proiectelor de eficiență energetică

Sistemul de monitorizare a energiei electrice va furniza informații care vor susține un audit energetic complet al obiectivului. Asemenea audit poate acoperi pe lângă electricitate și sistemele de apă, aer, gaz și abur. Măsura, marcarea și normarea informațiilor privitoare la consumurile energetice va arăta cât de eficiente sunt procesele și, pe ansamblu, obiectivul. Astfel pot fi elaborate planuri de acțiune corespunzătoare. Obiectivele acestora pot fi variate de la sisteme de control iluminat, sisteme de automatizare clădiri, variatoare de viteză, automatizări de proces, etc.

Optimizarea mijloacelor fixe

O realitate este că rețeaua electrică evoluează din ce în ce mai mult și de fiecare dată apare întrebarea: Va suporta rețeaua mea această nouă evoluție? Acesta este un caz tipic când sistemul de monitorizare poate ajuta responsabilul rețelei să ia deciziile corecte. Prin activitatea de înregistrare, se poate stabili adevărata utilizare a echipamentelor și evalua cu acuratețe rezerva disponibilă într-o porțiune de rețea, tablou electric sau transformator. O utilizare corectă a echipamentului poate crește durata sa de viață. Sistemele de monitorizare pot furniza informații exacte despre utilizarea echipamentelor și echipele de mentenanță pot decide asupra operațiunii de mentenanță potrivite, nici prea devreme, nici prea târziu. În anumite cazuri monitorizarea armonicilor poate fi un factor pozitiv pentru durata de viață a anumitor echipamente (de exemplu motoare sau transformatoare).

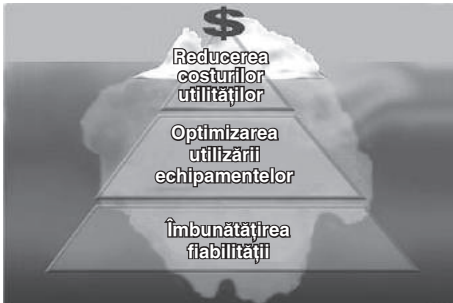


Fig. K9: Costurile operaționale suprapuse peste imaginea unui iceberg.

4 De la măsurători electrice la informații electrice

Creșterea productivității prin reducerea timpului de întrerupere

Timpul de întrerupere este coșmarul persoanelor însărcinate cu buna funcționare a rețelei electrice. Pot fi generate pierderi importante pentru companie, presiunea pentru realimentarea cât mai rapidă - și stresul asociat pentru operatori - este foarte ridicat.

Un sistem de monitorizare și control poate fi de folos reducând timpii de întrerupere foarte eficient. Fără să mai vorbim de un sistem de telecontrol care este mult mai sofisticat dar care poate fi necesar pentru aplicațiile cele mai solicitante, un simplu sistem de monitorizare poate furniza informații importante care vor contribui semnificativ la reducerea timpilor de întrerupere:

- informând personalul operativ asupra evenimentelor, chiar atunci când se află în afara obiectivului (utilizând comunicațiile mobile disponibile în prezent GSM/SMS);
- furnizând o vedere globală a statutului rețelei electrice;
- ajutând la identificarea zonei cu defect;
- având acces la informații detaliate furnizate de aparatura de câmp și atașate fiecărui eveniment (motivul declanșării de exemplu).

Apoi teleconducerea aparatajului poate fi necesară dar nu obligatorie. În multe cazuri este necesară o deplasare la locul defectului pentru a demara acțiunile necesare.

Creșterea productivității prin îmbunătățirea calității energiei

Anumiți receptori pot fi foarte sensibili la calitatea energiei și operatorii pot fi puși în fața unor situații neașteptate dacă calitatea energiei nu este sub control. Monitorizarea calității energiei este calea potrivită pentru a preveni astfel de evenimente și/sau pentru a rezolva probleme punctuale.

4.3 Măsurătorile încep cu produse autonome cu funcții de măsură suplimentare

Alegerea aparatajului de măsură și aparatajului electric se face în funcție de prioritățile programului dumneavoastră de eficiența energetică și în funcție de tehnologia disponibilă:

- Funcțiile de măsură și protecție pentru rețelele de medie și joasă tensiune sunt integrate în același dispozitiv.

Exemple: Releele de măsură și protecție Sepam, declanșatoarele Micrologic pentru Compact și Masterpact, unitățile de control motoare TeSys U, controlerul varmetric NRC12, sursele neîntreruptibile Galaxy.

- Funcția de măsură este integrată într-un dispozitiv dar separată de funcția de protecție.

Exemplu: Accesoriu la un întreruptor automat de joasă tensiune.

- Funcția de măsură este îndeplinită de un dispozitiv separat.

Exemplu: PowerLogic Circuit Monitor este un dispozitiv de măsură de înaltă performanță.

Progresele făcute de electronica industrială și de tehnologiile IT au fost utilizate într-un singur dispozitiv:

- pentru a îndeplini cerințele de simplificare a tablourilor electrice;
- pentru a reduce costurile de achiziție și a reduce de asemenea numărul de aparate;
- pentru a facilita evoluția produselor prin proceduri de upgrade software.



Unități de declanșare
Micrologic pentru Masterpact



Unitate de control motor
TeSys U

4 De la măsurători electrice la informații electrice

Mai jos vă oferim exemple de măsurători ce pot fi transmise prin Modbus, RS485 sau Ethernet (vezi **Fig. K10**):

	Unități de măsură	Relee de măsură și protecție MT	Relee de măsură și protecție JT	Controlere varmetrice	Controlere de izolație
Exemple	Power Meter, Circuit Monitor	SEPAM	Declanșatoare Micrologic pentru Compact și Masterpact	Varlogic	Sisteme VigiloHm

Mentținerea controlului asupra consumului de energie

Puterea instantanee, maximă, minimă	■	■	■	■	-
Energia, posibilitate de repornire de la 0	■	■	■	-	-
Factorul de putere, instantaneu	■	■	■	-	-
Cos φ , instantaneu	-	-	-	■	-

Îmbunătățirea disponibilității energiei

Curent, instantaneu, maxim, minim, dezechilibre	■	■	■	■	-
Curent, captura formei de undă	■	■	■	-	-
Tensiune, instantanee, maximă, minimă, dezechilibre	■	■	■	■	-
Tensiune, captura formei de undă	■	■	■	-	-
Starea aparatului	■	■	■	■	-
Jurnalul de defecte	■	■	■	-	-
Frecvența, instantanee, max., min.	■	■	■	-	-
THDu, THDi	■	■	■	■	-

Administrarea mai bună a instalației electrice

Temperatura receptoarei, sarcina și starea termică	■	■	-	■	-
Rezistența de izolație	-	-	-	-	■

	Unități de control motoare	Variatoare de viteză JT	Softstarter JT	Softstarter MT	Surse neîntreruptibile
Exemple	TeSys U	ATV	ATS	Motorpact RVSS	Galaxy

Mentținerea controlului asupra consumului de energie

Puterea instantanee, maximă, minimă	-	■	-	■	■
Energia, posibilitate de repornire de la 0	-	■	■	■	-
Factorul de putere, instantaneu	-	-	■	■	■

Îmbunătățirea disponibilității energiei

Curent, instantaneu, maxim, minim, dezechilibre	■	■	■	■	■
Curent, captura formei de undă	-	-	-	■	■
Starea aparatului	■	■	■	■	■
Jurnalul de defecte	■	■	■	■	-
THDu, THDi	-	■	-	-	-

Administrarea mai bună a instalației electrice

Temperatura receptoarei, sarcina și starea termică	■	■	■	■	■
Ore de funcționare motor	-	■	■	■	-
Monitorizare baterii	-	-	-	-	■

Tab. K10: Exemple de măsurători disponibile via Modbus, RS485 sau Ethernet.

4 De la măsurători electrice la informații electrice

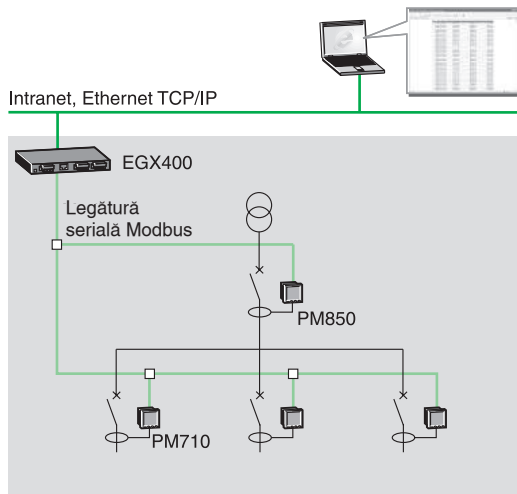


Fig. K11: Exemple de instalații electrice protejate și monitorizate via site Intranet.

Exemple de soluții pentru un obiectiv de mărime medie

Analysesample Ltd. este o companie specializată în analiza mostrelor industriale colectate de la fabricile din regiune: metale, plastice, etc., pentru certificarea caracteristicilor chimice. Compania vrea să dețină un control mai bun asupra consumurilor de energie electrică a cuptoarelor existente, sistemului de aer condiționat și vrea, de asemenea, să asigure calitatea energiei electrice pentru aparatura de măsură de precizie utilizată pentru analiza mostrelor.

Rețea electrică protejată și monitorizată via site Intranet

Soluția implementată implică achiziția datelor referitoare la energie de la unitățile de măsură ceea ce permite de asemenea măsurători asupra parametrilor electrici de bază precum și verificarea calității energiei electrice. Conectat la un server web un browser internet permite utilizarea foarte simplă a datelor precum și exportul acestora în Microsoft Excel™. Curbele de consum și alți parametri pot fi tipărite în timp real din foaia de calcul (vezi **Fig. K11**).

Nu este deci nevoie de alte investiții IT, în software sau hardware pentru a utiliza datele.

De exemplu pentru reducerea facturii de electricitate și limitarea consumului pe timp de noapte și în week-end-uri trebuie să studiem curbele de consum furnizate de echipamentele de măsură (vezi **Fig. K12**).

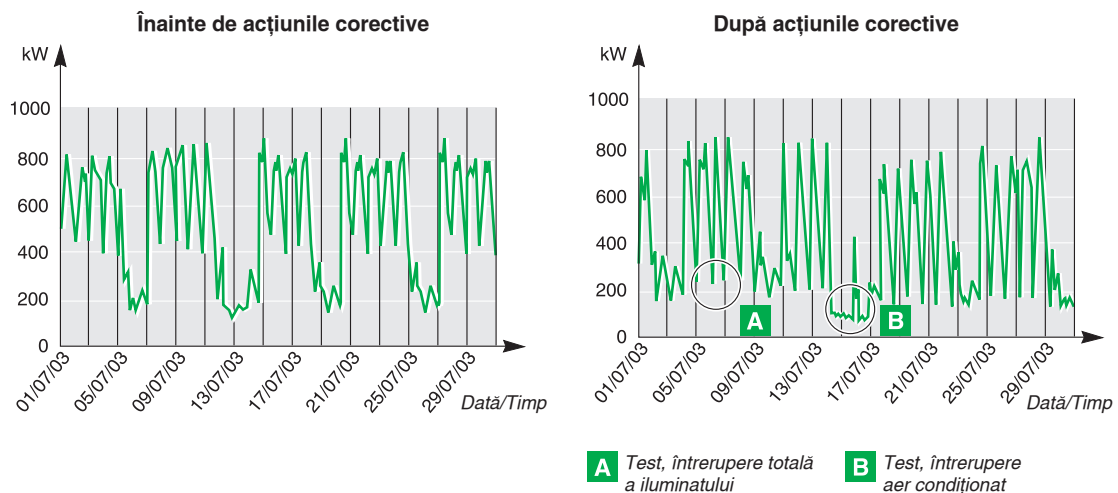


Fig. K12: **A** Test, întrerupere totală a iluminatului **B** Test, întrerupere aer condiționat
Aici consumul în timpul orelor nelucrătoare pare excesiv, așa încât s-au luat două decizii:

■ reducerea iluminatului pe timp de noapte;

■ oprirea aerului condiționat în timpul week-end-urilor.

Noua curbă obținută arată o scădere semnificativă a consumului.

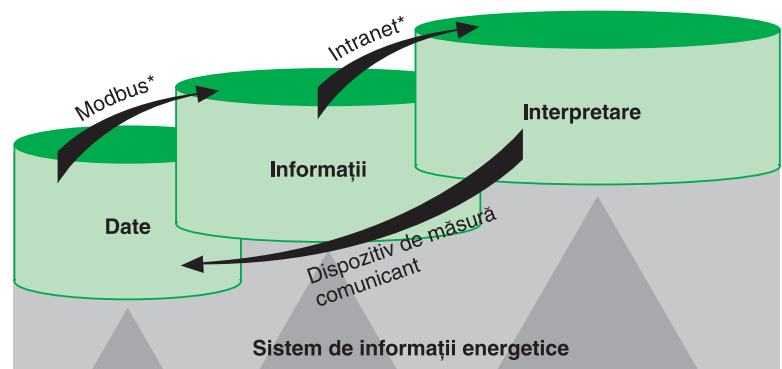
5 Sistem de informare și comunicare

Mai multe organizații au deja un sistem de informații chiar dacă nu este identificat și condus corespunzător. Trebuie subliniat că într-o lume în schimbare orice sistem de informații trebuie dezvoltat astfel încât să fie capabil să-și îndeplinească primul obiectiv și anume fundamentarea deciziilor managementului: un punct cheie este să facem vizibile informațiile referitoare la consumul de energie la orice nivel al organizației prin intermediul infrastructurii de comunicație.

Datele energetice sunt importante, sunt unul din bunurile companiei. Compania are manageri IT care sunt deja însărcinați să exploateze celelalte sisteme IT. Aceștia sunt participanți importanți la sistemul de monitorizare a energiei și la schimbul de date cu celelalte entități din cadrul companiei.

5.1 Rețeaua de comunicație la nivelul produsului, echipamentului și amplasamentului

Lucrul de zi cu zi într-un sistem de informații energetice poate fi ilustrat de următoarea diagramă (vezi Fig. K13).



* Rețea de comunicație

Fig. K13: Ierarhia sistemului.

Sunt utilizate resurse diverse pentru a trimite date de la aparatele de măsură și protecție instalate în tablourile electrice ale utilizatorului cum ar fi, de exemplu prin sistemul Schneider Electric Transparent Ready™.

Protocolul de comunicații Modbus

Modbus este un protocol de comunicații industrial între echipamente care sunt interconectate printr-o legătură fizică cum ar fi de exemplu o rețea RS485 sau Ethernet via (TCP/IP) sau modem (GSM, Radio, etc). Acest protocol este bine adaptat pentru produsele pentru măsură și protecție în rețele electrice.

Inițial creat de Schneider Electric, Modbus este acum o resursă publică administrată de un organism independent - organizația Modbus IDA - care permite deschiderea totală către utilizatori. Fiind definit ca standard industrial în 1979, Modbus permite ca milioane de produse să comunice între ele.

Organizația internațională care administrează internetul, IETF, a aprobat crearea unui port (502) pentru produsele conectate la Internet/Intranet și utilizând protocolul de comunicații Ethernet Modbus TCP/IP.

Modbus este un proces de interogare/răspuns între două echipamente bazat pe citirea și scrierea datelor (coduri de funcții). Interogarea este emisă de un singur "master", răspunsul este trimis de echipamentul "slave" identificat în interogare (vezi Fig. K14).

Fiecărui produs "slave" conectat într-o rețea Modbus i se atribuie de către utilizator un număr de identificare, numit adresa Modbus, și cuprins între 1 și 247.

"Master"-ul (de exemplu un server web amplasat într-un tablou electric) interoghează simultan toate aparatele din rețea cu un mesaj cuprinzând adresa respondentului, codul funcției, locația de memorie a aparatului și cantitatea de informații, cel mult 253 octeți.

Numai produsul cu adresa specificată va răspunde acestei cereri de date.

Schimbul are loc numai la inițiativa "master"-ului (aici serverul web): aceasta este procedura de operare "master-slave" a Modbus.

5 Sistem de informare și comunicare

Procedura de interogare urmată de un răspuns, înseamnă că “master”-ul va avea toate datele disponibile în echipamente atunci când este interogată.

“Master”-ul administrează toate tranzacțiile prin interogări succesive, dacă se adresează aceluiași produs. Această regulă permite calculul numărului maxim de produse conectate la un “master” pentru a obține un timp de răspuns acceptabil pentru inițiatorul interogării, în special când legătura RS485 nu este prea bună.

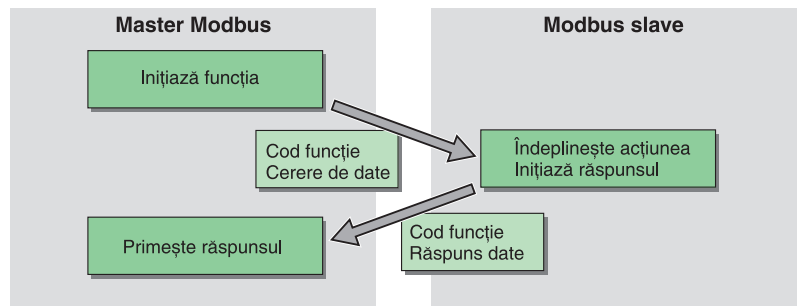


Fig. K14: Codurile funcțiilor permițând citirea sau scrierea datelor.

Un mecanism software de detectare a erorilor de transmitere numit CRC16 permite ca un mesaj cu eroare să fie repetat și numai aparatul implicat să răspundă.

Rețeaua dumneavoastră Intranet

Schimbul de date industriale utilizează în principal tehnologiile web implementate permanent în rețeaua de comunicații a companiei și mai particular în rețeaua intranet a companiei.

Infrastructura IT administrează coabitarea aplicațiilor software: compania o utilizează pentru funcționarea de aplicații ca birotică, tipărire, salvare date critice, contabilitate, achiziții, etc. Coexistența datelor pe aceeași rețea de comunicații nu pune deci probleme tehnologice deosebite.

Atunci când câteva PC-uri, imprimante și servere sunt conectate împreună în clădirile companiei, foarte probabil utilizând rețeaua locală Ethernet și serviciile web, această companie poate avea acces cu minim efort la datele de eficiență energetică furnizate de tablourile sale electrice. Și aceasta fără nici o dezvoltare software, tot ceea ce trebuie este un browser internet de tipul Microsoft Internet Explorer™. Datele de la aceste aplicații tranzitează rețeaua locală Ethernet cu până la 1 Gb/s: mediul de comunicație utilizat în mod curent este cuprul sau fibra optică, care permite conectarea oriunde, în clădirile comerciale sau industriale sau în instalațiile electrice.

Dacă compania are de asemenea un sistem intern de comunicații Intranet pentru schimbul de e-mail-uri și partajarea datelor pe servere web, ea utilizează de asemenea un protocol de comunicații standardizat extrem de cunoscut: TCP/IP. Protocolul de comunicații TCP/IP este proiectat pentru cele mai utilizate servicii web și anume HTTP pentru accesarea paginilor web, SMTP pentru mesageria electronică, etc.

Aplicații	SNMP	NTP	RTPS	DHCP	TFTP	FTP	HTTP	SMTP	Modbus				
Transport	UDP					TCP							
Legătură	IP												
Fizic	Ethernet 802.3 si Ethernet II												

5 Sistem de informare și comunicare

Datele electrice înregistrate în serverele web industriale instalate în dulapuri electrice sunt expediate utilizând același protocol standardizat TCP-IP pentru limitarea costurilor de mentenanță IT recente, intrinseci rețelei IT. Acesta este principiul de operare a sistemului de comunicații date asupra eficienței energetice Schneider Electric Transparent Ready™. Tabloul electric este autonom neavând nevoie de un sistem IT adițional, de un PC, toate datele privitoare la eficiența energetică pot circula în mod uzual via intranet, GSM, linie de telefonie fixă, etc.

Securitate

Angajații vor fi mai bine informați, mai eficienți și vor lucra în condiții de deplină securitate electrică; ei nu vor mai fi nevoiți să meargă în camerele cu dulapuri electrice pentru a face verificări de rutină asupra aparatelor electrice - ei trebuie doar să consulte datele. În aceste condiții sistemele de comunicații oferă angajaților companiei câștiguri imediate și semnificative și evită grija eventualelor greșeli. Devine astfel posibil pentru electricieni, tehnicieni de mentenanță sau producție, manageri să lucreze cu toți în deplină siguranță. În funcție de importanța datelor managerul IT va da utilizatorilor drepturile de acces adecvate.

Impact redus asupra mentenanței rețelei locale

Responsabilul IT al companiei are resursele tehnice să completeze și să monitorizeze echipamentele legate la rețeaua IT al companiei. Bazat pe servicii web standard precum protocolul Modbus sub TCP/IP, având cerințe reduse de lățime de bandă și imunitate la virușii informatici sistemul de monitorizare a rețelei electrice nu afectează performanțele rețelei locale de comunicații; prin urmare responsabilul IT nu trebuie să facă investiții adiționale și nu are de asemenea probleme adiționale de securitate.

Subcontractarea către parteneri externi

În acord cu politica de securitate a companiei, este posibilă utilizarea serviciilor suport ale partenerilor uzuali din domeniul electric; contractorii, tabloutierii, integratorii de sistem ai produselor Schneider Electric pot furniza asistență și pot analiza datele electrice de consum ale companiei. Documentația tehnică este disponibilă online și poate fi consultată oricând.

5.2 De la sistemul de control și monitorizare rețea până la echipamentul de putere inteligent

De mai mulți ani, în mod tradițional, sistemele de monitorizare și control au fost centralizate și bazate pe SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Decizia de a investi într-un astfel de sistem - notat (3) în **Figura 15** - a fost luată până acum numai în cazul aplicațiilor foarte solicitante, atât din cauza receptoarelor de putere mare cât și din cauza proceselor sensibile la non-calitatea energiei. Bazate pe tehnologii de automatizări, aceste sisteme sunt proiectate și personalizate adesea de către un integrator de sistem, și apoi instalate la obiectiv. Oricum, costurile inițiale, aptitudinile pentru exploatarea corectă a acestui sistem, costurile pentru evoluțiile necesare pentru a urmări dezvoltarea rețelei pot descuraja potențialii utilizatori să investească în acest domeniu. Apoi, bazată pe o soluție dedicată electricienilor, cea de-a doua abordare notată cu (2) se potrivește mult mai bine nevoilor specifice ale rețelei electrice și promite o amortizare cu mult mai rapidă a investiției. Totuși, datorită arhitecturii centralizate, costul unei asemenea soluții poate părea ridicat. Pentru anumite obiective tipurile (2) și (3) pot coexista furnizând informații mult mai corecte electricienilor, atunci când este necesar. În prezent, un nou concept al echipamentelor de putere inteligente - notate cu (1) - este utilizat, considerat ca un prim pas către nivelurile (2) sau (3), datorită abilității acestor soluții de a coexista în cadrul aceluiași obiectiv.

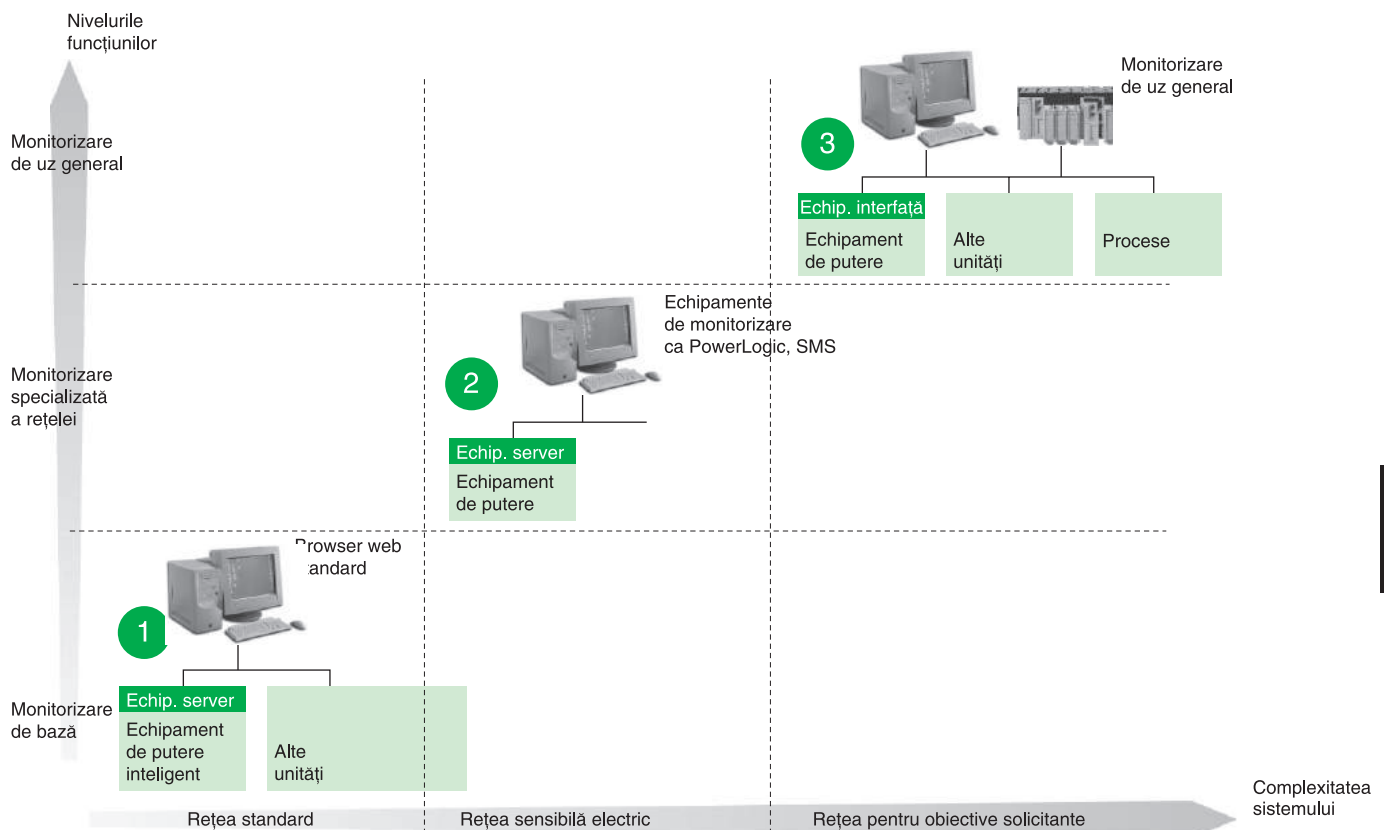


Fig. K15: Poziționarea sistemelor de monitorizare.

5 Sistem de informare și comunicare

Arhitectura bazată pe sisteme inteligente (vezi Fig. K16)

Noua arhitectură a apărut relativ recent datorită tehnologiilor web și poate fi poziționată ca un punct de intrare în sistemele de monitorizare. Fiind bazate pe tehnologiile web ea profită la maxim de serviciile și protocoalele de comunicații standard și de programele fără licență. Informațiile electrice pot fi accesate oriunde în obiectiv iar munca electricienilor va fi mult mai eficientă. Conectarea la Internet este oferită de asemenea pentru toate serviciile obiectivului.

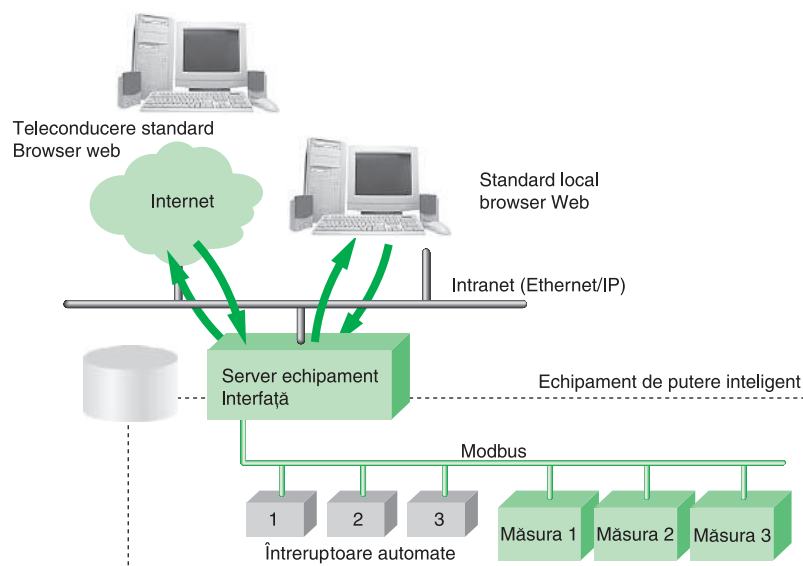


Fig. K16: Arhitectura echipamentelor inteligente.

Arhitectura centralizată specializată pentru electricieni (vezi Fig. K17)

Dedicată electricienilor, arhitectura este bazată pe o supervizare centralizată specifică care îndeplinește toate cerințele de monitorizare a rețelei electrice. Apoi ea solicită în mod natural un nivel mai redus de cunoștințe și aptitudini pentru punere în funcțiune, reglaje și mentenanță - toate aparatele de distribuție electrică sunt deja prezente într-o bibliotecă de funcții dedicată. În final și costul de achiziție este diminuat semnificativ datorită muncii simplificate a integratorului de sistem.

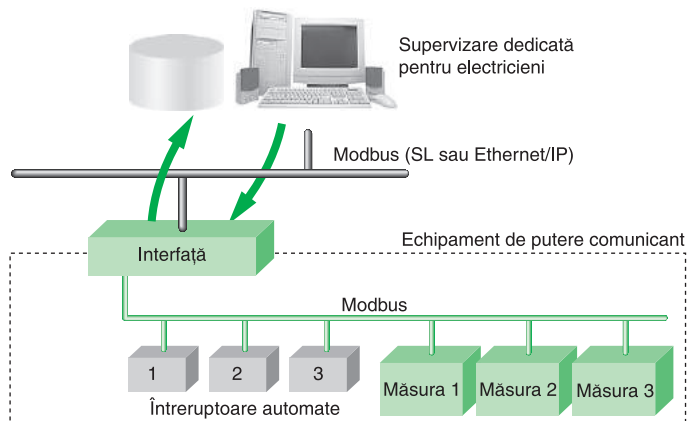


Fig. K17: Arhitectura specializată de monitorizare a unui sistem de distribuție electrică.

5 Sistem de informare și comunicare

Arhitectura convențională centralizată de uz general (vezi Fig. K18)

Aici este prezentată o arhitectură tipică bazată pe elemente standard de automatizări precum sistemele SCADA și diverse interfețe. În ciuda realei eficiențe această arhitectură are și câteva puncte slabe, din care enumerăm:

- nivelul ridicat de calificare pentru exploatarea acestei rețele;
- evolutivitatea greoaie și dificilă;
- în sfârșit, amortizarea riscantă a acestei soluții costisitoare.

Este adevărat că această soluție nu are echivalent pentru aplicațiile cele mai solicitante și oferă date foarte relevante în sălile de operare centralizată.

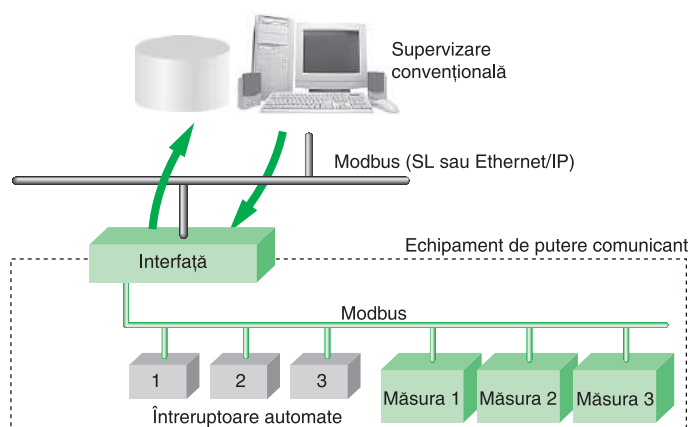


Fig. K18: Sistem de monitorizare și control convențional în timp real.

5.3 Suportul web (e-suport) devine accesibil

Punerea la punct a unui sistem de informații pentru a susține o abordare globală de eficiență energetică conduce foarte repede la câștiguri economice, cu o amortizare într-o perioadă mai mică de 2 ani pentru electricitate. Ca și beneficiu suplimentar, care este încă subestimat astăzi, este pârgăia pe care o obțineți în termeni de informații tehnologice în acest sector. Rețeaua electrică poate fi analizată periodic de un consultant profesionist cu ajutorul internetului, pentru a răspunde următoarelor probleme specifice, după cum urmează:

- Contractele de furnizare a energiei. Schimbarea unui furnizor la un anumit moment devine posibilă datorită analizei permanente a costurilor legate de consumuri; înainte singurele date erau furnizate de bilanțul anual.
- Gestionarea permanentă a datelor electrice - via internet - pentru a le transforma în informații relevante, furnizate prin intermediul unui portal web personalizat. Informațiile legate de consumul unui receptor sunt acum ușor de obținut, disponibile astfel unui număr mare de utilizatori. Este ușor acum de postat aceste date pe internet, dar a le face realmente utile este mai complicat.
- Diagnoza defectelor electrice complexe care necesită analiza unui expert în electrotehnică; o resursă rară care este mai ușor accesibilă pe web.
- Monitorizarea consumurilor și generarea alertelor în cazul unor vârfuri de consum anormale.

■ Serviciul de mentenanță este exact atât cât este necesar, astfel încât presiunea asupra personalului de mentenanță se va diminua.

Eficiența energetică nu mai este o problemă la care compania trebuie să-i facă față singură; mai mulți e-parteneri pot oferi sprijin atunci când este necesar, în special când se ajunge la stadiul măsurătorilor și asistenței la luarea deciziilor, cu condiția ca rețeaua electrică să fie comunicantă via internet.

Implementarea poate fi graduală, începând prin a face câteva echipamente cheie comunicante și extinzând treptat sistemul pentru a obține acuratețea necesară și o bună acoperire a instalației.

Compania își poate defini politica: solicite unuia sau mai multor parteneri să analizeze datele, le analizează singură sau combină cele două opțiuni. De asemenea compania poate decide să administreze singură energia electrică sau să ceară unui partener să monitorizeze calitatea energiei și altui partener să gestioneze datele referitoare la mentenanța echipamentelor.

Exemplu:

Exemplu: Schneider Electric propune e-servicii care oferă vizualizarea datelor referitoare la sarcini și analiza aplicațiilor în cel mai simplu mod. Procesele pentru companiile cu locații geografice diverse sunt simplificate prin integrarea datelor într-un astfel de sistem. Sistemul transformă datele brute în informații utile, ușor accesibile tuturor utilizatorilor interni. Aceasta poate contribui la reducerea costurilor arătând utilizatorilor cum organizația din care fac parte folosește energia. O gamă largă de funcționalități servesc nevoile personalului cu ajutorul celeiași platforme: Accesarea și analiza datelor, Facturi istorice și estimate, Comparații de consumuri, Simulări diverse, Impactul schimbărilor operaționale precum utilizarea energiei pe palieri orare sau reducerea utilizării cu o cantitate fixă sau procentuală, Alarmare automată, Rapoarte memorate, Marcaj și normalizare date, Alte utilități - Accesul la informațiile privind gazele și apa la fel ca și electricitatea.

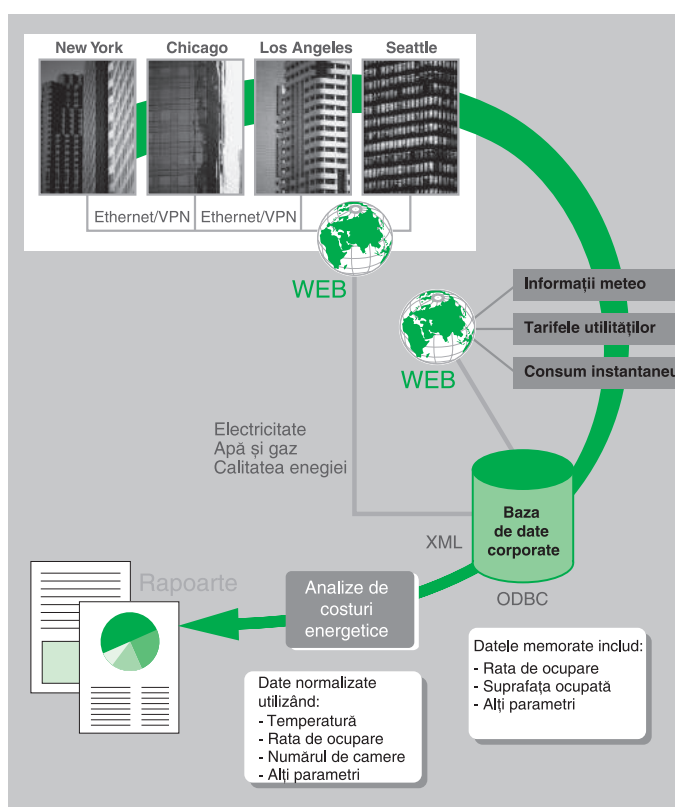


Fig. K19: Exemplu de soluție tipică.

Capitolul L

Compensarea energiei reactive și filtrarea armonicilor

Cuprins

1	Energia reactivă și factorul de putere	L2
	1.1 Natura energiei reactive	L2
	1.2 Echipamente și instalații care absorb energie reactivă	L2
	1.3 Factorul de putere	L3
	1.4 Valori practice ale factorului de putere	L4
2	De ce să îmbunătățim factorul de putere?	L5
	2.1 Reducerea costului energiei	L5
	2.2 Optimizare tehnico-economică	L5
3	Cum să îmbunătățim factorul de putere?	L7
	3.1 Principii teoretice	L7
	3.2 Ce echipamente utilizăm?	L7
	3.3 Alegerea între bateria de condensatoare fixă sau cu reglaj automat	L9
4	Unde se instalează condensatoarele pentru compensarea energiei reactive	L10
	4.1 Compensare globală	L10
	4.2 Compensare sectorială	L10
	4.3 Compensare individuală	L11
5	Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?	L12
	5.1 Metoda generală	L12
	5.2 Metoda simplificată	L12
	5.3 Metoda bazată pe evitarea penalizărilor tarifare	L14
	5.4 Metoda bazată pe reducerea puterii aparente contractate	L14
6	Compensarea la bornele transformatorului	L15
	6.1 Compensarea pentru creșterea puterii active disponibile	L15
	6.2 Compensarea energiei reactive absorbite de transformator	L16
7	Îmbunătățirea factorului de putere la motoarele cu inducție	L18
	7.1 Conectarea bateriei de condensatoare și reglajul protecției	L18
	7.2 Cum poate fi evitată autoexcitația unui motor cu inducție	L19
8	Exemplul unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive	L20
9	Efectele armonicilor	L21
	9.1 Probleme apărute datorită armonicilor sistemului de alimentare	L21
	9.2 Soluții posibile	L21
	9.3 Alegerea soluției optime	L23
10	Instalarea bateriilor de condensatoare	L24
	10.1 Condensatoarele	L24
	10.2 Alegerea protecțiilor, aparaturii de comandă și a cablurilor de conectare	L25

1 Energia reactivă și factorul de putere

Sistemele de curent alternativ alimentează cu două forme de energie:

■ „Energie activă” energie măsurată în kWh care este transformată în lucru mecanic, căldură, lumină, etc;

■ „Energie reactivă” care are două forme:

□ „Energie reactivă” cerută de circuite inductive (transformatoare, motoare, etc.),

□ „Energie reactivă” furnizată de circuite capacitive (capacitatea cablurilor, condensatoare de putere, etc.).

1.1 Natura energiei reactive

Orice mașină sau dispozitiv inductiv (adică electromagnetic) care este alimentat în curent alternativ transformă energia electrică primită de la sistemul de alimentare în lucru mecanic și căldură. Această energie este măsurată cu contorul de energie activă (în kWh) și este denumită energie activă. În scopul realizării acestei conversii se produc câmpuri magnetice în mașini și aceste câmpuri sunt asociate cu o altă formă de energie preluată din sistemul de alimentare, numită energie reactivă. Aceasta se datorează faptului că dispozitivul inductiv absoarbe ciclic energie de la sistemul de alimentare (în timpul creării câmpului magnetic) și reinjectează această energie în sistem (în timpul anulării câmpului magnetic) de două ori în fiecare perioadă a curentului alternativ de alimentare.

Efectul, asupra rotorului generatorului, este de a-l încetini pe durata unei părți a perioadei și de a-l accelera în timpul celeilalte părți. Acest cuplu pulsant este strict valabil numai pentru alternatoarele monofazate. Pentru alternatoarele trifazate efectul este anulat mutual în cele trei faze deoarece, la orice moment energia reactivă de alimentare în una (sau două) faze este egală cu energia reactivă returnată în celelalte două (sau una) faze în cazul unui sistem echilibrat. Rezultatul este o sarcină medie nulă asupra generatorului, adică componenta reactivă a curentului nu absoarbe putere de la rețea.

Un fenomen similar se întâmplă cu elementele capacitive dintr-un sistem de alimentare, precum capacitatea cablurilor sau bateriile de condensatoare de putere, etc. În acest caz, energia este înmagazinată electrostatic.

Încărcarea și descărcarea ciclică a capacității acționează asupra generatorului din sistem în același mod în care a fost descris anterior (cazul inductiv), dar circulația curentului, către și de la capacități fiind în opoziție de fază față de cel din cazul unei inductanțe. Pe aceste considerații se bazează schemele de compensare a energiei reactive (și îmbunătățirea factorului de putere).

Ar trebui reținut că în timp ce componenta reactivă a curentului de sarcină nu absoarbe putere de la sistem, ea cauzează pierderi de energie în sistemele de transport și distribuție a energiei prin încălzirea conductorilor. Practic, în sistemele de alimentare componentele reactive ale curenților de sarcină au caracter predominant inductiv și impedanțele sistemelor de transport și distribuție sunt predominant capacitive. Combinația curent inductiv trecând prin reactanța inductivă produce cele mai neplăcute condiții de cădere de tensiune (adică opoziție directă de fază față de tensiunea sistemului).

Pentru aceste motive (pierderi de putere la transportul energiei electrice și căderi de tensiune) este necesară reducerea curentului inductiv pe cât posibil.

Curentul capacitiv are efect invers asupra nivelului de tensiune și produce o creștere de tensiune în sistemul de alimentare.

Puterea (kW) asociată cu energia “activă” este notată cu P.

Puterea reactiva (kVAR) este notată cu Q. Puterea reactivă inductivă este convențional pozitivă (+ Q) iar cea reactivă capacitivă este considerată negativă (- Q).

Fig. L1 arată că puterea aparentă S este suma vectorială a puterilor activă și reactivă. Paragraful 1.3 dă relația între P, Q și S, unde S este puterea aparentă în kVA.

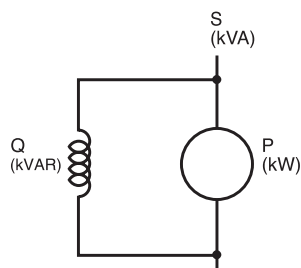


Fig. L1: Un motor electric absoarbe de la rețea putere activă P și putere reactivă Q.

1.2 Echipamente și instalații care absorb energie reactivă

Orice mașină sau aparat de curent alternativ care include dispozitive electromagnetice sau conține înfășurări cuplate magnetic, absoarbe într-o anumită măsură curent reactiv pentru crearea fluxului magnetic. Cele mai cunoscute elemente din această clasă sunt: transformatorul, bobina de reactanță, motorul și balastul lămpilor cu descărcare (vezi **Fig. L2**). Raportul dintre puterea reactivă și puterea activă ale unui element, în condiții de sarcină nominală variază:

- 65 - 75% pentru motoare asincrone;
- 5 -10% pentru transformatoare.

L2

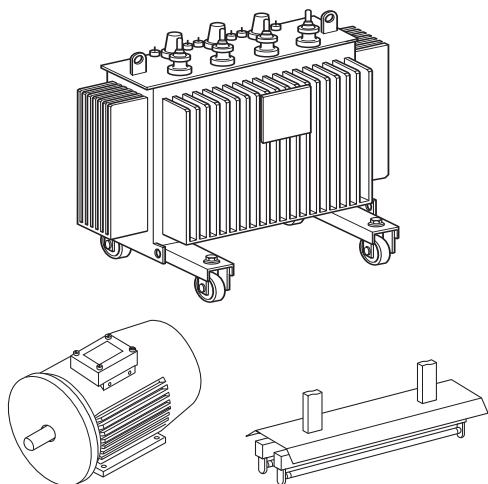


Fig. L2: Consumatori de energie care solicită energie reactivă.

1 Energia reactivă și factorul de putere

Factorul de putere (Power Factor, PF) este un raport kW pe kVA. Cu cât factorul de putere se apropie de valoarea sa maximă care este 1, cu atât beneficiile pentru consumatorul și furnizorul de energie vor fi mai mari.

$$PF = P \text{ (kW)} / S \text{ (kVA)}$$

P = puterea activă

S = puterea aparentă.

1.3 Factorul de putere

Definiția factorului de putere

Factorul de putere al unei sarcini, care poate consta în unul sau mai mulți consumatori (sau chiar o întreagă instalație) este dat de raportul P/S , adică kW/kVA, la un moment dat.

Factorul de putere ia valori în intervalul 0 la 1.

Dacă curenții și tensiunile au forme de undă perfect sinusoidale atunci factorul de putere este egal cu $\cos \varphi$.

Un factor de putere apropiat de 1 înseamnă că energia reactivă este mică în comparație cu energia activă în timp ce o valoare mică a factorului de putere indică condiții contrare primei situații.

Diagrama vectorială a puterilor

■ Puterea activă P (în kW):

□ monofazat (o fază și neutru): $P = VI \cos \varphi$,

□ monofazat (fază și fază): $P = UI \cos \varphi$,

□ trifazat (trei faze sau trei faze și neutru): $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$;

■ Puterea reactivă Q (în kVAR):

□ monofazat (o fază și neutru): $Q = VI \sin \varphi$,

□ monofazat (fază și fază): $Q = UI \sin \varphi$,

□ trifazat (trei faze sau trei faze și neutru): $Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$;

■ Puterea aparentă S (în kVA):

□ monofazat (o fază și neutru): $S = VI$,

□ monofazat (fază și fază): $S = UI$,

□ trifazat (trei faze sau trei faze și neutru): $S = \sqrt{3}UI$.

unde:

V = tensiunea între fază și neutru

U = tensiunea între faze

I = curentul în circuit

φ = defazajul între V și I

□ pentru sisteme echilibrate sau aproape echilibrate în cazul trei faze și neutru.

Vectorii de curent și tensiune și diagrama de puteri

Diagrama "vectorială" a puterii este un artificiu util derivat direct din diagramele de curenți și tensiuni după cum urmează:

Tensiunile sistemului sunt luate ca mărimi de referință, iar în cazul sistemului trifazic cu sarcina echilibrată, din motive de simetrie, ne vom referi numai la o singură fază.

Faza de referință are tensiunea (V) după direcția orizontală și curentul (I) al acelei faze va fi practic întârziat față de tensiune cu un unghi φ pentru orice sarcină.

Componenta curentului I care este în fază cu V este componenta activă și este egală cu $I \cos \varphi$, în timp ce $VI \cos \varphi$ este puterea activă (în kW), dacă V este măsurat în kV.

Componenta lui I , defazată cu 90 de grade în urma tensiunii V , este componenta reactivă și este egală cu $I \sin \varphi$, iar $VI \sin \varphi$ este puterea reactivă (în kVAR) din circuit, dacă V este măsurat în kV.

Dacă vectorul I este multiplicat cu V , exprimat în kV, atunci VI este egală cu puterea aparentă din circuit, măsurată în kVA.

Formula obținută este: $S^2 = P^2 + Q^2$.

Valorile de mai sus exprimate în kW, kVAR, kVA asociate unei faze, multiplicare cu trei, reprezintă puterile activă, reactivă și aparentă precum și factorul de putere pentru un sistem trifazat, așa cum se vede în **Figura L3**.

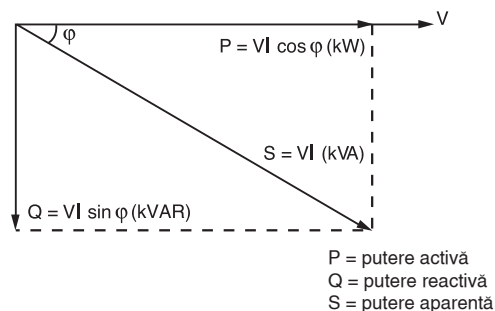


Fig. L3: Diagrama de puteri.

1 Energia reactivă și factorul de putere

Un exemplu de calcul al puterii (vezi Tab. L4)

Tipul circuitului	Putere aparentă S (kVA)	Putere activă P (kW)	Putere reactivă Q (kVAR)
Monofazic (între fază și neutru)	$S = VI$	$P = VI \cos \varphi$	$Q = VI \sin \varphi$
Monofazic (între fază și fază)	$S = UI$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$
Exemplu sarcină 5 kW $\cos \varphi = 0,5$	10 kVA	5 kW	8,7 kVAR
Trifazat 3 faze sau 3 faze + neutru	$S = \sqrt{3}UI$	$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$
Exemplu Motor $P_n = 51$ kW $\cos \varphi = 0,86$ (randament) $\rho = 0,91$	65 kVA	56 kW	33 kVAR

Tab. L4: Exemple de calcul pentru puterea aparentă, activă și reactivă.

1.4 Valori practice ale factorului de putere

Calculul exemplului trifazat de mai sus este următorul:

P_n = puterea nominală = 51 kW

P = puterea activă consumată

$$P = \frac{P_n}{\rho} = \frac{51}{0,91} = 56 \text{ kW}$$

S = puterea aparentă

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{56}{0,86} = 65 \text{ kVA}$$

Așa că utilizând diagrama din Fig. L5 sau utilizând un minicalculator, aflăm valoarea $\tan \varphi$ corespunzătoare unui $\cos \varphi$ de 0,86 adică 0,59.

$$Q = P \tan \varphi = 56 \times 0,59 = 33 \text{ kVAR (vezi Tab. L15).}$$

Sau, folosind teorema lui Pitagora:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ kVAR}$$

Valori uzuale ale factorului de putere pentru cele mai comune echipamente și aplicații (vezi Tab. L6)

Echipamente și aplicații	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
■ Motor cu inducție încărcat la		
0%	0,17	5,80
25%	0,55	1,52
50%	0,73	0,94
75%	0,80	0,75
100%	0,85	0,62
■ Lămpi cu incandescentă	1,0	0
■ Lămpi fluorescente (necompensate)	0,5	1,73
■ Lămpi fluorescente (compensate)	0,93	0,39
■ Lămpi cu descărcare	0,4 la 0,6	2,29 la 1,33
■ Cuptoare cu elemente rezistive	1,0	0
■ Cuptoare cu inducție (compensate)	0,85	0,62
■ Cuptoare de tip dielectric	0,85	0,62
■ Mașini de lipit rezistive	0,8 la 0,9	0,75 la 0,48
■ Aparat de sudură monofazice	0,5	1,73
■ Echipament de sudură	0,7 la 0,9	1,02 la 0,48
■ Echipament de sudură în c.c.	0,7 la 0,8	1,02 la 0,75
■ Cuptor cu arc	0,8	0,75

L4

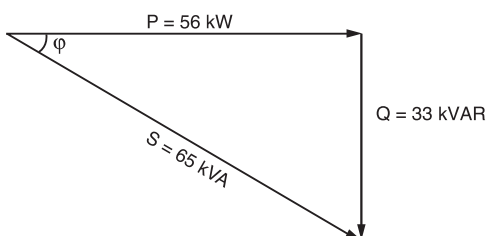


Fig. L5: Calculul diagramei de puteri.

Tab. L6: Valori ale $\cos \varphi$ și $\tan \varphi$ pentru cele mai comune echipamente și aplicații.

2 De ce să îmbunătățim factorul de putere ?

Îmbunătățirea factorului de putere al instalațiilor prezintă mai multe avantaje tehnice și economice, printre care și reducerea facturilor de energie electrică.

2.1 Reducerea costului energiei

Managementul bun al consumului de energie reactivă aduce importante avantaje economice.

Aceste considerații sunt bazate pe structura actuală de tarife aplicate în mod curent în Europa, destinate să încurajeze beneficiarii să micșoreze consumul de energie reactivă.

Instalarea condensatoarelor de compensare a energiei reactive la consumatori permite reducerea notelor de plată la electricitate prin menținerea consumului de putere reactivă sub o anumită valoare, agreată prin contractul cu furnizorul de energie.

În acest tip de tarif, energia reactivă este plătită conform criteriului lui $\tan \varphi$.

$$\tan \varphi = \frac{Q \text{ (kVARh)}}{P \text{ (kWh)}}$$

La consumator distribuitorul de energie livrează energie reactivă gratis, până:

- la nivelul de 40% din energia activă ($\tan \varphi = 0,4$) pentru un interval de 16 ore pe zi (de la 6:00 la 22:00) în timpul perioadelor celor mai solicitante (de obicei iarna);

- fără limită în perioada de solicitare redusă iarna, și în timpul primăverii și verii. Pe durata perioadelor de limitare, consumul de energie reactivă care depășește 40% din energia activă este plătit lunar la cursul curent.

Astfel cantitatea de energie reactivă de plată în aceste perioade va fi kVARh (de plătit) = kWh ($\tan \varphi > 0,4$) unde:

- kWh este energia activă consumată în perioada de limitare,

- kWh $\tan \varphi$ este energia reactivă totală în perioada de limitare,

- 0,4 kWh este cantitatea de energie reactivă livrată gratis în perioada de limitare.

$\tan \varphi = 0,4$ corespunde unui factor de putere $\cos \varphi = 0,93$ așa că pentru a nu plăti energie reactivă este suficient ca în perioadele de limitare, $\cos \varphi$ să nu scadă sub 0,93.

În fața avantajelor notelor de plată scăzute consumatorul trebuie să pună în balanță costul achiziționării, instalării și utilizării condensatoarelor de compensare a energiei reactive, aparaturii de protecție și comandă, întreruptorului automat împreună, cu consumul suplimentar de kWh datorat pierderilor în dielectricul condensatoarelor, etc..

Este posibil să fie mai economic să se facă compensarea numai parțial și ca plata unei părți din energia reactivă să fie mai avantajoasă decât o compensare de 100%. În general, corecția factorului de putere este o problemă de optimizare, cu excepția unor cazuri foarte simple.

Îmbunătățirea factorului de putere permite utilizarea unor transformatoare, cabluri și aparate mai mici în același timp cu reducerea pierderilor și a căderii de tensiune dintr-o instalație.

2.2 Optimizare tehnico-economică

Un factor de putere mai mare permite optimizarea componentelor unei instalații. Supradimensionarea unui echipament poate fi evitată, dar pentru a obține cele mai bune rezultate corecția ar trebui făcută pe cât posibil cât mai aproape de fiecare componentă a echipamentelor inductive.

Reducerea dimensiunii cablurilor

Tabelul L7 arată creșterea dimensiunii cablurilor atunci când factorul de putere scade de la 1 la 0,4.

	1	1,25	1,67	2,5
Factorul de multiplicare a secțiunii transversale a miezului cablului	1	1,25	1,67	2,5
$\cos \varphi$	1	0,8	0,6	0,4

Tab. L7: Factorul de multiplicare a dimensiunii cablurilor în funcție de $\cos \varphi$.

2 De ce să îmbunătățim factorul de putere ?

Reducerea pierderilor (P, kW) în cabluri

Pierderile în cabluri sunt proporționale cu pătratul curentului și sunt măsurate cu kWh-metrul. Reducerea curentului într-un conductor cu 10% de exemplu, duce la scăderea pierderilor cu circa 20%.

Reducerea căderii de tensiune

Condensatoarele montate pentru compensarea energiei reactive reduc sau chiar anulează curentul reactiv inductiv în conductorii din amonte, reducând astfel sau chiar eliminând căderile de tensiune.

Notă: supracompensarea produce o creștere a tensiunii pe condensator.

Creșterea puterii disponibile

În îmbunătățirea factorului de putere al unei sarcini alimentată de la un transformator curentul prin transformator se va reduce, permițând astfel adăugarea unor alte sarcini. În practică, poate fi mai avantajos să îmbunătățești factorul de putere⁽¹⁾ decât să înlocuiești transformatorul cu unul mai mare.

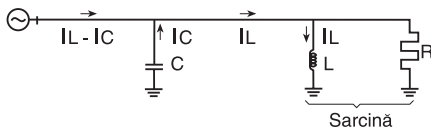
Această problemă este detaliată în subcapitolul 6.

⁽¹⁾ Întrucât și alte beneficii survin la o valoare mai mare a $\cos \varphi$ precum s-a arătat mai înainte.

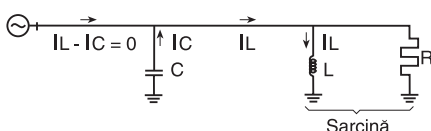
3 Cum să îmbunătățim factorul de putere?

Îmbunătățirea factorului de putere pentru o instalație necesită o baterie de condensatoare care acționează ca o sursă de energie reactivă. Se spune că acest montaj asigură compensarea energiei reactive.

a) Modelul circulației curenților reactivi



b) Atunci când $I_C = I_L$ toată puterea reactivă este furnizată de bateria de condensatoare



c) Curentul sarcinii adăugat la cazul (b)

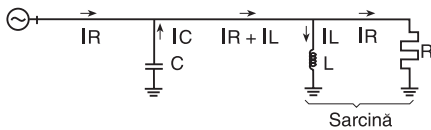


Fig. L8: Exemplificarea caracteristicilor esențiale ale compensării energiei reactive.

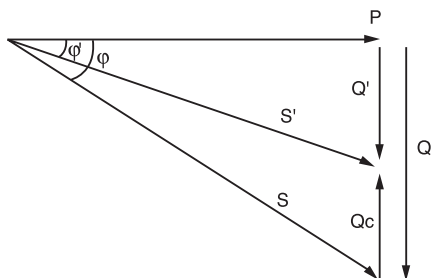


Fig. L9: Diagramă exemplificând principiul compensării $Q_c = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$.

3.1 Principii teoretice

O sarcină inductivă cu factor de putere mic face să apară în generator și în sistemele de transport/distribuție un curent reactiv (defazat cu 90° în urma tensiunii) însoțit de pierderi de putere și căderi de tensiune, după cum s-a arătat în subcapitolul 1.1. Dacă se adaugă sarcinii o baterie de condensatoare în paralel, curentul reactiv capacitiv al acesteia va urma același traseu în circuit ca și curentul reactiv existent anterior. Deoarece, conform paragrafului 1.1, acest curent capacitiv I_C (care prezintă un defazaj de 90° , înaintea tensiunii) este în opoziție de fază cu curentul reactiv anterior (I_L), iar ambii curenți circulă pe același traseu, aceștia se pot anula reciproc. Dacă bateria de condensatoare este suficient de mare, se poate ca $I_C = I_L$ și deci să nu mai existe curent reactiv în circuitul din amonte de condensatoare.

Aceasta se observă în Fig. L8 (a) și (b) care prezintă numai curenți reactivi. În această figură:

R reprezintă elementele de putere activă ale sarcinii

L reprezintă elementele de putere reactivă (inductivă) ale sarcinii

C reprezintă elementele cu putere reactivă (capacitivă) din echipamentul de corecție a factorului de putere (adică condensatori).

Din diagrama (b) a Fig. L8 se observă că bateria de condensatoare C alimentează tot curentul reactiv solicitat de sarcină. Din acest motiv condensatoarele sunt denumite uneori generatoare de putere reactivă în avans.

În diagrama (c) a Fig. L8 este adăugată componenta activă a curentului și se vede că la o compensare totală sarcina apare ca un sistem rezistiv, deci cu un factor de putere 1.

În general nu este economic să se compenseze total o instalație electrică.

Figura L9 folosește diagrama prezentată în subcapitolul 1.3 (vezi Fig. L3) pentru a ilustra principiul compensării parțiale a puterii reactive de la valoarea Q la Q' folosind o baterie de condensatoare de putere Q_c . Puterea aparentă inițială S se reduce la S' .

Exemplu:

Un motor consumă 100 kW la $\cos \varphi = 0,75$ (adică $\tan \varphi = 0,88$). Pentru a mări $\cos \varphi$ la 0,93 (adică $\tan \varphi = 0,4$) este necesară o baterie de condensatoare cu puterea reactivă: $Q_c = 100 (0,88 - 0,4) = 48$ kVAR. Alegerea nivelului de compensare și a calculului parametrilor pentru bateria de condensatoare depind de instalație. Factorii care cer atenție sunt explicați în subcapitolele 5 (generalități), 6 și 7 (transformatoare și motoare).

Notă: Înainte de abordarea proiectului de compensare trebuie luate anumite precauții. În particular, supradimensionarea motoarelor ar trebui evitată, de asemenea funcționarea în gol a acestora. În cazul mersului în gol factorul de putere este foarte redus, ($\approx 0,17$) pentru că puterea activă absorbită de motor este foarte mică.

3.2 Ce echipamente utilizăm?

Compensarea la JT

La joasă tensiune compensarea se face cu:

- condensatoare de valoare fixă;
- echipament prevăzut cu reglare automată sau baterie de condensatoare care permite ajustarea continuă în concordanță cu cerințele impuse de modificarea sarcinii.

Notă: Când puterea reactivă instalată de compensat depășește 800 kVAR și sarcina este stabilă este adesea mai economic să se utilizeze baterii de condensatoare pe partea de medie tensiune.

3 Cum să îmbunătățim factorul de putere?

Compensarea poate fi efectuată de o baterie de condensatoare de valoare fixă, în circumstanțe favorabile.

Baterii de condensatoare cu valoare fixă (vezi Fig. L10)

Această soluție folosește unul sau mai multe condensatoare pentru a obține un anumit nivel de compensare. Comanda poate fi:

- manuală: prin întreruptor automat sau prin separator de sarcină;
- semi-automată: prin contactor;
- prin legare directă la un echipament electric și comutare odată cu comutarea acestuia.

Aceste condensatoare sunt montate:

- la bornele receptorilor inductivi (motoare și transformatoare);
- pe barele de distribuție de la care se alimentează motoare mici sau consumatori inductivi și pentru care compensarea individuală ar fi prea costisitoare;
- în cazurile în care nivelul sarcinii este în general constant.



Fig. L10: Exemplu de baterie de condensatoare de valoare fixă (Varset direct).

De obicei compensarea este efectuată de baterii de condensatoare în trepte, cu reglaj automat.

Baterii de condensatoare automate (vezi Fig. L11)

Acest gen de echipament efectuează controlul automat al compensării, menținând în niște limite strânse valoarea factorului de putere. Astfel de echipament se montează în locurile în care se produc variații mari de puteri active și/sau reactive, de exemplu:

- pe barele tabloului general de distribuție;
- la bornele unui cablu de alimentare, pentru sarcina mare.



Fig. L11: Exemplu de baterie de condensatoare în trepte, cu reglaj automat (Varset).

3 Cum să îmbunătățim factorul de putere?

Bateriile de condensatoare automate permit adaptarea imediată a compensării, în funcție de nivelul sarcinii.

Principii și oportunități de utilizare a compensării automate

O baterie de condensatoare este împărțită într-un număr de secțiuni, fiecare fiind comandată de un contactor. Închiderea unui contactor pune secțiunea aferentă în paralel cu altele care deja sunt conectate. În felul acesta, valoarea capacității bateriei poate fi modificată în trepte.

Un releu de control monitorizează factorul de putere al circuitului respectiv și este reglat să închidă și să deschidă contactoarele necesare pentru a menține o valoare constantă a factorului de putere (în toleranțele impuse de dimensiunea fiecărei trepte de compensare). Transformatorul de curent pentru releul de monitorizare trebuie plasat pe una din fazele cablului de intrare care alimentează circuitul, conform **Fig. L12**.

Bateria de compensare automată Varset Fast, similară ca principiu **Fig. L12** este un echipament de compensare automată a energiei reactive utilizând comutația statică (tiristori) în locul contactorilor uzuali.

Avantajele comutației statice sunt următoarele:

- răspuns imediat la toate fluctuațiile factorului de putere (timp de răspuns 2 s sau 40 ms, în funcție de opțiunile regulatorului);
- număr nelimitat de cicluri închis/deschis;
- eliminarea fenomenelor tranzitorii din rețea la comutația condensatorilor;
- funcționare silențioasă.

Prin compensarea la valoare apropiată de cea cerută de sarcină, posibilitatea de producere a supratensiunilor la sarcină redusă va fi evitată, reducându-se astfel probabilitatea de defectare a utilajelor și a echipamentelor. Supratensiunile cauzate de supracompensarea energiei reactive depind parțial de valoarea impedanței sursei.

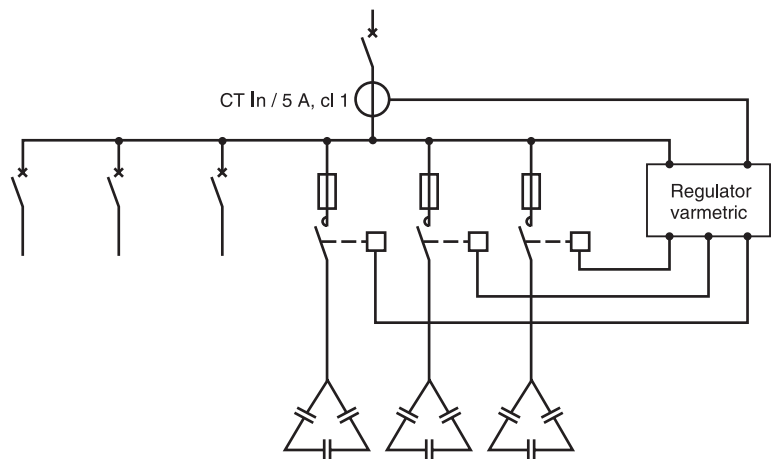


Fig. L12: Principiul bateriei de condensatoare în trepte, cu reglaj automat.

3.3 Alegerea între bateria de condensatoare fixă sau cu reglaj automat

Reguli comune

Când valoarea puterii reactive a condensatoarelor este mai mică sau egală cu 15% din valoarea puterii transformatorului de alimentare se recomandă o baterie de condensatoare de valoare fixă. Peste 15%, este recomandată o baterie de condensatoare controlată automat.

Disponerea condensatoarelor de JT într-o instalație constituie modalitatea de compensare care poate fi: globală (plasament într-un singur punct pentru întreaga instalație), sectorială (sector cu sector), locală (la fiecare dispozitiv în parte) sau o combinație a ultimelor două. În principiu, compensarea ideală este aplicată la locul de consum și are nivelul în acord cu valorile instantanee de putere.

În practică alegerea este decisă de factori tehnici și economici.

4 Unde se instalează condensatoarele pentru compensarea energiei reactive?

Când sarcina este continuă și stabilă se poate aplica compensarea globală.

4.1 Compensare globală (vezi Fig. L13)

Principiu

Bateria de condensatoare este conectată la barele tabloului general de distribuție de JT a instalației și rămâne în funcțiune pe durata regimului normal.

Avantaje

Compensarea de tip global:

- reduce penalitățile de depășire a consumului de energie reactivă contractat;
- reduce cererea de putere aparentă, pe care se bazează funcționarea sarcinilor permanente;
- reduce încărcarea transformatorului, care devine apt pentru o sarcină mai mare, dacă este nevoie.

Comentarii

- curentul reactiv continuă să existe în toate conductoarele cablurilor care pleacă de la tabloul principal de distribuție de JT;
- din motivul enunțat, dimensionarea acestor cabluri și a pierderilor de putere din ele, nu este îmbunătățită printr-o compensare globală.

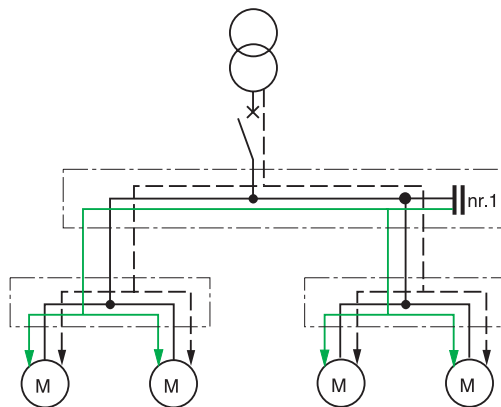


Fig. L13: Compensare globală.

Compensarea sectorială este recomandată când instalația este extinsă și în cazul în care evoluția sarcinii de timp diferă în diferite părți ale instalației.

4.2 Compensare sectorială (vezi Fig. L14)

Principiu

Bateria de condensatoare este conectată la barele de distribuție ale fiecărui tablou de distribuție intermediar, ca în Fig. L14.

De această alegere beneficiază o parte semnificativă a instalației, în particular cablul de alimentare de la tabloul general de distribuție la fiecare tablou intermediar, unde sunt aplicate măsurile de compensare.

Avantaje

Compensarea pe sectoare:

- reduce penalitățile pentru consum excesiv de putere reactivă;
- reduce cererea de putere aparentă pe care se bazează funcționarea sarcinilor permanente;
- menajează transformatorul care devine apt pentru o sarcină mai mare, dacă este necesar;
- dimensiunile cablurilor în distribuția locală se pot reduce sau se pot alimenta sarcini suplimentare;
- pierderile în aceleași cabluri se reduc.

Comentarii

- curentul reactiv continuă să circule în toate cablurile din aval de tablourile de distribuție intermediare;
- din acest motiv nu se pot optimiza dimensiunile cablurilor și nu este posibilă diminuarea pierderilor din ele prin compensarea sectorială;
- când au loc modificări mari de sarcină există riscul de supracompensare și în consecință de supratensiune, cu problemele aferente.

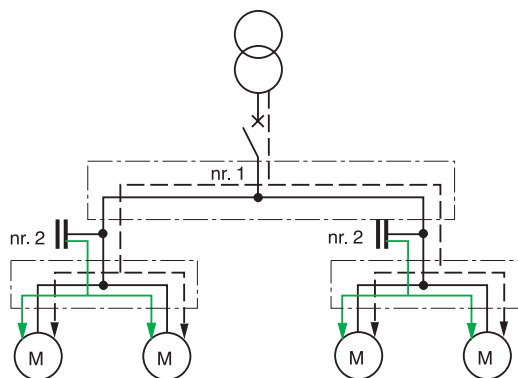


Fig. L14: Compensarea sectorială.

4 Unde se instalează condensatoarele pentru compensarea energiei reactive?

Se ia în considerare compensarea individuală atunci când puterea motorului este semnificativă în comparație cu puterea întregii instalații.

4.3 Compensare individuală

Principiu

Condensatoarele sunt conectate direct la bornele mașinii inductive (în special motoare, vezi subcapitolul 7). Compensarea individuală poate fi utilizată atunci când puterea motorului este semnificativă în raport cu puterea totală a instalației (kVA). Valoarea puterii reactive în bateria de condensatoare este de ordinul 25% din puterea activă a motorului. De asemenea, o compensare suplimentară la originile instalației (aproape de transformator) se poate dovedi avantajoasă.

Avantaje

Compensarea individuală:

- reduce penalitățile pentru consumul excesiv de putere reactivă;
- reduce puterea aparentă cerută;
- reduce dimensiunile cablurilor și pierderile în acestea.

Comentarii

- nu mai există curenți reactivi semnificativi în instalație.

5 Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?

5.1 Metoda generală

Listarea cererilor de putere reactivă în etapa de proiectare

Această listă se face în același fel ca cea pentru puterea aparentă, descrisă în capitolul A. Se pot determina valorile de putere activă și reactivă ale sarcinii la fiecare nivel al instalației (în punctele de distribuție și subdistribuție).

Optimizarea tehnico-economică pentru o instalație existentă

Valoarea optimă a capacităților de compensare, pentru o instalație existentă, se determină cu ajutorul următoarelor considerații principale:

- facturile anterioare instalării condensatoarelor;
- costurile diminuate, în urma instalării condensatoarelor;
- costurile pentru:
 - achiziționarea condensatoarelor și a echipamentului de comandă (contactoare, dulapuri, controlere, etc.),
 - instalare și întreținere,
 - pierderile prin încălzirea dielectricului din condensatoare în comparație cu reducerea pierderilor în cabluri, transformator, etc. ca urmare a instalării bateriei de condensatoare.

În subcapitolele 5.3, 5.4 se dau mai multe metode simplificate de calcul a tarifelor (comune pentru Europa).

5.2 Metoda simplificată

Principiu general

Pentru cele mai multe cazuri practice, este recomandabil un calcul aproximativ care poate fi bazat pe ipoteza că $\cos \varphi = 0,8$ (inductiv) înainte de compensare. Cu scopul de a corecta factorul de putere la o valoare suficientă pentru a evita penalitățile (aceasta depinde de structura locală a tarifelor, dar în acest exemplu va fi propusă valoarea 0,93) și pentru a reduce pierderile, căderile de tensiune, etc. în instalație, se poate lua ca referință **Tab. L15** de pe pagina următoare.

Pentru creșterea de la 0,8 la 0,93 a factorului de putere, sunt necesari 0,355 kVAR pentru fiecare kW de sarcină. Deci puterea reactivă într-o baterie de condensatoare conectată la barele tabloului principal de distribuție este $Q(\text{kVAR}) = 0,355 \times P(\text{kW})$. Această aproximație simplă permite determinarea rapidă a cerințelor condensatoarelor de compensare la modul global, parțial sau individual.

Exemplu

Puterea instalației este 666 kVA. Se cere corectarea factorului de putere de la 0,75 la 0,928. Puterea activă necesară este: $666 \times 0,75 = 500 \text{ kW}$.

În **Tab. L15** la intersecția liniei de $\cos \varphi = 0,75$ cu coloana de $\cos \varphi = 0,93$ se obține valoarea 0,487 kVAR/kW. Pentru 500 kW rezultă $500 \times 0,487 = 244 \text{ kVAR}$ puterea corespunzătoare capacității de compensare.

Notă: această metodă este valabilă pentru orice nivel de tensiune, adică este independentă de tensiune.

5 Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?

Înainte de compensare		kVAR ai bateriei de condensatoare de instalat pe kW de sarcină, pentru a îmbunătăți cos φ sau tan φ la valoarea dorită													
tan φ	cos φ	tan φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
		cos φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Valori selectate ca exemplu în subparagraful 5.2.

Valori selectate ca exemplu în subparagraful 5.4.

Tab. L15: kVAR de instalat pentru un kW de sarcină, pentru a îmbunătăți factorul de putere dintr-o instalație.

Examinarea diverselor facturi de energie acoperind perioada dificilă a anului, relativ la sarcină, permite determinarea nivelului de compensare necesar pentru a evita plata de energie reactivă în exces, în cazul anumitor tipuri de tarife. Perioada de amortizare a unei baterii de condensatoare și a echipamentului aferent este în general de 18 luni.

5.3 Metoda bazată pe evitarea penalizărilor tarifare

Metoda următoare permite calculul valorii unei baterii de condensatoare bazat pe detaliile din factura de energie, unde structura tarifului corespunde celei descrise în subcapitolul 2.1 al acestui capitol.

Această metodă determină compensarea minimă necesară pentru a evita aceste plăți, care se bazează pe consumul de kVARh.

Procedura este următoarea:

■ Se consideră cheltuielile cu consumul pe 5 luni de iarnă (în Franța noiembrie-martie inclusiv).

Notă: În zone cu climat tropical, perioada cu consumul cel mai mare este vara (datorită consumului cu aerul condiționat) astfel că și în acest caz apare o perioadă cu tarif mare. În prezentul exemplu ne vom referi la condițiile de iarnă din Franța.

■ Se identifică cuantumul cheltuielilor referitoare la "consumul de energie reactivă" și "kVARh de tarifat". Se alege nota de plată care conține cel mai mare număr de kVARh (după verificarea faptului că aceasta nu este o situație excepțională). De exemplu 15.966 kVARh în ianuarie.

■ Se evaluează întreaga perioadă de lucru din această lună, de exemplu 220 ore = 22 zile x 10 ore/zi. Orele care trebuie luate în considerare sunt cele din intervalul în care sarcina este cea mai dificilă și în care survine în cel mai mare vârf de sarcină din sistemul energetic. Această situație este dată în documentele de tarificare și durează 16 ore în fiecare zi între 6:00 și 22:00 sau între 7:00 și 23:00, funcție de regiune. În afara acestui interval, nu există nici o plată relativă la consumul de energie reactivă.

■ Valoarea de compensat în kVAR = kVARh din nota de plată/numărul de ore de funcționare⁽¹⁾ = Q_c .

Valoarea capacității bateriei de condensatoare se alege ușor mai mare decât cea calculată.

Unii producători pot oferi nomograme, elaborate special pentru a facilita aceste calcule, în concordanță cu tarifele specifice. Aceste elemente și documentația aferentă recomandă echipamentul potrivit și schemele de comandă, atrăgând atenția asupra constrângerilor impuse de tensiunile armonice din sistemul energetic. Asemenea tensiuni implică condensatoare supradimensionate (în ce privește disiparea de căldură și valorile tensiunii și curentului) și/sau inductanțe sau filtre de suprimare a armonicilor.

5.4 Metoda bazată pe reducerea puterii aparente contractate

Pentru consumatorii pentru care tarifarile sunt bazate pe o plată fixă per kVA declarat, plus o plată pe kWh consumat, este evident că o reducere a numărului de kVA declarați este benefică. Diagrama din **Fig. L16** arată că la creșterea factorului de putere valoarea puterii aparente scade atunci când puterea activă rămâne constantă.

Corecția factorului de putere urmărește (în afară de alte avantaje) reducerea nivelului declarat al puterii aparente și nedepășirea acestuia în nici o situație. În felul acesta, se evită plata unor prețuri excesive pentru kVA în perioadele critice și/sau declanșarea întreruptorului principal al circuitului. **Tabelul L15** (de pe pagina anterioară) indică numărul de kVAR de compensat per kW de sarcină, necesar pentru corelația factorului de putere de la o valoare la alta.

Exemplu:

Un supermarket a declarat o sarcină de 122 kVA la un factor de putere de 0,7, adică puterea activă este 85,4 kW. Contractul acestui consumator este bazat pe o valoare în trepte declarată pentru puterea aparentă (trepte de 6 kVA până la 108 kVA și de 12 kVA peste această valoare; aceasta este o caracteristică comună a multor tarife în două părți sau binomiale). În exemplul dat, nota de plată se va face pentru 132 kVA. Folosind **Tabelul K15** se poate vedea că o baterie de condensatoare de 60 kVAR va corecta factorul de putere de la 0,7 la 0,95.

Valoarea puterii aparente devine $\frac{85,4}{0,95} = 90 \text{ kVA}$, deci constatăm o îmbunătățire cu 30%.

*Pentru tarifele în 2 părți (binome), bazate în parte pe valoarea declarată a puterii aparente, **Tabelul L17** permite determinarea puterii reactive de compensat, necesară reducerii puterii aparente declarate și prevenirii depășirii acesteia.*

L14

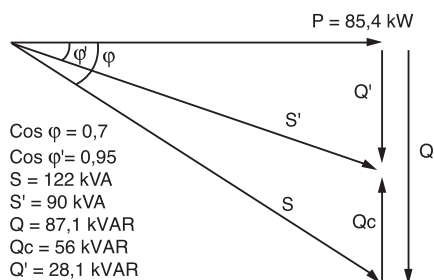


Fig. L16: Reducerea puterii maxime contractate (kVA) prin îmbunătățirea factorului de putere.

⁽¹⁾ În perioada de facturare în orele în care energia reactivă este tarifată pentru cazul considerat mai sus:

$$Q_c = \frac{15,966 \text{ kVARh}}{220 \text{ h}} = 73 \text{ kVAR}$$

6 Compensarea la bornele transformatorului

Instalarea unei baterii de condensatoare poate evita necesitatea schimbării transformatorului, în eventualitatea creșterii sarcinii.

6.1 Compensarea pentru creșterea puterii active disponibile

Măsurile similare acelor luate pentru reducerea puterii aparente maxime declarate, adică îmbunătățirea factorului de putere, conform subcapitolului 5.4 îmbunătățesc funcționarea transformatorului prin mărirea puterii active debitate.

În cazul creșterii sarcinii este posibil ca în acest mod să se evite înlocuirea transformatorului cu o unitate mai mare. **Tabelul L17** prezintă în mod direct disponibilitatea de putere (kW) a transformatoarelor încărcate la sarcină maximă la diferiți factori de putere, din care se poate observa creșterea puterii active de ieșire pe măsura creșterii factorului de putere.

tan φ	cos φ	Puterea aparentă nominală a transformatorului (kVA)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,00	1	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1225	1568	1960
0,29	0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1200	1536	1920
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1175	1504	1880
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1150	1472	1840
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1125	1440	1800
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1100	1408	1760
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1075	1376	1720
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1050	1344	1680
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1025	1312	1640
0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1000	1280	1600
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1248	1560
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1216	1520
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1184	1480
0,96	0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1152	1440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1120	1400

Tab. L17: Puterea activă disponibilă la încărcarea maximă a unui transformator, când sarcina este alimentată la diferite valori ale factorului de putere.

Exemplu: (vezi Fig. L18)

O instalație este alimentată de la un transformator de 630 kVA cu sarcina de 450 kW

(P_1) cu factor de putere mediu 0,8. Puterea aparentă $S_1 = \frac{450}{0,8} = 562$ kVA

Puterea reactivă corespunzătoare

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = 337 \text{ kVAR}$$

Se anticipează creșterea puterii active cu valoarea $P_2 = 100$ kW la un factor de putere de 0,7.

$$\text{Puterea aparentă } S_2 = \frac{100}{0,7} = 143 \text{ kVA}$$

Puterea reactivă corespunzătoare

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = 102 \text{ kVAR}$$

Care este valoarea minimă a capacității de instalat pentru a evita schimbarea transformatorului?

Puterea activă totală este: $P = P_1 + P_2 = 550$ kW.

Puterea reactivă maximă pe care o poate furniza transformatorul, la 630 kVA și debitând 550 kW este:

$$Q_m = \sqrt{S^2 - P^2} \quad Q_m = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307 \text{ kVAR}$$

Puterea reactivă totală, absorbită de instalație înainte de compensare este:

$$Q_1 + Q_2 = 337 + 102 = 439 \text{ kVAR.}$$

Deci, valoarea minimă a bateriei de condensatoare de instalat este:

$$Q \text{ (kVAR)} = 439 - 307 = 132 \text{ kVAR.}$$

Acest calcul nu a luat în considerare vârfurile de sarcină și duratele lor.

Cea mai bună corecție posibilă, aceea prin care cos φ atinge valoarea 1, ar permite o rezervă de putere activă de $630 - 550 = 80$ kW. Bateria de condensatoare ar trebui să fie în acest caz de 439 kVAR.

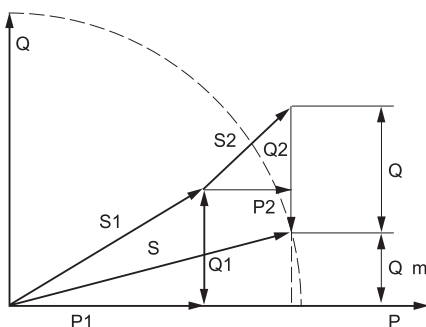


Fig. L18: Compensarea Q permite adăugarea sarcinii adiționale S_2 , fără a fi nevoie de înlocuirea transformatorului existent a cărei putere este limitată la valoarea S .

Atunci când contorizarea se face pe partea de MT a transformatorului uneori este necesar să se asigure (funcție de modul de tarifare) compensarea pierderilor de energie reactivă din transformator.

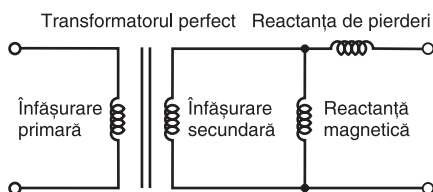


Fig. L19: Reactanțele transformatorului pe fază.

Puterea reactivă absorbită de un transformator nu poate fi neglijată și poate reprezenta până la aproximativ 5% din puterea transformatorului când acesta este încărcat aproape de nominal. Compensarea se poate face cu o baterie de condensatoare. În transformator puterea reactivă este absorbită de cele două reactanțe paralele (magnetizare) și serie (fluxul de pierderi). Compensarea completă se poate face cu o baterie de condensatoare conectată în paralel la JT.

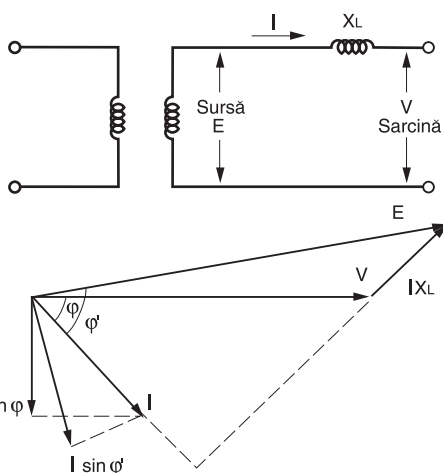


Fig. L20: Puterea reactivă absorbită de inductanța serie.

6.2 Compensarea energiei reactive absorbite de transformator

Natura reactanțelor inductive ale transformatorului

Considerațiile anterioare au fost făcute relativ la dispozitivele conectate în paralel ca sarcini normale și la bateriile de condensatoare pentru corecția $\cos \varphi$, etc. Motivul este că, pentru cazul conectării în paralel a consumatorilor, se cere cea mai mare cantitate de putere reactivă din rețea. Totuși reactanțele conectate în serie, precum reactanțele inductive ale liniilor de putere și reactanțele de dispersie ale înfășurărilor transformatoarelor, etc., absorb de asemenea putere reactivă.

Atunci când contorizarea se face pe partea de MT a transformatorului, uneori este necesar să se asigure (în funcție de sistemul de tarifare) compensarea pierderilor de energie reactivă din transformator. Dacă sunt luate în considerație numai pierderile de energie reactivă, un transformator se reprezintă schematic ca în **Figura L19**. Toate valorile de reactanțe se referă la secundarul transformatorului, unde reactanța paralelă este corespunzătoare curentului de magnetizare. Curentul de magnetizare rămâne practic constant (la 1,8% din curentul total), independent de sarcină, în condiții normale, adică cu tensiune constantă în primar, astfel că un condensator paralel de valoare fixă poate fi instalat în partea de MT sau JT, pentru a putea compensa puterea reactivă absorbită.

Puterea reactivă absorbită de reactanțele conectate în serie (flux de dispersie)

Diagrama de fazori din **Figura L20** ilustrează acest fenomen.

Componenta reactivă prin sarcină = $I \sin \varphi$ astfel că $Q_L = VI \sin \varphi$.

Componenta reactivă a curentului debitat de sursă = $I \sin \varphi'$ astfel că $Q_E = EI \sin \varphi'$, unde V și E sunt date în kV.

Se poate vedea că $E > V$ și $\sin \varphi' > \sin \varphi$.

Diferența dintre $EI \sin \varphi'$ și $VI \sin \varphi$ este puterea reactivă absorbită de X_L , pe fază.

Se poate arăta că aceasta din urmă este egală cu $I^2 X_L$ (care este analoagă pierderii de putere activă $I^2 R$ (kW) datorate rezistenței serie a liniei, etc.).

Din expresia $I^2 X_L$ se deduce puterea reactivă absorbită la orice valoare a sarcinii pentru un transformator dat, după cum urmează:

Dacă se folosesc valorile raportate - unități relative (în loc de procente) înmulțirea directă dintre I și X_L conduce la rezultat.

Exemplu:

Fie un transformator de 630 kVA, cu tensiune de scurtcircuit de 4%, care funcționează la sarcină nominală.

Care sunt pierderile de putere reactivă? (kVAR)

$4\% = 0,04$ pu $I_{pu} = 1$

pierderile = $I^2 X_L = 12 \times 0,04 = 0,04$ pu kVAR,

unde 1 pu = 630 kVA

În sistemul trifazat, puterea reactivă la pierderi este $630 \times 0,04 = 25,2$ kVAR

La jumătatea sarcinii, adică = 0,5 pu pierderile vor fi:

$0,5^2 \times 0,04 = 0,01$ pu = $630 \times 0,01 = 6,3$ kVAR și așa mai departe.

Acest exemplu și diagrama de fazori din **Fig. L20** arată că:

- factorul de putere în primarul unui transformator în sarcină este diferit (în general mai mic) decât în secundar (se absoarbe putere reactivă);
- pierderile de putere reactivă datorate reactanței de scăpări sunt de ordinul 4% din puterea aparentă a transformatorului;
- pierderile de putere reactivă, datorate reactanței de scăpări sunt proporționale cu pătratul curentului de sarcină.

6 Compensarea la bornele transformatorului

Pentru calculul pierderilor totale de putere reactivă ale transformatorului trebuie adăugate pierderile datorită curentului de magnetizare (aproximativ 1,8% din puterea aparentă a transformatorului) la cele anterior calculate. **Tabelul L21** prezintă pierderile de putere reactivă în cazul unui transformator tipic de distribuție în gol și în sarcină. În principiu inductanțele serie pot fi compensate cu condensatoare serie de valoare fixă (cazul liniilor lungi de IT). Acest aranjament este totuși greu de făcut, așa că la nivelurile de tensiune tratate de această lucrare, se aplică compensarea paralel.

În cazul contorizării la MT este suficient să se crească factorul de putere la o valoare la care transformatorul plus puterea reactivă consumată în sarcină să fie sub nivelul de la care se facturează suplimentar. Acest nivel depinde de tarifar, dar adesea corespunde la o valoare a $\tan \varphi$ de 0,31 ($\cos \varphi = 0,955$).

Puterea nominală (kVA)	Puterea reactivă (kVAR) de compensat	
	În gol	La sarcină nominală
100	2,5	6,1
160	3,7	9,6
250	5,3	14,7
315	6,3	18,4
400	7,6	22,9
500	9,5	28,7
630	11,3	35,7
800	20	54,5
1000	23,9	72,4
1250	27,4	94,5
1600	31,9	126
2000	37,8	176

Tab. L21: Consumul de putere reactivă al transformatoarelor de distribuție cu înfășurarea primară de 20 kV.

Ca un punct de vedere interesant pierderile de putere reactivă într-un transformator pot fi compensate complet reglând bateria de condensatoare la o valoare astfel ca defazajul să fie ușor capacitiv. În astfel de cazuri, toată puterea reactivă a transformatorului este alimentată din bateria de condensatoare, în timp ce factorul de putere la MT este 1, ca în **Fig. L22**.

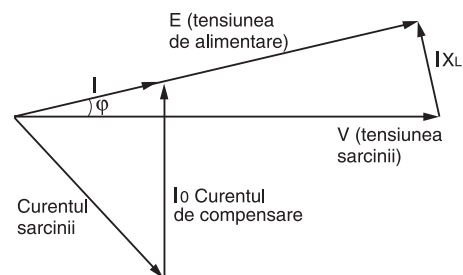


Fig. L22: Supracompensarea pentru compensarea completă a pierderilor de energie reactivă în transformator.

Practic, compensarea pentru pierderea de putere reactivă în transformator este inclusă în condensatoarele de corectare a factorului de putere corespunzător sarcinii, la modul global, sectorial sau individual. Spre deosebire de alți consumatori care absorb putere reactivă, puterea reactivă absorbită de transformatoare (partea datorată reactanței de dispersie) se modifică esențial funcție de nivelul sarcinii, astfel că dacă se face o compensare individuală la transformator, atunci va trebui considerat un nivel mediu de sarcină.

Din fericire, acest consum de putere reactivă reprezintă o mică parte din puterea reactivă a instalației, astfel că dezacordul compensării cu sarcina ce poate apărea din când în când nu reprezintă o problemă.

Tabelul L21 indică valori tipice ale pierderilor de putere reactivă pentru circuitul de magnetizare (coloana "în gol") și de asemenea pentru pierderile totale, la sarcină nominală în cazul transformatoarelor de distribuție de 20 kV (care includ și pierderile în reactanța de dispersie).

7 Îmbunătățirea factorului de putere la motoarele cu inducție

Compensarea individuală a motoarelor este recomandată acolo unde puterea motorului (kVA) este mare în comparație cu puterea totală a instalației.

7.1 Conectarea bateriei de condensatoare și reglajul protecției

Precauții generale

Din cauza consumului mic de putere activă, factorul de putere al unui motor în gol sau cu sarcină mică este redus. Curentul reactiv al motorului rămâne practic constant, indiferent de sarcină, astfel că numărul motoarelor în gol constituie un consum de putere reactivă care este în defavoarea instalației din motivele expuse în secțiunea precedentă.

Se impun două reguli generale în acest sens: motoarele în gol trebuie deconectate și, de asemenea, acestea nu trebuie supradimensionate (pentru a nu funcționa la sarcină minimală).

Conectare

Bateria de condensatoare se conectează direct la bornele motorului.

Motoarele speciale

Motoarele speciale (pas cu pas, ... reversibile) nu se compensează.

Efectul asupra reglajelor echipamentelor de protecție

După aplicarea compensării unui motor, curentul către combinația motor-condensator este mai mic decât înainte de compensare, presupunând același nivel de încărcare mecanică. Aceasta survine datorită faptului că o bună parte din componenta reactivă a curentului este asigurată de condensator, după cum se vede în **Figura L23**.

Când echipamentul de protecție la supracurent este plasat în amonte față de conexiunea motor-condensator (acesta este cazul pentru condensatoare conectate la borne), reglajul releului de supracurent trebuie modificat în raportul:

$$\frac{\cos \varphi \text{ înainte de compensare}}{\cos \varphi \text{ după compensare}}$$

Pentru motoare compensate în acord cu valorile indicate în **Tab. L24** (valori maxime recomandate pentru evitarea autoexcitării motoarelor electrice standard, conform discuției din subcapitolul 7.2) raportul de mai sus variază în funcție de turație conform **Tab. L25**.

L18

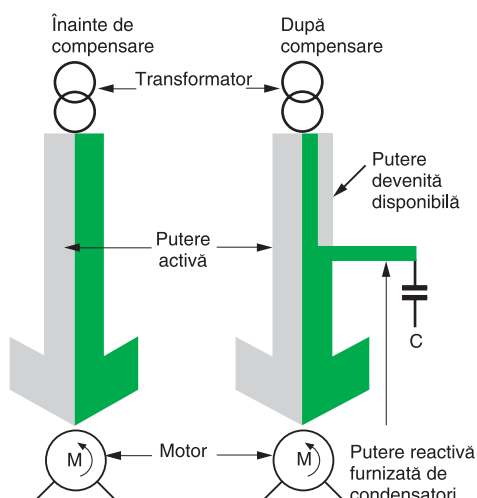


Fig. L23: Înainte de compensare transformatorul furnizează toată puterea reactivă; după compensare condensatorii furnizează o mare parte din puterea reactivă.

Motoare trifazate 230/400 V					
Puterea nominală		kVAR de instalat			
kW	CP	Viteza de rotație (rpm)			
		3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Tab. L24: Numărul maxim de kVAR pentru compensarea energiei reactive ce se pot aplica la bornele motoarelor fără riscul autoexcitării.

Viteza în rpm	Factor de reducere
750	0,88
1000	0,90
1500	0,91
3000	0,93

Tab. L25: Factorul de reducere a reglajului releului de supracurent după compensare.

7 Îmbunătățirea factorului de putere la motoarele cu inducție

Când se conectează o baterie de condensatoare la bornele unui motor electric este important să se verifice dacă valoarea capacității bateriei este sub valoarea la care survine autoexcitația.

7.2 Cum poate fi evitată autoexcitația unui motor cu inducție

Când un motor are o sarcină de mare inerție mecanică, acesta continuă să se rotească (în afara cazurilor de frânare deliberată) chiar după întreruperea alimentării. Datorită “inerției magnetice” a rotorului, o forță electromotoare va fi generată în înfășurarea statorică, pentru o perioadă scurtă de timp după întreruperea circuitului, și se va reduce la zero după 1-2 perioade (în cazul unui motor necompensat). Condensatoarele de compensare constituie o sarcină trifazată, capacitivă, pentru forța electromotoare, care va produce curenți capacitivi în înfășurările statorului. Acești curenți din stator crează un câmp magnetic rotitor în rotor care acționează după aceeași axă și în același sens cu câmpul magnetic, în diminuare, al motorului. Fluxul rotoric crește, curenții în stator se măresc, tensiunea la bornele motorului crește de asemenea, uneori la valori periculoase de mari. Acest fenomen este cunoscut sub numele de autoexcitație și este motivul pentru care generatoarele nu funcționează în mod normal cu factor de putere capacitiv (tensiunea în urma curentului), deoarece există tendința autoexcitării spontane (necontrolate).

Note:

1. Caracteristicile unui motor acționat de inerția sarcinii mecanice nu sunt riguros identice cu caracteristicile în gol. Cu toate acestea echivalența este suficient de precisă pentru cazuri practice.
2. Într-un motor acționând ca generator, curenții sunt puternic reactivi astfel că efectul de frânare (întârziere) asupra motorului este datorat numai sarcinii mecanice reprezentate de ventilatorul de răcire.
3. Curentul (90° în urmă) absorbit de la sursa de alimentare, în condiții normale, de un motor în gol și curentul (90° înainte) injectat în condensatoare, prin funcționarea ca generator a motorului, au aceeași relație de fază la bornele de alimentare. Din aceste motive cele două caracteristici se pot suprapune pe un grafic. Pentru a evita autoexcitarea, descrisă mai sus, puterea reactivă în bateria de condensatoare trebuie limitată la o valoare maximă:
 $Q_c \leq 0,9 \times I_o \times U_n \times \sqrt{3}$ unde I_o este curentul absorbit de motorul în gol și U_n este tensiunea nominală între faze, în kV. **Tabelul L24** (pagina anterioară) indică valorile lui Q_c conform acestui criteriu.

Exemplu

Un motor de 75 kW, 3000 rpm, 400 V, trifazat poate avea o baterie de condensatoare de maxim 17 kVAR, conform **Tab. L24**. Valoarea din tabel este în general mai mică decât valoarea necesară pentru o compensare adecvată a motorului și atingerea valorii lui $\cos \varphi$ necesară în mod normal. Se poate face o compensare adițională, de exemplu instalarea unei baterii de condensatoare de compensare globală, pentru mai mulți consumatori de putere mică.

Motoare și acționări cu inerție mare

În orice instalație în care există acționări electrice comandate de motoare de mare inerție, întreruptoarele sau contactoarele aferente acestor motoare, în eventualitatea căderii alimentării, trebuie să declanșeze rapid. Dacă nu sunt luate astfel de precauții se poate produce autoexcitație până la tensiuni foarte mari, deoarece orice baterie de condensatoare din instalație va fi în paralel cu cea corespunzătoare motorului de mare inerție.

Schema de protecție pentru aceste motoare trebuie să cuprindă un releu de declanșare la supratensiune, sensibil de asemenea la apariția unui flux invers de putere (motorul va alimenta cu energie restul instalației până va fi disipată toată energia mecanică stocată în inerție).

Dacă bateria de condensatoare asociată cu un motor de mare inerție este mai mare decât cea recomandată în **Tab. L24** atunci ea trebuie comandată separat printr-un întreruptor sau contactor care să declanșeze simultan cu întreruptorul sau contactorul principal de comandă al motorului, așa cum arată **Fig. L26**.

Închiderea contactelor principale, trebuie să se facă numai cu contactele bateriei de condensatoare închise în prealabil.

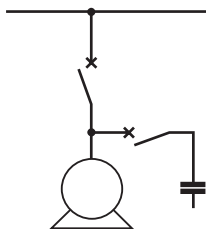


Fig. L26: Conectarea unei baterii de condensatoare la motor.

8 Exemplul unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive

Instalația înainte compensării

$$\vec{kVA} = \vec{kW} + \vec{kVAR}^{(1)}$$

- Puterea reactivă peste nivelul declarat se plătește scump
- Puterea aparentă este semnificativ mai mare decât puterea activă absorbită
- Curentul corespunzător, în exces, produce pierderi de putere activă care se facturează
- Instalația trebuie supradimensionată

Caracteristicile instalației
500 kW $\cos \varphi = 0,75$
 Transformatorul funcționează în suprasarcină
 Puterea aparentă absorbită este:
 $S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{500}{0,75} = 665 \text{ kVA}$
 S = puterea aparentă

- Curentul prin circuit, în aval de întreruptor este:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = 960 \text{ A}$$

- Pierderile în cabluri sunt proporționale cu pătratul curentului: $(960)^2$
 $P = I^2 R$

$\cos \varphi = 0,75$

- Energia reactivă este furnizată de transformator prin conductoarele din instalație
- Transformatorul, întreruptorul și cablurile trebuie să fie supradimensionate

$\cos \varphi = 0,75$
atelier

Instalația după compensare

$$\vec{kVA} = \vec{kW} + \vec{kVAR}^{(1)}$$

- Consumul de energie reactivă este:
 □ eliminat, sau
 □ redus în acord cu $\cos \varphi$ cerut,
- Penalitățile de tarificare:
 □ pentru energie reactivă după caz,
 □ pentru întreaga notă de plată în unele cazuri sunt eliminate;
- Sarcina stabilită bazată pe cererea de putere aparentă este pusă în acord cu valoarea puterii active absorbite.

Caracteristicile instalației
500 kW $\cos \varphi = 0,928$
 Transformatorul nu mai este supraîncărcat
 Putere aparentă necesară 539 kVA
 14% din puterea transformatorului devine disponibilă

- Curentul prin întreruptor este 778 A

- Pierderile în cabluri sunt reduse procentual la $\frac{778^2}{960^2} = 65\%$ din valoarea anterioară, obținându-se astfel o economie de energie activă (kWh)

$\cos \varphi = 0,928$

- Energia reactivă este furnizată de bateria de condensatoare

250 kVAR

- Valoarea bateriei de condensatoare este 250 kVAR, în cinci trepte de 50 kVAR, controlate automat

$\cos \varphi = 0,75$
atelier

Notă: În realitate $\cos \varphi$ în atelier rămâne 0,75, dar $\cos \varphi$ pentru toată instalația în amonte de bateria de condensatoare la bornele de MT ale transformatorului este 0,928. Cum s-a arătat în subcapitolul 6.2, $\cos \varphi$ în înfășurarea de MT va fi ușor mai scăzut⁽²⁾ datorită pierderilor reactive din transformator.

Fig. K27: Comparatie tehnico-economica a unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive.

(1) Săgețile indică mărimi vectoriale.

(2) Mai mult decât înainte de corecție.

9 Efectele armonicilor

9.1 Probleme apărute datorită armonicilor sistemului de alimentare

Echipamentele care utilizează componente electronice de putere (variatoare de viteză pentru motoare electrice, redresoare de putere comandate - cu tiristoare -, etc.) au făcut să apară probleme datorate armonicilor din sistemul respectiv. Armonicile au apărut din primele etape ale activității industriale și au fost cauzate de impedențele neliniare de magnetizare ale transformatoarelor, balasturi de lămpi fluorescente, etc.

Armonicile dintr-un sistem trifazat simetric sunt în general de ordin impar: a 3-a, a 5-a, a 7-a ..., și cu amplitudini descrescătoare funcție de ordinul armonicii. Toate aceste elemente pot fi folosite în diferite moduri pentru a reduce armonicile specifice la valori neglijabile, eliminarea completă a acestora nefiind posibilă. În această secțiune a lucrării sunt recomandate mijloace practice de reducere a influenței armonicilor, cu referire în special la bateriile de condensatoare.

Condensatoarele sunt sensibile la componentele armonice ale tensiunii de alimentare, deoarece reactanța capacitivă scade în funcție de creșterea frecvenței. În practică, aceasta înseamnă că un procent relativ mic de tensiune corespunzătoare unei armonici, poate cauza un curent semnificativ prin capacitate.

Prezența componentelor armonice duce la distorsiunea formelor de undă ale curentului și tensiunii; distorsiunea este cu atât mai mare, cu cât conținutul de armonici crește.

Dacă frecvența proprie a bateriei de condensatoare/combinatia de reactanțe din sistemul de alimentare este apropiată de o anumită armonică, atunci se produce un fenomen de rezonanță parțială, cu valori crescute pentru curentul și tensiunea corespunzătoare frecvenței acelei armonici. În acest caz particular curentul amplificat produce supraîncalzirea condensatoarelor și eventuala degradare a dielectricului care poate conduce și la o eventuala distrugere a condensatorului. Există mai multe soluții pentru această problemă, printre care:

- conectarea în paralel a unui filtru de armonici și/sau reactanțe de suprimare a armonicilor, sau
- filtre active, sau
- filtre hibride.

Armonicile constituie un motiv de supradimensionare a condensatoarelor și de introducere a reactanțelor serie, pentru suprimarea armonicilor în rețea.

9.2 Soluții posibile

Filtre pasive (vezi Fig. L28)

Contracararea efectelor armonicilor

Prezența armonicilor în tensiunea de alimentare duce la apariția unei valori de curent anormal de mare prin condensatoare. În această situație, se consideră curentul de calcul prin acestea de 1,3 ori valoarea efectivă a curentului nominal. Toate elementele serie, cum ar fi conexiuni, siguranțe, aparate de comutație, etc. asociate cu condensatoarele vor fi de asemenea supradimensionate (între 1,3 și 1,5 din valoarea nominală).

Distorsiunea armonică a unei de tensiune se manifestă în mod frecvent sub forma unei unde "ascuțite", a cărei valoare de vârf este mai mare decât valoarea de vârf a sinusoidei normale. Acest fenomen, împreună cu alte cauze, cum ar fi supratensiuni cauzate de rezonanță, necesită o creștere a nivelului de izolație a condensatoarelor utilizate în astfel de circuite, față de cele de tip "standard". Pentru funcționarea satisfăcătoare a bateriilor de condensatoare, luarea în considerare a celor două măsuri este foarte importantă și conduce la funcționări satisfăcătoare.

Contracararea efectelor fenomenului de rezonanță

Condensatoarele sunt elemente reactive liniare și în consecință nu generează armonici.

Instalarea unor condensatoare într-un sistem de alimentare (în care impedențele sunt predominant inductive) poate duce la rezonanțe parțiale sau totale la anumite frecvențe armonice.

Ordinul armonicii h_0 a frecvenței proprii de rezonanță între inductanța sistemului și capacitatea bateriei de condensatoare este:

$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$$

unde:

S_{sc} = puterea de scurtcircuit în rețeaua trifazată, la bornele bateriei de condensatoare, exprimată în kVA

Q = puterea bateriei, în kVAR

h_0 = ordinul armonicii corespunzătoare frecvenței proprii f_0 adică $\frac{f_0}{50}$ pentru

rețeaua de 50 Hz, sau $\frac{f_0}{60}$ pentru rețeaua de 60 Hz.

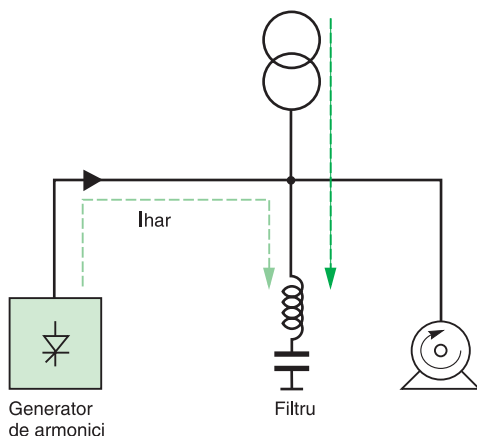


Fig. L28: Principiul de operare a unui filtru pasiv.

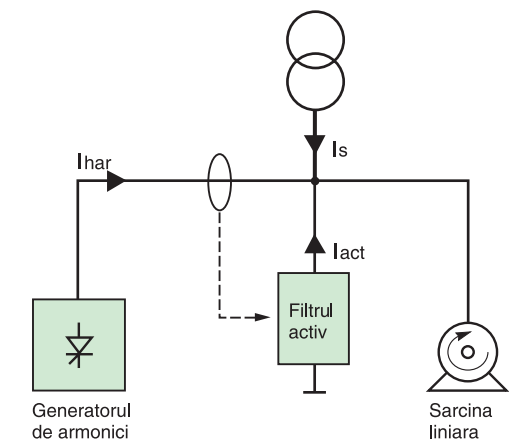


Fig. L29: Principiul de operare a unui filtru activ.

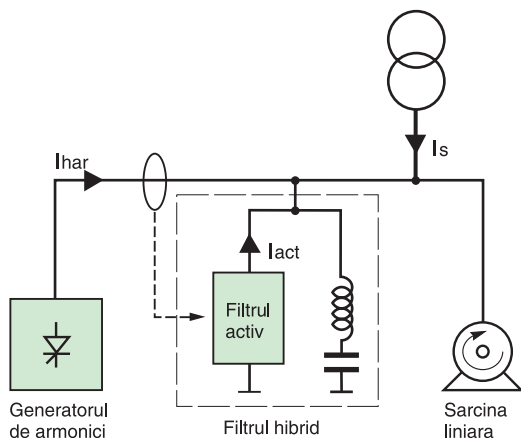


Fig. L30: Principiul de operare a unui filtru hibrid.

De exemplu: $h_o = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$ poate da o valoare $h_o = 2,93$ care arată că frecvența proprie a condensatorului/combinatie inductanță-sistem este în apropierea armonicii a treia.

Din $h_o = \frac{f_o}{50}$ se observă că $f_o = 50 h_o = 50 \times 2,93 = 146,5$ Hz.

Cu cât este mai apropiată frecvența proprie de o armonică, cu atât va fi mai mare efectul de distorsiune. În exemplul de mai sus, există condiții de rezonanță puternică cu armonica a treia a unei distorsiunite.

În astfel de cazuri, se iau măsuri pentru a schimba frecvența proprie la o valoare care să nu producă rezonanță cu nici o armonică importantă. Aceasta se realizează prin adăugarea unei inductanțe de suprimare a armonicilor, conectată în serie cu bateria de condensatoare.

În rețeaua de 50 Hz, aceste reactanțe sunt reglate să producă fenomenul de rezonanță a ansamblului, baterie de condensatoare + reactanță la frecvența de 190 Hz. În rețeaua de 60 Hz, reactanța se reglează pentru 228 Hz. Aceste frecvențe corespund unei valori $h_o = 3,8$ pentru 50 Hz, aceasta reprezentând mijlocul intervalului dintre armonica a 3-a și a 5-a.

În această structură, prezența reactanței crește curentul de frecvență fundamentală (50 Hz sau 60 Hz) cu o valoare redusă (7 - 8%). Tensiunea la bornele capacității se mărește în aceeași proporție.

Aceast fapt se ia în considerare, de exemplu, folosind condensatoare proiectate pentru 440 V în rețeaua de 400 V.

Filtre active (vezi Fig. L29).

Filtrele active se bazează pe tehnologia electronicii de putere. Ele sunt în general instalate în paralel cu o sarcină neliniară.

Filtrele active analizează armonicile absorbite de o sarcină și injectează același curent armonic către sarcină, pe faza corespunzătoare. Ca urmare curenții armonici sunt complet neutralizați în punctul considerat. Nu mai avem deci de-a face cu circulație de curenți sau cu armonici către sursă.

Principalul avantaj al filtrelor active este că ele garantează compensarea armonică eficientă chiar în cazul eventualelor schimbări operate în instalație. De asemenea ele sunt extraordinar de ușor de folosit datorită:

- autoconfigurării la sarcinile armonice, indiferent de ordinul acestora;
- eliminării riscului suprasarcinii;
- compatibilității cu generatoarele;
- posibilității de conectare la orice punct din rețeaua electrică;
- mai multe filtre active pot fi utilizate în aceeași instalație, pentru a crește eficiența depoluării (de exemplu când se instalează un nou echipament se adaugă un nou filtru activ).

Filtrele active compensează de asemenea și energia reactivă.

Filtre hibride (vezi Fig. L30).

Acest tip de filtre combină avantajele filtrelor pasive și active. O frecvență poate fi filtrată de un filtru pasiv și celelalte frecvențe de filtrul activ.

9.3 Alegerea soluției optime

Tabelul L31 arată criteriile ce trebuie luate în considerație pentru selectarea celei mai potrivite tehnologii în funcție de aplicație.

	Filtru pasiv	Filtru activ	Filtru hibrid
Aplicații	Industrial	Terțiar	Industrial
... cu puterea totală neliniară (variație de viteză, redresoare, UPS, etc.)	mai mare decât 200 kVA	mai mic decât 200 kVA	mai mare decât 200 kVA
Compensarea en. reactive		Nu	
Necesitatea reducerii distorsiunii armonice pentru sarcini sensibile			
Necesitatea reducerii distorsiunii armonice pentru evitarea suprasarcinii pe cabluri			
Necesitatea concordanței cu limite stabilite ale armonicilor	Nu		

Tab. L31: Selecția celei mai potrivite tehnologii în funcție de aplicație.

Pentru un filtru pasiv alegerea soluțiilor se face conform următorilor parametri:

- G_n = suma puterilor aparente ale tuturor dispozitivelor care generează armonici (convertizoare statice, invertore, variatoare de viteză, etc.) conectate la barele la care este conectată și bateria de condensatoare. Dacă pentru unele dispozitive se dă puterea activă, la calculul puterii aparente se consideră factorul de putere 0,7.
- S_{sc} = puterea de scurtcircuit trifazată, la bornele bateriei de condensatoare.
- S_n = suma puterilor aparente ale tuturor transformatoarelor de alimentare ale sistemului din care fac parte barele de distribuție.

Dacă un număr de transformatoare funcționează în paralel, scoaterea din funcțiune a unuia sau a mai multora dintre ele va produce modificări sensibile asupra S_{sc} și S_n . Cu acești parametri se poate face o alegere a capacității care să asigure un nivel de funcționare acceptabil din punct de vedere al armonicilor de curent și tensiune, conform **Tab. L32**.

- Regula generală valabilă pentru orice mărime a transformatoarelor

$G_h \leq \frac{S_{sc}}{120}$	$\frac{S_{sc}}{120} < G_h \leq \frac{S_{sc}}{70}$	$G_h > \frac{S_{sc}}{70}$
Condensatori standard	Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% (excepție cei de 230 V)	Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% + bobine de suprimare a armonicilor

- Regula simplificată pentru transformatoare ≤ 2 MVA

$G_h \leq 0,15 S_n$	$0,15 S_n < G_h \leq 0,25 S_n$	$0,25 S_n < G_h \leq 0,60 S_n$	$G_h > 0,60 S_n$
Condensatori standard	Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% (excepție cei de 230 V)	Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% + bobine de suprimare a armonicilor	Filtre

Tab. L32: Alegerea soluțiilor de limitare a armonicilor asociate unei baterii de condensatoare de JT alimentată prin transformator (transformatoare).

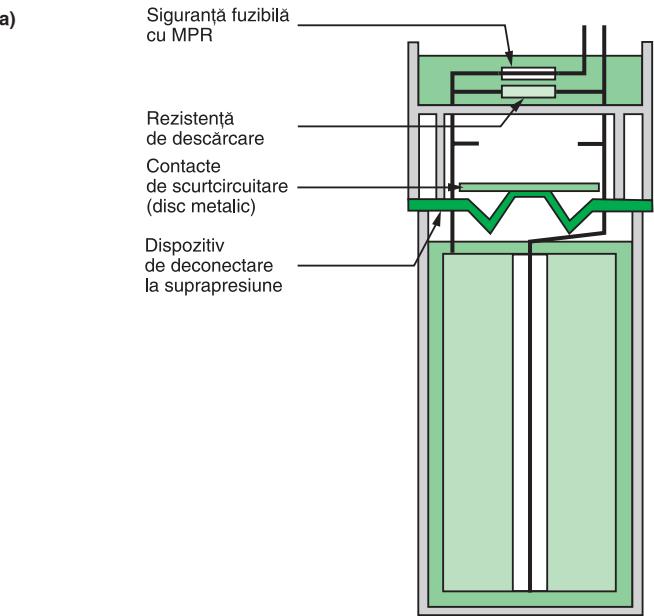
10 Instalarea bateriilor de condensatoare

10.1 Condensatoarele

Tehnologie

Condensatoarele sunt de tip uscat (adică fără lichid dielectric) și sunt formate din două role de folie de polypropilena metalizată, cu proprietăți autocicatrizante. Condensatoarele sunt protejate de un sistem (dispozitiv de suprapresiune cuplat cu siguranță MPR) care deconectează condensatorul în cazul unei defecțiuni interne. Schema de protecție funcționează în felul următor:

- un curent de scurtcircuit prin dielectric arde siguranța;
- uneori nivelul de curent este mai mare decât cel normal, dar insuficient ca să topească siguranța, de exemplu datorită unor scurgeri microscopice în stratul de dielectric. Astfel de defecte se rezolvă prin refacerea izolației datorită încălzirii locale produsă de curentul de scurgere, adică prin autocicatrizare;
- dacă curentul de scurgere persistă, defectul poate evolua spre un scurtcircuit, și siguranța va funcționa;
- gazul produs prin vaporizarea stratului metallic, în zona de defect, produce treptat o creștere a presiunii în containerul de plastic. Aceasta determină acționarea dispozitivului sensibil la presiune, care scurtcircuitează condensatorul prin contactele sale determinând funcționarea siguranței. Condensatoarele au carcase din material izolant, prevăzute cu dublă izolare, eliminând astfel necesitatea conectării la pământ (vezi Fig. L33).



b)

Caracteristici electrice		
Standarde		Standarde CEI 60439-1, NFC 54-104, VDE 0560 CSA, teste UL
Gama de operare	Tensiune nominală	400 V
	Frecvență nominală	50 Hz
Toleranța capacității		- 5% la + 10%
Game de temperatură (până la 65 kVAR)	Temperatură maximă	55° C
	Temperatură medie pentru 24 h	45° C
	Temperatură medie anuală	35° C
	Temperatură minimă	- 25° C
Tensiune de izolație		Tensiune de ținere 50 Hz, 1 min: 6 kV Tensiune de ținere la impuls 1,2/50 μs: 25 kV
Suprasarcina de curent admisibilă	Gama "Clasic" ⁽¹⁾	Gama "Confort" ⁽¹⁾
	30%	50%
Suprasarcina de tensiune admisibilă		10% 20%

Fig. L33: Condensator, (a) secțiune, (b) caracteristici electrice.

(1) Pentru produse marca Merlin Gerin.

10 Instalarea bateriilor de condensatoare

10.2 Alegerea protecțiilor, aparaturii de comandă și cablurilor de conectare

Alegerea cablurilor din amonte, a protecției și a dispozitivelor de comandă depinde de curentul de sarcină.

Pentru condensatoare, curentul este funcție de:

- tensiunea aplicată și armonicile ei;
- valoarea capacității.

Curentul nominal I_n într-un condensator de putere reactivă Q , alimentat la un sistem trifazat având tensiunea U_n (kV) (între faze), este dat de:

$$I_n = \frac{Q}{U_n \sqrt{3}}$$

Domeniul de variație admisibil al tensiunii de frecvență fundamentală, plus componentele armonice, împreună cu toleranțele de fabricație ale condensatorului (pentru o valoare nominală declarată) pot să conducă la o creștere a curentului cu 50% peste valoarea calculată. Aproximativ 30% din această creștere este datorată variației de tensiune, în timp ce aprox. 15% este datorată toleranțelor de fabricație astfel ca: $1,3 \times 1,15 = 1,5 I_n$.

Toate componentele care suportă curentul capacitiv trebuie adaptate "cele mai defavorabile condiții", la o temperatură ambiantă de maximum 50° C. În cazul unor temperaturi mai mari de 50° C în interiorul unor incinte, este necesară o supradimensionare a componentelor aferente.

Protecție

Mărimea întreruptorului automat poate fi aleasă pentru a permite reglajul suprasarcinii la:

- $1,36 \times I_n$ pentru condensatori din gama "Classic"⁽¹⁾
- $1,50 \times I_n$ pentru condensatori din gama "Confort"⁽¹⁾
- $1,12 \times I_n$ pentru condensatori din gama „Harmony”, asociați cu bobina cu rang de acord de 2,7 f⁽²⁾
- $1,19 \times I_n$ pentru condensatori din gama "Harmony", asociați cu bobina cu rang de acord de 3,8 f⁽²⁾
- $1,31 \times I_n$ pentru condensatori din gama "Harmony", asociați cu bobina cu rang de acord de 4,3 f⁽²⁾

Reglajul protecției la scurtcircuit trebuie să fie insensibil la curentul de punere sub tensiune. Reglajul va fi $10 \times I_n$ pentru condensatori din gamele "Classic", "Confort" și „Harmony”.

Exemplul 1

50 kVAR - 400 V - 50 Hz - tip "Classic"

$$I_n = \frac{50.000}{(400 \times 1,732)} = 72 \text{ A}$$

Reglajul la suprasarcină: $1,36 \times 72 = 98 \text{ A}$

Reglajul la scurtcircuit: $10 \times I_n = 720 \text{ A}$

Exemplul 2

50 kVAR - 400 V - 50 Hz - condensatori din gama "Harmony", asociați cu bobina cu rang de acord de 4,3 f

$I_n = 72 \text{ A}$

Reglajul la suprasarcină: $1,31 \times 72 = 94 \text{ A}$

Reglajul la scurtcircuit: $10 \times I_n = 720 \text{ A}$

Cablurile de alimentare (din amonte)

Tabelul L34 de pe pagina următoare indică secțiunile minime ale cablurilor amonte pentru condensatoarele Rectiphase.

Cablurile de comandă

Secțiunea minimă a acestor cabluri va fi de 1,5 mm² pentru 230 V. Pentru secundarul transformatoarelor este recomandată o secțiune $\geq 2,5 \text{ mm}^2$.

(1) Pentru produse marca Merlin Gerin.

(2) Bateriile de condensatoare "Harmony" sunt echipate cu bobine de suprimare a armonicilor.

10 Instalarea bateriilor de condensatoare

Puterea bateriei (kVAR)		Secțiune cupru (mm ²)	Secțiune aluminiiu (mm ²)
230 V	400 V		
5	10	2,5	16
10	20	4	16
15	30	6	16
20	40	10	16
25	50	16	25
30	60	25	35
40	80	35	50
50	100	50	70
60	120	70	95
70	140	95	120
90 - 100	180	120	185
	200	150	240
120	240	185	2 x 95
	250	240	2 x 120
	300	2 x 95	2 x 150
180 - 210	360	2 x 120	2 x 185
	420	2 x 150	2 x 240
245	480	2 x 185	2 x 300
315	540	2 x 240	3 x 185
350	600	2 x 300	3 x 240
385	660	3 x 150	3 x 240
420	720	3 x 185	3 x 300

Tab. L34: Secțiunea cablurilor pentru conectarea bateriilor de condensatoare medii și mari⁽¹⁾.

Tensiuni tranzitorii

Curentul tranzitoriu, de înaltă frecvență, este însoțit de tensiuni tranzitorii. Valoarea de vârf maximă a tensiunii tranzitorii nu depășește niciodată dublul valorii de vârf a tensiunii nominale, în cazul conectării unui condensator descărcat în circuit. În cazul condensatoarelor care sunt deja încărcate în momentul conectării tensiunea tranzitorie poate atinge o valoare triplă față de valoarea de vârf a tensiunii nominale.

Condițiile de maxim de tensiune sunt următoarele:

- tensiunea existentă pe condensator este egală cu valoarea de vârf a tensiunii nominale;
- contactele contactorului se închid în momentul în care tensiunea de alimentare are valoarea maximă;
- polaritatea tensiunii de alimentare este inversă față de tensiunea la bornele condensatorului.

În asemenea situații, curentul tranzitoriu va atinge valoarea maximă posibilă, adică dublul maximumului curentului la conectarea unui condensator inițial descărcat.

Pentru orice alte valori ale tensiunii și polarității unui condensator încărcat, vârful tensiunii și curentului tranzitoriu vor fi mai mici decât cele menționate mai sus; în cazul particular în care valoarea tensiunii pe condensator este de aceeași polaritate cu tensiunea de alimentare, iar conectarea se produce în momentul vârfului tensiunii de alimentare, nu apar curenți sau tensiuni tranzitorii.

În cazul bateriilor automate trebuie avut grijă ca treptele să fie conectate numai în situația condensatoare „descărcate”.

Timpul de descărcare poate fi redus, dacă este necesar, folosind rezistențe de descărcare de valoare mică.

(1) Valorile secțiunilor minime au fost calculate pentru cabluri monofilare, pozate liber în aer la 30° C. Tabelul nu ține cont de nici un factor de reducere (datorat modului de pozare, temperaturii mediului ambiant, etc.).

Capitolul M

Detecția și filtrarea armonicilor

Cuprins		
1	Problemă: de ce este necesar să detectăm și să eliminăm armonicile?	M2
2	Standarde	M3
3	Considerații generale	M4
4	Principalele efecte ale armonicilor în instalații	M6
	4.1 Rezonanța	M6
	4.2 Creșterea pierderilor	M6
	4.3 Suprasolicitarea echipamentelor	M7
	4.4 Perturbații ce afectează consumatorii sensibili	M9
	4.5 Impactul economic	M10
5	Indicatorii esențiali ale distorsiunilor provocate de armonici și principii de măsurare	M11
	5.1 Factorul de putere	M11
	5.2 Factorul de amplitudine	M11
	5.3 Puterile și armonicile	M11
	5.4 Spectrul armonic și distorsiunea armonică	M12
	5.5 Distorsiunea armonică totală (THD - Total Harmonic Distorsion)	M12
	5.6 Utilitatea diferiților indicatori	M13
6	Măsurarea indicatorilor	M14
	6.1 Dispozitive utilizate pentru măsurarea indicatorilor	M14
	6.2 Proceduri pentru analiza armonicilor în rețelele de distribuție	M14
	6.3 Monitorizarea armonicilor	M15
7	Dispozitive de detecție	M16
8	Soluții pentru atenuarea armonicilor	M17
	8.1 Soluții de bază	M17
	8.2 Filtrarea armonicilor	M18
	8.3 Metoda	M20
	8.4 Produse specifice	M20

1 Problemă: de ce este necesar să detectăm și să eliminăm armonicile

Perturbații cauzate de armonici

Armonicile prezente în rețelele de distribuție degradează calitatea energiei electrice. Acest fenomen poate avea un număr de efecte negative:

- suprasarcini în rețelele de distribuție cauzate de creșterea valorii efective a curentului;
- suprasarcini în conductorul neutru datorate creșterii cumulative a armonicilor de ordin trei create de sarcinile monofazate;
- suprasarcini, vibrații, și îmbătrânirea prematură a generatoarelor, transformatoarelor și motoarelor ca și creșterea zgomotelor proprii transformatoarelor;
- suprasarcini și îmbătrânirea prematură a condensatoarelor folosite la compensarea energiei reactive;
- distorsiunile tensiunii de alimentare pot perturba consumatorii sensibili;
- perturbații în rețelele de comunicații și în liniile telefonice.

Impactul economic al perturbațiilor

Armonicile au un impact economic major:

- îmbătrânirea prematură a echipamentelor poate însemna înlocuirea înainte de vreme dacă nu s-a luat măsura supradimensionării de la bun început;
- suprasarcinile rețelei de distribuție solicită puteri aprobate mai mari și implică de asemenea creșterea pierderilor;
- distorsiunea formei de undă a curentului provoacă declanșări intempestive care duc la oprirea proceselor de producție.

Creșterea gravității consecințelor

Cu numai zece ani în urmă armonicile nu erau încă considerate o problemă reală din cauză că efectele lor asupra rețelelor de distribuție erau în general minore.

Introducerea masivă a electronicii de putere în echipamente a făcut ca acest fenomen să fie mult mai serios în toate sectoarele de activități economice.

Trebuie adăugat însă că echipamentele generatoare de armonici sunt adesea vitale pentru activitatea companiei sau a organizației.

Ce armonici trebuie măsurate și eliminate?

Armonicile cel mai frecvent întâlnite în rețelele de distribuție trifazată sunt cele impare. În mod normal amplitudinea armonicilor scade pe măsură ce frecvența crește. Peste ordinul 50, armonicile sunt neglijabile și măsurătorile nu mai au nici o semnificație. Măsurători suficient de precise se obțin măsurând armonicile până la ordinul 30.

Serviciile publice de electricitate monitorizează armonicile de ordin 3, 5, 7, 11 și 13. În majoritatea cazurilor tratarea armonicilor de ordin mic (până la 13) este suficientă pentru rezolvarea problemelor. Cele mai exigente condiții iau în considerare armonicile până la ordinul 25.

2 Standarde

Emisiile de armonici sunt subiectul mai multor standarde și reglementări:

- standarde de compatibilitate pentru rețelele de distribuție publică;
- standarde de emisie aplicabile echipamentelor care generează armonici;
- reglementări create de către serviciile publice de electricitate și aplicabile în instalații.

În vederea unei atenuări rapide a efectelor armonicilor un triplu sistem de standarde și reglementări bazat pe documentele enumerate mai jos este promovat cu insistență.

Standarde de reglementare a compatibilității între rețelele de distribuție și produse

Aceste standarde stabilesc compatibilitatea necesară între rețelele de distribuție și produse:

- armonicile generate de un aparat nu trebuie să deranjeze rețeaua de distribuție dincolo de anumite limite;
- fiecare aparat trebuie să fie capabil să funcționeze normal în prezența unor perturbații de până la un anumit nivel;
- standardul CEI 61100-2-2 pentru serviciile publice de distribuție a electricității la joasă tensiune;
- standardul CEI 61100-2-4 pentru instalații industriale de joasă și medie tensiune.

Standarde de reglementare a calității rețelelor de distribuție

- standardul EN 50160 stipulează caracteristicile tensiunii furnizate prin rețelele electrice de distribuție publică la joasă și medie tensiune;
- standardul IEEE 519 prezintă o abordare comună pentru serviciile publice de electricitate și consumatori a problematicii limitării impactului sarcinilor ne-liniare. Mai mult, serviciilor publice de electricitate încurajează acțiunile preventive în vederea prevenirii deteriorării calității energiei, creșterilor de temperatură și efectelor provocate de consumul exagerat de energie reactivă. În viitor serviciile publice de electricitate vor începe cu siguranță să taxeze consumatorii cu surse majore de perturbații armonice.

Standarde de reglementare a echipamentelor

- standardul CEI 61000-3-2 sau EN 61000-3-2 pentru echipamente de joasă tensiune având curentul nominal mai mic de 16 A;
- standardul CEI 61000-3-12 pentru echipamente de joasă tensiune având curentul nominal mai mare de 16 A și mai mic de 75 A.

Nivelul maxim permis al armonicilor

Studiile internaționale bazate pe datele colectate în diferite rețele electrice de distribuție au permis estimarea armonicilor tipice ce pot fi întâlnite în majoritatea rețelelor electrice. **Tabelul M1** prezintă nivelele care, în opinia celor mai multe servicii publice de electricitate, nu ar trebui depășite.

Armonici de ordin impar non-multiplu de 3				Armonici de ordin impar multiplu de 3				Armonici de ordin par			
Ordin h	JT	MT	IT	Ordin h	JT	MT	IT	Ordin h	JT	MT	IT
5	6	6	2	3	5	2,5	1,5	2	2	1,5	1,5
7	5	5	2	9	1,5	1,5	1	4	1	1	1
11	3,5	3,5	1,5	15	0,3	0,3	0,3	6	0,5	0,5	0,5
13	3	3	1,5	21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,2	0,2
17	2	2	1	> 21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,2	0,2
19	1,5	1,5	1					12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1	0,7					> 12	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1	0,7								
> 25	0,2 + 25/h	0,2 + 25/h	0,1 + 25/h								

Notă: h reprezintă ordinul armonicilor.

Tab. M1: Nivelul maxim permis al armonicilor.

3 Considerații generale

Prezența armonicilor indică o formă de undă distorsionată a curentului sau a tensiunii. Forma distorsionată a unei de curent sau tensiune înseamnă că distribuția energiei electrice este perturbată iar calitatea energiei electrice nu este cea optimă. Curenții armonici sunt produși de sarcinile neliniare conectate la rețeaua de distribuție. Circulația armonicilor de curent provoacă armonici de tensiune prin impedanțele rețelei de distribuție, distorsionând în consecință tensiunea de alimentare.

Originea armonicilor

Aparatele și sistemele care produc armonici sunt prezente în toate sectoarele cum ar fi cel industrial, comercial și rezidențial. Armonicile sunt produse de sarcini neliniare (adică sarcini care absorb un curent cu o formă de undă diferită de forma de undă a tensiunii de alimentare).

Exemple de sarcini neliniare:

- echipamente industriale (aparate de sudură, cuptoare cu arc, cuptoare cu inducție, redresoare);
- variatoare de viteză pentru motoare asincrone sau de curent continuu;
- surse neîntreruptibile (UPS-uri);
- echipament de birou (computere, copiatoare, fax-uri, etc.);
- aparate casnice (televizoare, cuptoare cu microunde, iluminat fluorescent);
- aparatură necesitând saturație electromagnetică (transformatoare).

Perturbații cauzate de sarcinile neliniare: armonici de curent și de tensiune

Sarcinile neliniare produc armonici de curent care circulă prin rețeaua electrică de distribuție. Armonicile de tensiune sunt produse de circulația armonicilor de curent prin impedanțele circuitului de alimentare (transformator și rețeaua de distribuție pentru situații similare celei arătate în **Fig. M2**).

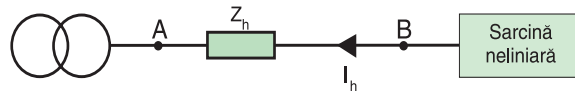


Fig. M2: Schemă monofilară arătând impedanța circuitului de alimentare pentru o armonică de ordinul h .

Reactanța unui conductor crește în funcție de frecvența curentului care circulă prin acel conductor. Pentru fiecare armonică de curent de ordin h există deci o impedanță Z_h a circuitului de alimentare. Când armonică de curent de ordin h circulă prin impedanța Z_h , se crează o armonică de tensiune U_h , unde $U_h = Z_h \times I_h$ (legea lui Ohm). Tensiunea în punctul B este deci distorsionată. Toate aparatele alimentate prin punctul B primesc o tensiune distorsionată. Pentru o armonică de curent dată, distorsiunea este proporțională cu impedanța rețelei de distribuție.

Circulația armonicilor de curent în rețelele de distribuție

Se poate considera că sarcinile neliniare injectează armonici de curenți în rețeaua de distribuție, către sursă.

Figurile M3 și M4 de pe pagina următoare arată o instalație perturbată de armonici.

Figura M3 arată circulația curentului la 50 Hz în instalație, în timp ce **Figura M4** arată circulația curentului armonic de ordin h .

3 Considerații generale

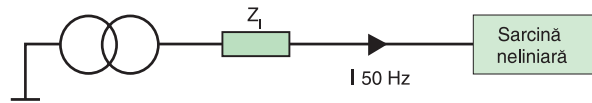


Fig. M3: Instalație alimentând o sarcină nelineară unde sunt arătate numai fenomenele care au legătură cu frecvența de 50Hz (frecvență fundamentală).

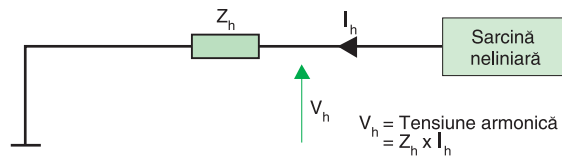
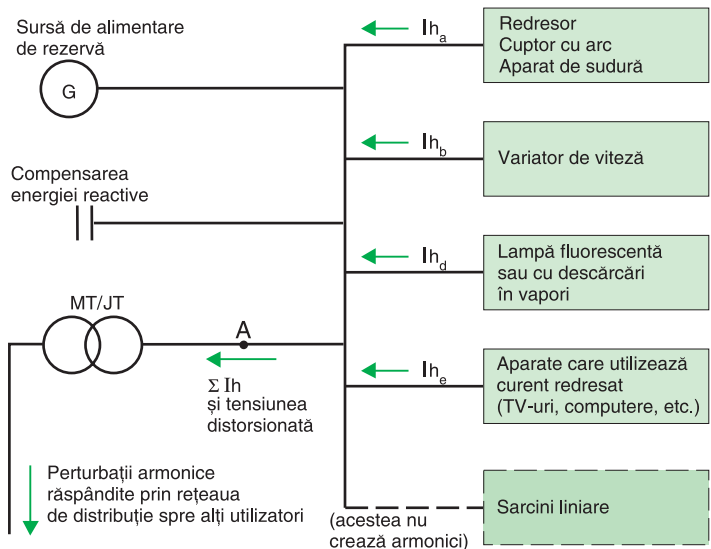


Fig. M4: Aceeași instalație unde sunt arătate numai fenomenele care au legătură cu frecvența armonică de ordin h .

Alimentarea sarcinii nelineare crează o circulație a curentului $I_{50\text{ Hz}}$ (arătată în **Fig. M3**), la care se adaugă fiecare din curenții armonici I_h (arătați în **Fig. M4**) corespunzând fiecărei armonice de ordin h . Considerând că sarcinile reinjectează curenți armonici în rețeaua de distribuție spre sursă este posibil să creăm o diagramă arătând curenții armonici din rețea (vezi **Fig. M5**).



Notă: în diagramă cu toate că anumite sarcini crează curenți armonici în rețeaua de distribuție, alte sarcini pot absorbi curenții armonici.

Fig. M5: Circulația curenților armonici într-o rețea de distribuție.

Armonicile au efecte economice majore în instalații și anume:

- creșterea costurilor energetice;
- îmbătrânirea prematură a echipamentelor;
- pierderi de producție.

4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

4.1 Rezonanța

Utilizarea simultană a sarcinilor inductive și capacitive în rețelele electrice de distribuție conduce la rezonanță paralelă sau serie manifestată respectiv printr-o foarte mare sau foarte mică valoare a impedanței. Variația impedanței modifică curentul și tensiunea în rețeaua de distribuție. În cele ce urmează numai fenomenul de rezonanță paralelă, cel mai comun, va fi analizat.

Considerăm următoarea diagramă simplificată (vezi **Fig. M6**) reprezentând o instalație alcătuită din:

- un transformator de alimentare;
- sarcini liniare;
- sarcini neliniare care generează curenți armonici;
- condensatori pentru compensarea energiei reactive.

Pentru analiza armonicilor se utilizează diagrama echivalentă (vezi **Fig. M7**).

Impedanța Z este calculată ca:

$$Z = \frac{jL_s\omega}{1 - L_sC\omega^2}$$

neglijând R , și unde:

- L_s = inductanța alimentării (rețeaua din amonte + transformator + linie)
- C = capacitanța condensatorilor pentru compensarea energiei reactive
- R = rezistența sarcinilor liniare
- I_h = curentul armonic.

Rezonanța apare atunci când numitorul $1 - L_sC\omega^2$ tinde către zero. Frecvența corespunzătoare este numită frecvență de rezonanță a circuitului. La acea frecvență impedanța circuitului atinge un maxim, și o mare cantitate de armonici de tensiune apar având ca rezultat distorsiuni majore ale unde de tensiune. Distorsiunea tensiunii este acompaniată în circuitul L_s+C de o circulație de curenți armonici mai mare decât circulația normală cerută de sarcini.

Rețeaua de distribuție și condensatorii pentru compensarea energiei reactive sunt supuși unor curenți armonici mari și riscului rezultat al suprasarcinilor. Pentru a evita rezonanța se instalează bobine antiarmonici în serie cu condensatorii.

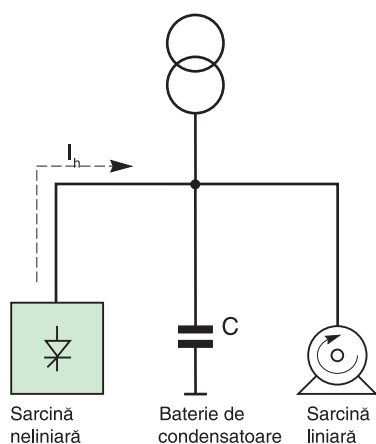


Fig. M6: Diagrama unei instalații.

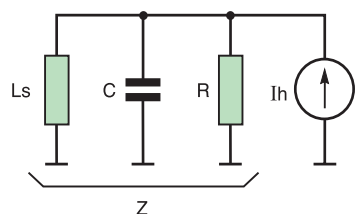


Fig. M7: Diagrama echivalentă a instalației arătate în **Fig. M6**.

4.2 Creșterea pierderilor

Pierderile în conductoare

Puterea activă transmisă unei sarcini este funcție de componenta fundamentală I_1 a curentului.

Atunci când curentul solicitat de o sarcină conține armonici, valoarea eficace a curentului I_{ef} este mai mare decât componenta fundamentală I_1 .

Definiția THD este:

$$THD = \sqrt{\left(\frac{I_{ef}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

se poate deduce că: $I_{ef} = I_1 \sqrt{1 + THD^2}$

Figura M8 (pagina următoare) arată, în funcție de distorsiunea armonică:

- creșterea în curent eficace I_{ef} pentru o sarcină solicitând un curent fundamental I_1 dat;

- creșterea pierderilor Joules, fără a ține cont de efectul superficial (punctul de referință în grafic este 1 pentru I_{ef} și pierderile Joules în cazul când nu sunt armonici).

Curenții armonici provoacă o creștere a pierderilor Joules în toate conductoarele prin care circulă și creșteri suplimentare ale temperaturii în transformatoare, aparataj, cabluri, etc.

Pierderile în mașinile asincrone

Tensiunile armonice (ordinul h) cu care se alimentează mașinile asincrone provoacă în rotor o circulație de curenți cu frecvențe mai mari de 50 Hz care sunt cauza unor pierderi suplimentare.

4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

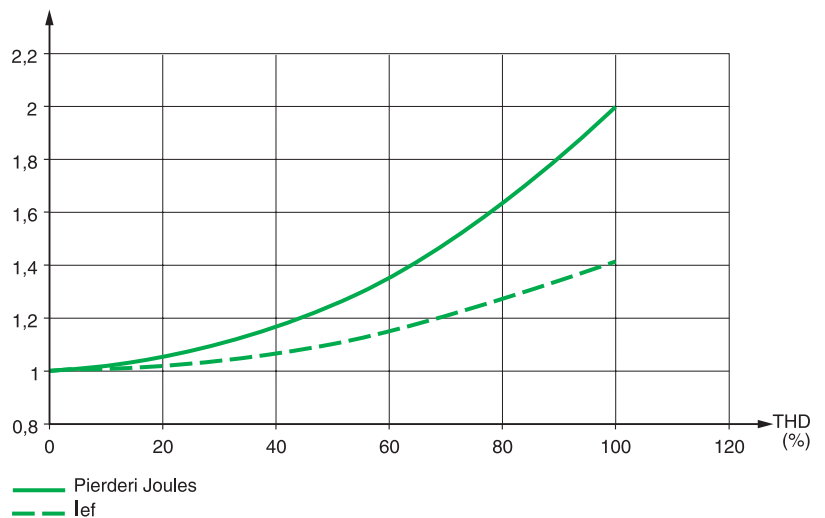


Fig. M8: Creșterea curentului eficace și a pierderilor Joules în funcție de THD.

Ordine de mărime

- O formă de undă a tensiunii de alimentare virtual rectangulară ar provoca o creștere a pierderilor cu 20%;
- O tensiune de alimentare având armonici $u_5 = 8\%$ (din U_1 , armonica fundamentală de tensiune), $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$ ceea ce înseamnă un factor total de distorsiune armonică THDu egal cu 10% care conduce la pierderi adiționale de 6%

Pierderile în transformatoare

Circulația de curenți armonici prin transformatoare provoacă o creștere a pierderilor în "cupru" datorită efectului Joules și a curenților turbionari. Armonicile de tensiune sunt responsabile de pierderile în "fier" datorită histeresisului. În general se consideră că pierderile în înfășurări cresc cu pătratul lui THDi, iar pierderile în miez cresc liniar cu THDu. În transformatoarele de distribuție publică unde nivelurile de distorsiune sunt limitate, pierderile pot crește între 10 și 15%.

Pierderile în condensatoare

Tensiunile armonice aplicate condensatoarelor provoacă o circulație de curenți proporțională cu frecvența armonicilor. Acești curenți generează pierderi suplimentare.

Exemplu

O tensiune de alimentare are următoarele armonici: Tensiunea armonică fundamentală U_1 , tensiunile armonice $u_5 = 8\%$ (din U_1), $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$ ceea ce înseamnă un factor total de distorsiune armonică THDu egal cu 10%. Curentul este multiplicat cu 1,19 iar pierderile Joules sunt multiplicat cu $1,19^2$ adică 1,4.

4.3 Suprasolicitarea echipamentelor

Generatoare

Generatoarele alimentând sarcini neliniare trebuie decalate datorită pierderilor suplimentare provocate de curenții armonici. Nivelul decalării este de aproximativ 10% pentru un generator atunci când sarcina totală conține în proporție de 30% sarcini neliniare. Este deci necesar să supradimensionăm generatorul.

Surse neîntreruptibile (UPS-uri)

Curentul solicitat de sistemele de computere are un factor de amplitudine foarte mare. Un UPS dimensionat exclusiv în funcție de valoarea eficace a curentului poate fi incapabil să alimenteze valoarea de vârf a curentului, fiind astfel suprasolicitat.

4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

Transformatoare

■ Curba de mai jos (vezi Fig. M9) arată declasarea tipică necesară pentru un transformator ce alimentează sarcini conținând electronică.

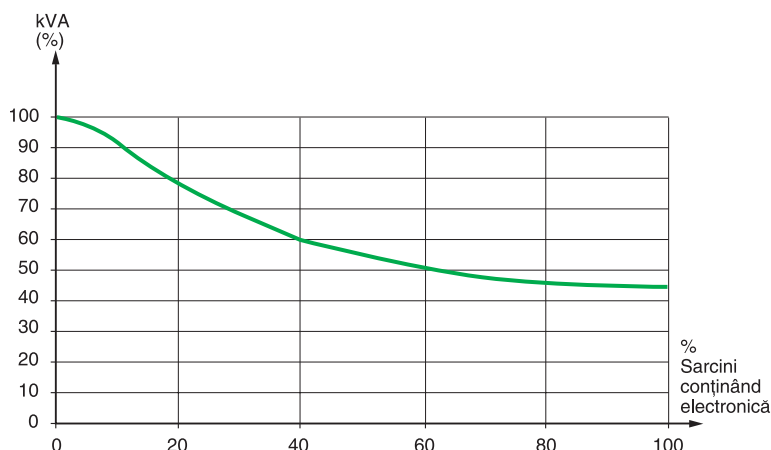


Fig. M9: Declasarea pentru un transformator ce alimentează sarcini conținând electronică.

Exemplu

Dacă un transformator alimentează o sarcină totală alcătuită în proporție de 40% din sarcini conținând electronică, el trebuie declasat cu 40%.

Standardul UTE C15-112 definește un factor de declasificare în funcție de curenții armonici

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \left(\sum_{h=2}^{40} h^{1,6} T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Valori tipice:

- curent cu o formă de undă rectangulară (spectru $1/h^{(1)}$): $k = 0,86$;
- curentul unui convertizor de frecvență (THD $\approx 50\%$): $k = 0,80$.

Mașini asincrone

Standardul CEI 60892 definește factorul de tensiune armonică (Harmonic voltage factor, HVF), a cărui formulă și valoare maximă sunt prezentate mai jos.

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h^2}{h^2}} \leq 0,02$$

Exemplu

O sursă de alimentare are tensiunea de alimentare U_1 și tensiunile armonice $u_3 = 2\%$ din U_1 , $u_5 = 3\%$, $u_7 = 1\%$. THDu este deci 3,7% iar HVF=0,018. Valoarea HVF este foarte aproape de valoarea maxim permisă peste care mașina trebuie declasată. Din punct de vedere practic, pentru alimentarea unei mașini nu trebuie depășit în nici un caz un THDu de 10%.

Condensatori

Conform standardului CEI 60831-1 valoarea eficace a curentului care circulă prin condensatori nu trebuie să depășească 1,3 din curentul nominal.

Considerăm un exemplu de sursă cu tensiunea de alimentare U_1 și tensiunile armonice $u_5 = 8\%$ din U_1 , $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$ adică un THDu de 10%, unde $I_{ef}/I_1 = 1,19$, la tensiunea nominală. Pentru o tensiune egală cu 1,1 ori tensiunea nominală, limita de curent $I_{ef}/I_1 = 1,3$ este depășită și este necesară redimensionarea condensatorilor.

(1) De fapt forma de undă a curentului este similară cu o formă de undă rectangulară. Aceasta se întâmplă pentru toate redresoarele de curent (redresoare trifazate, cupatoare cu inducție).

4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

Conductorul neutru

Considerăm un sistem format dintr-o sursă trifazată echilibrată și trei sarcini identice monofazate conectate între faze și neutru (vezi **Fig. M10**). **Figura M11** arată un exemplu de curenți circulând prin cele trei faze și curentul rezultant prin conductorul neutru.

În acest exemplu curentul eficace din conductorul neutru are o valoare mai mare decât curentul eficace prin conductoarele de fază cu un factor egal cu 3. Conductorul neutru trebuie, deci, supradimensionat.

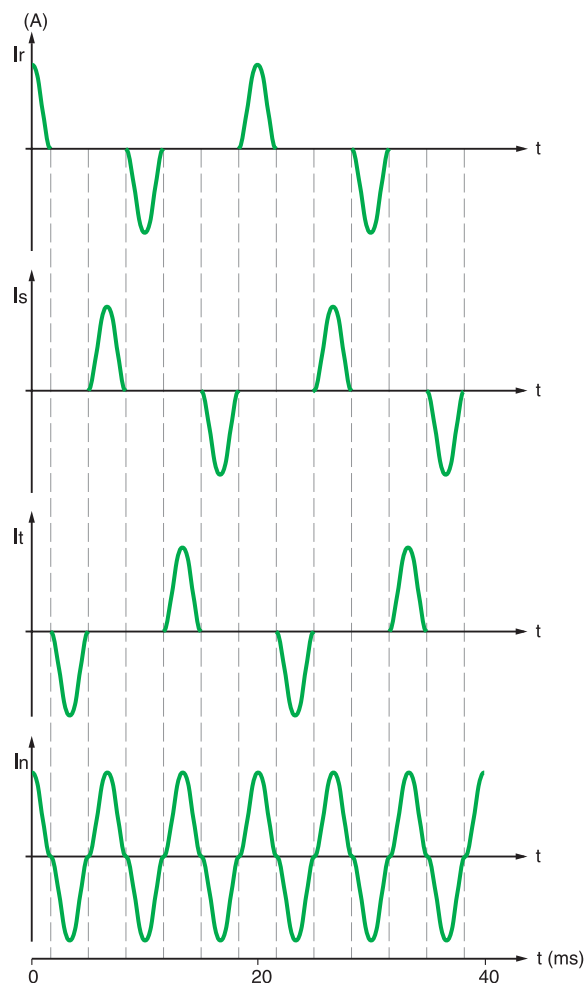


Fig. M11: Exemplu de circulație a curenților prin conductoarele conectate la o sursă trifazată spre o sarcină trifazată ($I_n = I_r + I_s + I_t$).

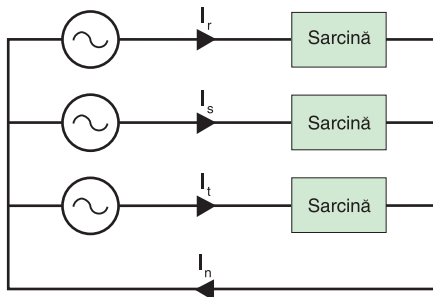


Fig. M10: Circulația curenților prin conductoarele conectate la o sursă trifazată.

4.4 Perturbații ce afectează consumatorii sensibili

Efectele distorsiunii tensiunii de alimentare

Distorsiunea tensiunii de alimentare poate perturba operarea aparatelor sensibile:

- aparate de reglare (temperatura în special);
- componente ale computerelor;
- aparate de monitorizare și control (relee de protecție).

Distorsiunea semnalelor telefonice

Armonicile provoacă perturbații și în circuitele de control (nivele joase ale curentului). Gravitatea distorsiunilor depinde de lungimea traseului paralel al cablurilor de putere și de control, de distanța între aceste cabluri precum și de frecvența armonicilor.

4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

4.5 Impactul economic

Pierderile de energie

Armonicile provoacă pierderi suplimentare de energie (efectul Joule) în conductoare și echipamente.

Creșterea puterii contractate

Prezența curenților armonici poate impune creșterea puterii contractate și în consecință creșterea costurilor.

Mai mult decât atât, în viitorul apropiat serviciilor publice de electricitate vor începe cu siguranță să taxeze consumatorii cu surse majore de perturbații armonice

Supradimensionarea echipamentelor

- Declasarea surselor de energie (generatoare, transformatoare și UPS-uri) înseamnă că acestea trebuie supradimensionate.
- Conductoarele trebuie dimensionate luând în calcul circulația de curenți armonici. În plus, datorită efectului pelicular, rezistența acestor conductoare crește cu frecvența. Pentru a evita pierderile exagerate datorită efectului Joule este necesar să supradimensionăm conductoarele.
- Circulația de armonici în conductorul neutru înseamnă că și acesta trebuie supradimensionat.

Reducerea duratei de viață a echipamentelor

Atunci când nivelul de distorsiuni al tensiunii de alimentare este în jur de 10%, durata de viață a echipamentelor se reduce semnificativ. Reducerea a fost estimată la:

- 32,5% pentru motoarele monofazate;
- 18% pentru motoarele trifazate;
- 5% pentru transformatoare.

Pentru a menține durata de viață corespunzătoare sarcinii nominale, echipamentul trebuie supradimensionat.

Declanșările intempestive și oprirea instalațiilor

Înteruptoarele automate din instalații sunt supuse unor vârfuri de curent cauzate de armonici.

Aceste vârfuri de curent pot provoca declanșări intempestive având ca rezultat pierderi de producție, pe lângă costurile generate de repornirea instalației.

Exemple

Date fiind consecințele economice pentru instalațiile enumerate mai jos a fost necesar să se instaleze filtre antiarmonici.

Centru de calcul pentru o companie de asigurări

În acest centru, declanșarea intempestivă a unui întreruptor automat s-a calculat că a avut un cost de 100 k€ pe oră de întrerupere.

Laborator farmaceutic

Armonicile au provocat avaria unui generator și întreruperea unui test de lungă durată asupra unui nou medicament. Consecințele au fost estimate la 17 M€.

Hală metalurgică

O baterie de cuptoare cu inducție a provocat supraîncărcarea și distrugerea a trei transformatoare între 1600 și 2500 kVA într-un singur an. Pe lângă costul transformatoarelor costul unei ore de întrerupere a fost evaluat la 20 k€ pe oră.

Fabrică de mobilă de grădină

Defectarea unor variatoare de viteză a condus la pagube de producție estimate la 10 k€ pe oră.

5 Indicatorii esențiali ai distorsiunilor armonice și principii de măsurare

Un număr de indicatori sunt utilizați pentru a cuantifica și evalua distorsiunea armonică a formei de undă de curent și tensiune și anume:

- factorul de putere;
- factorul de amplitudine;
- puterea distorsionată;
- spectrul armonicilor;
- valorile distorsiunii armonice.

Acești indicatori sunt indispensabili în determinarea oricăror acțiuni corective.

5.1 Factorul de putere

Definiție

Factorul de putere (PF - Power Factor) este raportul dintre puterea activă P și puterea aparentă S .

$$PF = \frac{P}{S}$$

Printre electricieni există adesea confuzia cu:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

unde:

P_1 = puterea activă a fundamentalei

S_1 = puterea aparentă a fundamentalei

$\cos \varphi$ privește exclusiv frecvența fundamentală și, de aceea, diferă de factorul de putere PF atunci când armonicile sunt prezente în instalații.

Interpretarea factorului de putere

O indicație inițială că avem de-a face cu un număr ridicat de armonici este un factor de putere PF măsurat diferit (mai mic) decât $\cos \varphi$ măsurat.

5.2 Factorul de amplitudine

Definiție

Factorul de amplitudine este raportul între valoarea de vârf a curentului sau tensiunii (I_m sau U_m) și valoarea eficace.

■ Pentru un semnal sinusoidal, valoarea factorului de amplitudine este deci egală cu $\sqrt{2}$.

■ Pentru un semnal nesinusoidal, valoarea factorului de amplitudine poate fi mai mare sau mai mică decât $\sqrt{2}$.

În cazul din urmă, formele diferitelor armonici au vârfuri diferite.

Interpretarea factorului de amplitudine

Factorul de amplitudine pentru curentul absorbit de o sarcină neliniară este mult mai mare decât $\sqrt{2}$. Este în general între 1,5 și 2 și poate ajunge la 5 în cazuri deosebite. Un factor de amplitudine ridicat semnalează curenți tranzitorii de valori ridicate care pot provoca declanșări intempestive.

5.3 Puterile și armonicile

Puterea activă

Puterea activă P a unui semnal incluzând armonici este suma puterilor active rezultate din curenții și tensiunile de același ordin.

Puterea reactivă

Puterea reactivă Q este definită în mod exclusiv de armonica fundamentală adică:

$$Q = U_1 \times I_1 \times \sin \varphi_1.$$

Puterea distorsionată

Atunci când armonicile sunt prezente, puterea distorsionată D este definită ca:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

unde S este puterea aparentă.

5 Indicatorii esențiali ai distorsiunilor armonice și principii de măsurare

5.4 Spectrul armonic și distorsiunea armonică

Principiu

Fiecare tip de dispozitiv generator de armonici are o formă de undă particulară a curentului armonic (amplitudine și deplasarea fazei). Aceste valori, în special amplitudinea fiecărui ordin al armonicilor sunt esențiale pentru analiză.

Distorsiunea armonică individuală (sau distorsiunea armonică de ordin h)

Distorsiunea armonică individuală este definită ca raportul procentual între armonica de ordin h și fundamentală:

$$u_h(\%) = 100 \frac{U_h}{U_1}$$

sau

$$i_h(\%) = 100 \frac{I_h}{I_1}$$

Spectrul armonic

Prin reprezentarea amplitudinii fiecărui ordin de armonici în funcție de frecvența proprie este posibilă obținerea unui grafic numit spectrul armonic.

Figura M12 arată un exemplu al spectrului armonic pentru un semnal rectangular.

Valoarea eficace (ef)

Valoarea eficace a tensiunii și a curentului poate fi calculată în funcție de valorile eficace ale diverselor ordine de armonici:

$$I_{\text{ef.}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

sau

$$U_{\text{ef.}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

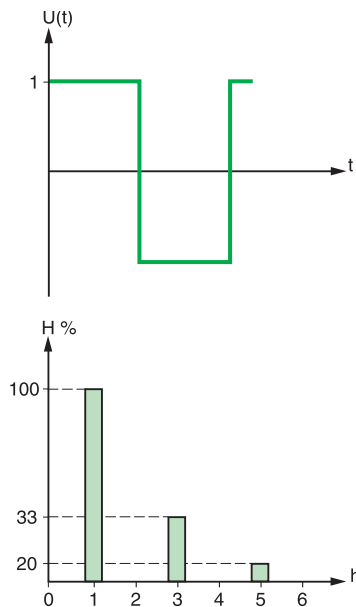


Fig. M12: Spectrul armonic al unui semnal rectangular, pentru o tensiune $U(t)$.

5.5 Distorsiunea armonică totală (THD - Total Harmonic Distorsion)

Termenul THD înseamnă "Total Harmonic Distorsion" - Distorsiunea Armonică Totală - și este cea mai răspândită noțiune în definirea conținutului în armonici a unui semnal de curent alternativ.

Definiția THD

Pentru un semnal y , THD este definit ca:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Aceasta corespunde definiției date în standardul CEI 61000-2-2.

Notă: Valoarea THD poate depăși 1.

Conform standardului, variabila h poate fi limitată la 50. THD este mijlocul de a exprima printr-un singur număr distorsiunea afectând o circulație de curent sau tensiune într-un punct dat dintr-o instalație.

THD este exprimat în general ca procentaj.

THD de curent și tensiune

Pentru armonici de curent ecuația este:

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

5 Indicatorii esențiali ai distorsiunilor armonice și principii de măsurare

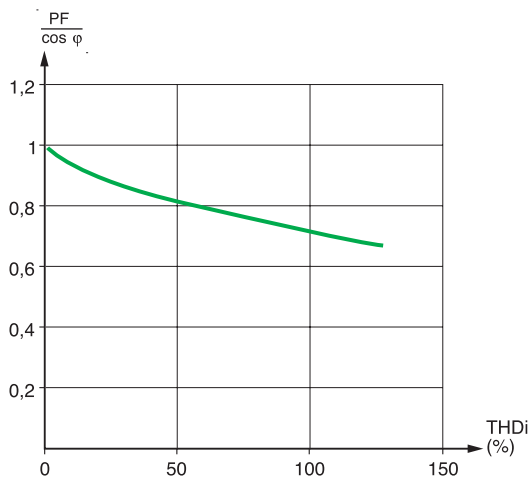


Fig. M13: Variația $\frac{PF}{\cos\varphi}$ în funcție de THDi unde THDu = 0.

Ecuția de mai jos este echivalentă cu cea de mai sus, dar este mai ușor de utilizat atunci când valoarea eficace totală este cunoscută:

$$THDi = \sqrt{\left(\frac{I_{ef.}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

Pentru armonici de tensiune ecuația este:

$$THDu = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

Relația între factorul de putere și THD (vezi Fig. M13)

Atunci când tensiunea este sinusoidală sau aproape sinusoidală putem spune că:

$$P \approx P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$

$$\text{În consecință: } PF = \frac{P}{S} \approx \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1}{U_1 \cdot I_{ef.}}$$

$$\text{deoarece: } \frac{I_1}{I_{ef.}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}}$$

$$\text{rezultă: } PF \approx \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1 + THDi^2}}$$

Figura M13 arată un grafic de $\frac{PF}{\cos\varphi}$ ca funcție de THDi.

5.6 Utilitatea diferiților indicatori

THDu caracterizează distorsiunea formei de undă de tensiune.

Mai jos sunt prezentate câteva valori ale THDu și fenomenele corespondente din instalații:

- THDu sub 5% - situație normală, nici un risc de funcționare defectuoasă;
- 5% la 8% - poluare armonică semnificativă, funcționare defectuoasă posibilă;
- peste 8% - poluare armonică majoră, funcționare defectuoasă probabilă. Este necesară analiza aprofundată și montarea unor instalații de atenuare.

THDi caracterizează distorsiunea formei de undă de curent.

Aparatul perturbator este identificat măsurând THDi la intrare și la fiecare ieșire a diverselor circuite, urmărind astfel urma armonicilor.

Mai jos sunt prezentate câteva valori ale THDi și fenomenele corespondente din instalații:

- THDi sub 10% - situație normală, nici un risc de funcționare defectuoasă;
- 10% la 50% - poluare armonică semnificativă, riscuri de supraîncălzire și necesitatea supradimensionării cablurilor și surselor;
- peste 50% - poluare armonică majoră, funcționare defectuoasă probabilă. Este necesară analiza aprofundată și montarea unor instalații de atenuare.

Factorul de putere PF (Power Factor)

Este utilizat pentru a evalua supradimensionarea sursei de energie din instalație.

Factorul de amplitudine

Este utilizat pentru a caracteriza aptitudinea unui generator (sau UPS) de a alimenta curenți de vârf ridicați. De exemplu echipamentele de calcul absorb curent extrem de deformant cu un factor de amplitudine ce poate atinge de la 3 la 5.

Spectrul armonic (descompunerea semnalului pe frecvențe)

Furnizează informații asupra semnalului electric și poate fi utilizat pentru evaluarea distorsiunii.

6 Măsurarea indicatorilor

6.1 Dispozitive utilizate pentru măsurarea indicatorilor

Selectarea dispozitivelor

Metodele tradiționale de observație și de măsură includ:

- Observația utilizând un osciloscop

O indicație inițială a distorsiunilor ce afectează un semnal poate fi obținută vizualizând curentul sau tensiunea cu ajutorul unui osciloscop.

Forma de undă, atunci când diferă de cea sinusoidală, indică cu certitudine prezența armonicilor. Pot fi văzute vârfurile de curent și tensiune.

Cu toate acestea, metoda nu oferă o cuantificare precisă a componentelor armonice.

- Analizoare spectrale analogice

Constau într-o serie de filtre cuplate la un voltmetru pentru valori eficace. Oferă o performanță mediocră și nu furnizează informații despre deplasarea fazelor.

Numai cele mai recente analizoare spectrale digitale pot determina suficient de precis valorile tuturor indicatorilor menționați mai sus.

Funcțiile analizatoarelor spectrale digitale

Microprocesoarele din analizoarele digitale:

- calculează valorile indicatorilor de armonici (factorul de putere, factorul de amplitudine, puterea distorsionată, THD);
- îndeplinesc numeroase funcții complementare (corecții, detecții statistice, managementul măsurătorilor, afișare rezultate, comunicație pe rețea, etc.);
- analizoarele multicanal furnizează informații în timp real asupra compoziției spectrale a curentilor și tensiunilor.

Funcționarea analizatoarelor spectrale și procesarea datelor

Semnalele analogice sunt convertite într-o serie de valori numerice.

Utilizând aceste date, un algoritm calculează amplitudinea și faza armonicilor pentru un număr mare de ferestre de timp, utilizând un algoritm rapid de transformare în serii Fourier.

Cele mai multe analizoare digitale măsoară armonicile până la ordinul 20 sau 25 atunci când calculează THD-ul.

Procesarea rezultatelor utilizând seriile Fourier se poate face de către dispozitivul de măsură sau de către un software extern.

6.2 Proceduri pentru analiza armonicilor în rețelele de distribuție

Măsurătorile sunt efectuate la obiectivele industriale sau comerciale:

- preventiv, pentru a obține o evaluare generală a rețelei de distribuție;
- în vederea unei acțiuni corective:

☐ pentru a identifica o perturbare și a determina soluțiile necesare pentru a o elimina,

☐ pentru a verifica practic validitatea unei soluții (ca urmare a modificării rețelei în încercarea de a reduce armonicile).

Modul de operare

Curentul și tensiunea sunt studiate:

- lângă sursa de alimentare;
- pe barele tabloului general de joasă tensiune (sau pe barele de medie tensiune);
- pe fiecare circuit de plecare din tabloul general de joasă tensiune (sau de pe barele de medie tensiune).

Pentru măsurători este necesar să cunoaștem condițiile precise de operare ale instalației și în particular situația bateriei de condensatoare (în funcție, în rezervă, numărul de trepte conectate/deconectate).

Analiza rezultatelor

- determinarea oricărei declasări a echipamentelor din instalație, sau
- cuantificarea necesarului de protecții antiarmonice și sisteme de filtrare ce trebuie instalate în rețeaua de distribuție;
- permite comparația între valorile măsurate și valorile de referință ale furnizorului de energie (valori maxime ale armonicilor, valori acceptabile, valori de referință).

Utilizarea dispozitivelor de măsură

Dispozitivele de măsură servesc atât pentru a măsura efectele instantanee cât și cele pe termen lung ale armonicilor. Analizele cer măsurători pe o durată de la câteva secunde la câteva minute, în cadrul unui ciclu de observație de mai multe zile.

Valorile cerute includ:

- amplitudinile armonicilor de curent și tensiune;
- armonicile individuale ale fiecărui ordin de armonici, în curent și tensiune;
- THD pentru curent și tensiune;
- unde este posibil, defazajul între tensiunea armonică și curentul armonic de același rang și fază a armonicii respectând o referință comună (de exemplu armonica de tensiune fundamentală).

6.3 Monitorizarea armonicilor

Indicatorii armonici pot fi măsurați:

- fie prin dispozitive instalate permanent în rețeaua de distribuție;
- fie de către un expert prezent cel puțin o jumătate de zi la obiectiv (percepție limitată).

Utilizarea dispozitivelor amplasate permanent în rețea este preferabilă

Pentru un număr de motive, instalarea unor dispozitive permanente de măsură în rețeaua de distribuție este preferabilă.

- Prezența unui expert este limitată în timp. Numai un număr de măsurători în diverse puncte ale instalației și pe o perioadă de timp suficient de lungă (de la o săptămână la o lună) vor furniza suficiente date pentru o vedere de ansamblu a situației și numai astfel pot fi luate în considerare toate situațiile ce pot apărea cum ar fi:

- fluctuațiile sursei de alimentare,
- variațiile în funcționarea instalației,
- adăugarea unor noi echipamente în instalație;
- Dispozitivele de măsurare instalate în rețeaua de distribuție pregătesc și ușurează diagnoza experților, reducând numărul și durata vizitelor acestora;
- Dispozitivele de măsurare permanente detectează orice nouă perturbare apărută ca urmare a instalării unui nou echipament, implementării unui nou sistem de operare sau fluctuațiilor în rețeaua de alimentare.

Avantajele dispozitivelor de măsurare și detecție încorporate

Dispozitivele de măsurare și detecție încorporate în echipamentele electrice de distribuție:

- Pentru o evaluare de ansamblu a situației rețelei electrice (analiză preventivă) evită:

- închirierea echipamentelor de măsură,
- angajarea experților,
- necesitatea de a conecta și deconecta echipamentul de măsură.

Pentru o evaluare de ansamblu a statutului rețelei electrice, analiza tabloului general de joasă tensiune (TGJT) poate fi efectuată de aparatul de sosire în tablou și/sau dispozitivele de măsură care echipează fiecare circuit de plecare.

- Pentru o acțiune corectivă există mijloace:
- pentru determinarea condițiilor de funcționare în perioada incidentului,
- schițarea unei "hărți" a rețelei de distribuție și evaluarea soluției de implementat.

Diagnoza este îmbunătățită prin utilizarea echipamentelor destinate studierii problemei.

Sistemul PowerLogic cu Power Meter, Circuit Monitor, Micrologic oferă o gamă completă de dispozitive pentru detecția distorsiunilor armonice.



Fig. M14: Circuit monitor.



Fig. M15: Unitățile de control Micrologic H cu măsurarea armonicilor pentru întreruptoarele automate Masterpact NT și NW.

Măsurătorile sunt primul pas pentru stăpânirea fenomenului poluării cu armonici. În funcție de condițiile din fiecare instalație, diverse tipuri de echipamente furnizează soluțiile potrivite.

Unități de monitorizare a energiei

Power Meter și Circuit Monitor în sistemul PowerLogic

Aceste produse oferă posibilitatea efectuării unor măsurători de înaltă performanță pentru rețelele de distribuție de medie și joasă tensiune. Ele sunt produse care utilizează tehnologia digitală și includ funcții de monitorizare a calității energiei. Sistemul PowerLogic este o ofertă completă incluzând Power Meter (PM) și Circuit Monitor (CM). Această ofertă modulară acoperă o arie mare de necesități, de la cele mai simple (Power Meter) până la cele mai complexe cerințe (Circuit Monitor). Aceste produse pot fi utilizate în instalații noi sau existente, unde calitatea energiei trebuie să fie excelentă. Modul de operare poate fi local sau telecomandat. În funcție de poziția sa în rețeaua de distribuție, Power Meter furnizează o primă indicație asupra calității energiei. Principalele măsurători ce pot fi efectuate de Power Meter sunt:

- THD de curent și tensiune;
- factorul de putere.

În funcție de versiunea aparatului, aceste măsurători pot fi combinate cu marcarea orei la care s-a făcut măsurătoarea (amprentă de timp) și funcții de alarmă. Un Circuit Monitor (vezi Fig. M14) efectuează o analiză detaliată a calității energiei, analizând de asemenea și perturbațiile din rețeaua de distribuție a energiei. Principalele funcții ale unui Circuit Monitor sunt:

- măsurătorile a peste 100 de parametri electrici;
- memorare cu amprentă de timp a valorilor minime și maxime pentru fiecare parametru electric;
- funcții de alarmă declanșate de valorile fiecărui parametru electric;
- înregistrarea orei la care s-a produs un eveniment;
- înregistrarea perturbațiilor de curent și tensiune;
- analiza armonicilor;
- preluarea formei de undă (monitorizarea perturbațiilor).

Micrologic - un dispozitiv de monitorizare a energiei inclus într-un întreruptor automat

Pentru instalațiile noi, unitățile de control Micrologic H (vezi Fig. M15), parte integrantă a întreruptoarelor automate de joasă tensiune Masterpact, sunt utile pentru măsurători la intrarea în instalație sau pe cele mai importante plecări (de curenți mari).

Unitățile de control Micrologic H oferă o analiză precisă a calității energiei și un diagnostic detaliat al evenimentelor. Ele sunt proiectate pentru operarea în legătură cu o unitate de afișaj a tabloului electric. Ele pot:

- măsura curentul, tensiunea, puterea activă și reactivă;
- măsura THD de curent și tensiune;
- afișa amplitudinea și faza armonicilor de curent și tensiune până la ordinul 51;
- efectua preluarea formei de undă (monitorizarea perturbațiilor).

Funcțiile oferite de unitatea de control Micrologic H sunt similare cu cele oferite de Circuit Monitor.

Funcționarea unităților de monitorizare a energiei

Soft pentru operarea la distanță și analiză

În cadrul mai general al cerințelor de monitorizare a unei rețele electrice de distribuție, posibilitatea de interconectare a acestor diferite aparate poate fi oferită de o rețea de comunicație, făcând astfel posibilă centralizarea informației și obținerea unei informații de ansamblu a perturbațiilor dintr-o rețea de distribuție.

În funcție de aplicație, un operator poate efectua măsurători în timp real, calcula valorile cerute, rula preluările de forme de undă, anticipa alarmele, etc.

Unitățile de monitorizare a energiei transmit toate datele disponibile pe o rețea Modbus, Digipact sau Ethernet. Obiectivul esențial al acestui sistem este asistența în identificarea și planificarea activității de întreținere. De asemenea, este un mijloc eficient de a reduce timpii de întreruperi și de a dimensiona eventualele echipamente de filtrare.

Soft de supervizare SMS

SMS este un soft complet utilizat pentru analiza rețelei de distribuție, fiind în legătură cu produsele din sistemul PowerLogic. Instalată pe un PC standard el poate:

- afișa măsurătorile în timp real;
- afișa jurnalele istorice, pe o perioadă dată;
- selecta modul de afișare al datelor (tabele, grafice, etc.);
- efectua procesări statistice ale datelor și afișarea unor diagrame.

8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

Există trei tipuri diferite de soluții pentru atenuarea armonicilor:

- modificarea instalațiilor;
- echipamente speciale în sistemul de alimentare;
- filtrare.

8.1 Soluții de bază

Pentru limitarea propagării armonicilor în rețeaua de distribuție sunt disponibile diferite soluții, care trebuie luate în considerare în special când se proiectează o noua instalație.

Poziționarea sarcinilor neliniare în amonte

În general perturbațiile armonice cresc pe măsură ce puterea de scurtcircuit scade. Lăsând de o parte considerațiile economice, este preferabil să conectăm sarcinile neliniare pe cât posibil în amonte, cât mai aproape de sursă (vezi Fig. M16).

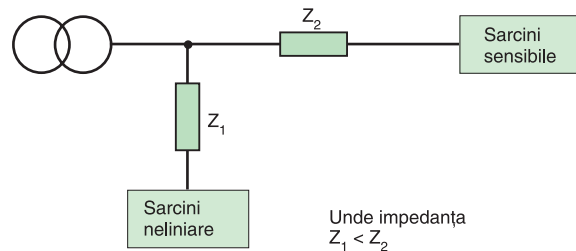


Fig. M16: Sarcinile neliniare poziționate pe cât posibil în amonte.

Gruparea sarcinilor neliniare

La pregătirea schemei monofilare sarcinile neliniare trebuie separate de celelalte (vezi Fig. L17). Cele două grupuri de dispozitive trebuie alimentate din bare diferite.

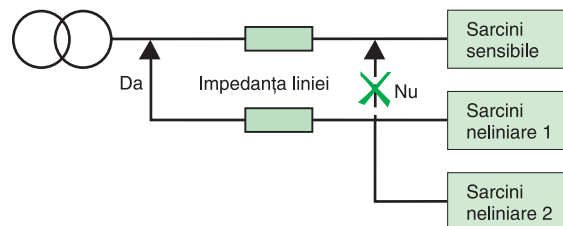


Fig. M17: Gruparea sarcinilor neliniare și poziționarea pe cât posibil în amonte.

Crearea surselor separate

În încercarea de limitare a armonicilor, îmbunătățiri suplimentare pot fi obținute creând o sursă printr-un transformator separat, așa cum este indicat în Fig. M18. Dezavantajul este creșterea costului instalației.

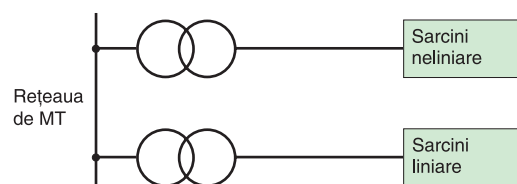


Fig. M18: Alimentarea sarcinilor neliniare printr-un transformator separat.

8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

Transformatoare cu grupe de conexiuni speciale

Transformatoare cu diferite grupe de conexiuni pot elimina armonicile de un anumit ordin, așa cum se poate vedea din exemplele următoare:

- grupa de conexiuni Dyd elimină armonicile de ordin 5 și 7 (vezi Fig. M19);
- grupa de conexiuni Dy elimină armonicile de ordin 3;
- grupa de conexiuni Dz5 elimină armonicile de ordin 5.

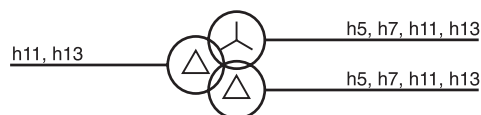


Fig. M19: Un transformator având grupa de conexiuni Dyd elimină armonicile de ordin 5 și 7 din rețeaua amonte.

Instalarea bobinelor de reactanță

Atunci când sunt alimentate variatoare de viteză, este posibil să netezim curentul prin instalarea reactanțelor serie. Prin creșterea impedanței circuitului de alimentare, curentul armonic este limitat.

Instalarea reactanțelor de reducere a armonicilor la bateriile de condensatoare crește impedanța combinației reactanță/condensatoare pentru armonicile de ordin mare.

Aceasta evită rezonanța și protejază condensatoarele.

Alegerea sistemului potrivit de tratare a neutrului

Sistemul TNC

În sistemul TNC, un singur conductor (PEN) furnizează protecția în eventualitatea unui defect de punere la pământ sau circulației dezechilibrate de curenți.

În condiții normale, curenții armonici circulă prin PEN. Acesta are o oarecare impedanță care are ca rezultat o ușoară diferență în potențial (câțiva volți) între echipamente, ceea ce poate genera o nefuncționare a echipamentelor electronice. Din această cauză sistemul TNC trebuie rezervat pentru alimentarea circuitelor din amonte și nu pentru alimentarea sarcinilor sensibile.

Sistemul TNS

Acest sistem este recomandat în prezența armonicilor.

Conductorul neutru și conductorul de protecție PE sunt complet separate și potențialul rețelei de distribuție este mai uniform.

8.2 Filtrarea armonicilor

În cazurile unde acțiunile preventive prezentate mai sus se dovedesc insuficiente este necesar să echipăm instalațiile cu sisteme de filtrare.

Există trei tipuri de filtre:

- pasive;
- active;
- hibride.

Filtre pasive

Aplicații tipice

- instalații industriale cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai mult de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, redresoare, etc.);
- instalații la care se impune compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere);
- instalații unde distorsiunea tensiunii trebuie redusă pentru evitarea perturbării sarcinilor sensibile;
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor.

M18

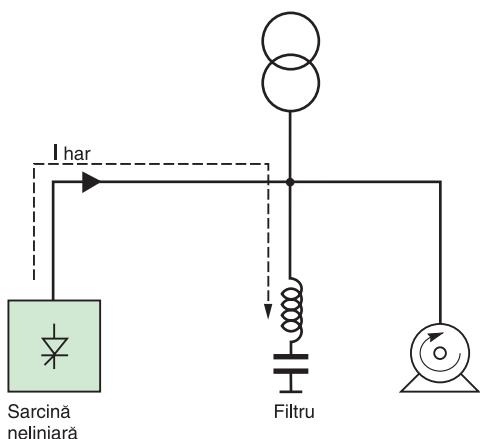


Fig. M20: Principiul de funcționare a unui filtru pasiv.

8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

Principiu de funcționare

Un circuit LC, acordat pe fiecare armonică ce trebuie filtrată, este instalat în paralel cu sarcina neliniară (vezi **Fig. M20**). Acest circuit absoarbe armonicile, așa încât se evită circulația lor în rețeaua de distribuție.

General vorbind, filtrele pasive sunt acordate pe un ordin al armonicilor apropiat de ordinul necesar a fi eliminat. Se pot conecta în paralel câteva filtre dacă este cerută o reducere a unui număr mare de armonici.

Filtre active (condiționere)

Aplicații tipice

- instalații din sfera comercială cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai puțin de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, echipament de birou, etc.);
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor.

Principiu de funcționare

Aceste sisteme, cuprinzând electronică de putere și instalate în serie sau în paralel cu sarcina neliniară, compensează curentul sau tensiunea armonică absorbită de către sarcină.

Figura M21 arată un filtru activ (AHC) compensând curentul armonic ($I_{har} = -I_{act}$). AHC injectează în opoziție de fază fața de armonicile absorbite de sarcina neliniară așa încât curentul de linie I_s rămâne sinusoidal.

Filtre hibride

Aplicații tipice

- instalații industriale cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai mult de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, redresoare, etc.);
- instalații la care se impune compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere);
- instalații unde distorsiunea tensiunii trebuie redusă pentru evitarea perturbării sarcinilor sensibile;
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor;
- instalații unde este necesară limitarea strictă a emisiilor armonice.

Principiu de funcționare

Filtrele pasive și active sunt combinate într-un singur sistem pentru a constitui un filtru hibrid (vezi **Fig. L22**). Această soluție de filtrare oferă avantajele ambelor tipuri de filtre și acoperă o gamă largă de puteri și de niveluri de performanță.

Criterii de selecție

Filtrele pasive

Compensează energia reactivă și filtrează curenții importanți.

Filtrele pasive reduc tensiunile armonice în instalație atunci când sursa este perturbată. Dacă nivelul de alimentare cu putere reactivă este ridicat, este bine să deconectăm filtrul pasiv în momentele când sarcina este redusă.

Studiile preliminare pentru un filtru trebuie să ia în calcul posibila prezență a unei baterii de condensatoare pentru compensarea energiei reactive care trebuie poate eliminată.

Filtrele active condiționere

Filtrează o gamă largă de frecvențe și se pot adapta oricărui tip de sarcină. Pe de altă parte puterile nominale sunt reduse.

Filtrele hibride

Combină performanțele filtrelor active și pasive.

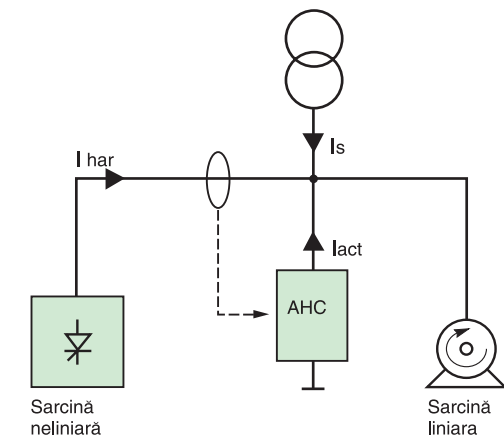


Fig. M21: Principiul de funcționare a unui filtru activ.

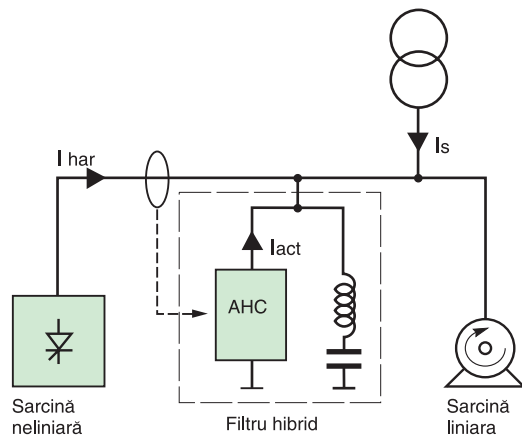


Fig. M22: Principiul de funcționare a unui filtru hibrid.

8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

Un set complet de servicii poate fi oferit pentru eliminarea armonicilor:

- analiza instalației;
- sisteme de măsurare și monitorizare;
- soluții de filtrare.

8.3 Metoda

Cea mai bună soluție, în termeni tehnici și financiari, este bazată pe rezultatele unor studii aprofundate.

Auditul armonicilor rețelelor de MT și JT

Lucrând cu un expert, vi se garantează că soluția propusă va produce rezultatele dorite (exemplu un THDu maxim garantat).

Auditul armonicilor este efectuat de către un inginer specialist în perturbațiile ce afectează rețelele electrice de distribuție și care trebuie să fie echipat cu echipament de analiză și simulare și software-ul aferent.

Pașii auditului sunt următorii:

- măsurarea perturbațiilor afectând curentul, tensiunile de linie și de fază la sursa de alimentare, circuitele de plecare perturbate și sarcinile neliniare;
- modelarea pe calculator a fenomenului pentru a obține o explicație precisă a cauzelor și pentru a determina cele mai bune soluții;
- un raport de audit prezentând:
 - nivelul actual al perturbațiilor,
 - nivelul maxim permis al perturbațiilor (CEI 61000, CEI 34, etc.);
 - o propunere conținând soluții care garantează nivelul de performanță;
 - în final implementarea soluțiilor selectate utilizând mijloacele și resursele necesare.

Întreg procesul de audit este certificat ISO 9002.

8.4 Produse specifice

Filtre pasive

Filtrele pasive sunt formate din bobine și condensatori montați într-un circuit rezonant acordat pe armonica de un anumit ordin care trebuie eliminată.

Un sistem poate conține un număr de filtre pentru eliminarea câtorva ordine de armonici.

Pentru un sistem trifazat de 400V, puterile nominale pot atinge:

- 265 kVAR/470A pentru armonica de ordin 5;
- 145 kVAR/225A pentru armonica de ordin 7;
- 105 kVAR/145A pentru armonica de ordin 11.

Filtrele pasive pot fi create pentru toate tensiunile și toate nivelurile de curenți.

Filtre active

- Filtru activ SineWave

- trifazat, 400V, poate condiționa între 20 și 120 A pe fază,
- filtrează ordinele de armonici între 2 și 25. Filtrarea poate fi totală sau pot fi ținute anumite ordine de armonici,
- atenuare THDi sarcină/THDi amonte mai mare decât 10, la capacitatea nominală,
- funcțiile includ compensarea energiei reactive, condiționarea armonicilor homopolare, diagnoza și mentenanța sistemului, conectarea în paralel, comanda la distanță, interfața de comunicație JBus/RS485.

- Filtru activ Accusine

- trifazat, 400V și 480V, poate condiționa între 50 și 30 A pe fază,
- filtrează ordinele de armonici până la 50,
- funcțiile includ compensarea energiei reactive, conectarea în paralel, răspuns instantaneu la variațiile de sarcină.

Filtre hibride

Aceste filtre combină avantajele filtrelor pasive și filtrului activ SineWave într-un singur sistem.

- Filtru pasiv de ordin 5;
- Filtru activ pentru armonici cu valori între 20 și 120 A pe fază;
- Trifazat, 400V;
- Compensarea energiei reactive până la 265 kVAR;
- Filtrează armonici de ordinele între 2 și 25;
- Filtrează curenți armonici până la 440 A.

Capitolul N

Surse și sarcini particulare

Cuprins

1	Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval	N2
	1.1 Protecția generatorului	N2
	1.2 Protecția rețelei de joasă tensiune din aval	N5
	1.3 Funcții de monitorizare	N5
	1.4 Conectarea în paralel a generatoarelor	N10
2	Surse de alimentare neîntreruptibile (UPS)	N11
	2.1 Disponibilitatea și calitatea energiei electrice	N11
	2.2 Tipuri de UPS-uri statice	N12
	2.3 Baterii	N15
	2.4 Sistemul de tratare a neutrului în instalațiile cu UPS-uri	N16
	2.5 Alegerea schemei de protecție	N18
	2.6 Instalarea, conectarea și dimensionarea cablurilor	N20
	2.7 UPS-urile și mediul de funcționare	N22
	2.8 Echipamente complementare	N22
3	Protecția transformatoarelor JT/JT	N24
	3.1 Curentul absorbit la conectarea transformatorului	N24
	3.2 Protecția circuitelor de alimentare a transformatoarelor JT/JT	N24
	3.3 Caracteristici electrice tipice ale transformatoarelor JT/JT, 50 Hz	N25
	3.4 Protecția transformatoarelor JT/JT utilizând întreruptoare automate Merlin Gerin	N25
4	Circuite de iluminat	N27
	4.1 Diferite tehnologii de realizare a lămpilor	N27
	4.2 Caracteristicile electrice ale lămpilor	N29
	4.3 Limitări și recomandări referitoare la dispozitivele de iluminat	N34
	4.4 Sisteme de iluminat în spații publice	N40
5	Motoare asincrone	N42
	5.1 Funcțiile necesare unui circuit de motor	N42
	5.2 Standarde	N44
	5.3 Aplicații	N45
	5.4 Puteri nominale maxime ale motoarelor asincrone alimentate la joasă tensiune	N49
	5.5 Compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere)	N49

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Majoritatea instalațiilor electrice industriale și comerciale de mari dimensiuni includ anumiți consumatori a căror alimentare cu energie electrică trebuie menținută în eventualitatea unei întreruperi a alimentării de la rețeaua furnizorului din cauză că:

- sunt implicate sisteme de securitate (iluminat de urgență, dispozitive de protecție contra incendiilor, ventilatoare de fum, alarme și semnalizări, etc.);
- există consumatori prioritari a căror întrerupere în alimentarea cu energie electrică produce pierderi de producție sau chiar distrugerea echipamentului respectiv, etc.

În eventualitatea întreruperii surselor de alimentare normale, unul dintre mijloacele curente de menținere a alimentării așa numiților “consumatori prioritari” este instalarea unui generator, conectat prin intermediul unui inversor de sursă, la tabloul consumatorilor prioritari (vitali), de la care aceștia se alimentează (vezi Fig. N1).

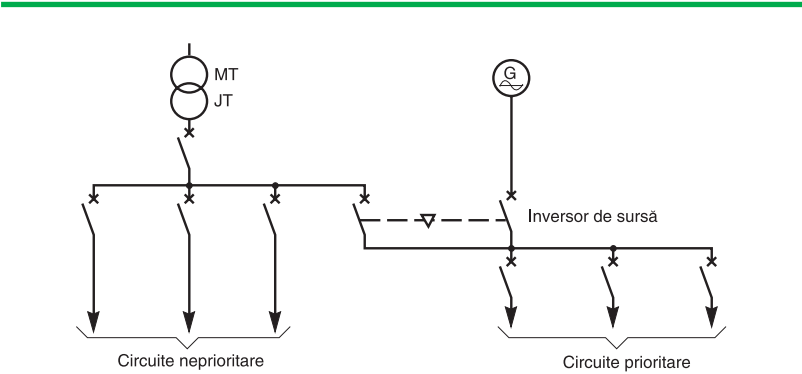


Fig N1: Exemplu de circuite alimentate de la un transformator sau de la un generator.

1.1 Protecția generatorului

Figura N2 de mai jos indică principalele mărimi electrice ale unui generator. P_n , U_n și I_n reprezintă puterea motorului termic, tensiunea nominală și, respectiv, curentul nominal al generatorului.

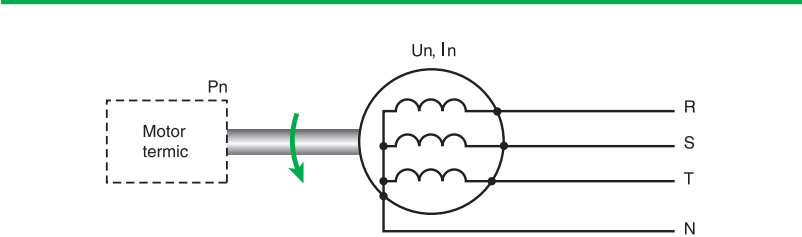


Fig N2: Diagrama bloc a unui grup-generator.

Protecția la suprasarcină

Trebuie analizată curba de protecție a generatorului (vezi Fig. N3). Standardele și cerințele aplicațiilor pot de asemenea să stipuleze anumite condiții speciale de suprasarcină. De exemplu:

I/I_n	t
1,1	> 1 h
1,5	30 s

Posibilitățile de reglaj ale dispozitivelor de protecție la suprasarcină vor respecta aceste cerințe.

Notă referitoare la suprasarcină

- Din motive economice motorul termic al unui grup-generator de rezervă va fi dimensionat strict la puterea sa nominală. În eventualitatea unei suprasarcini de putere activă motorul se va opri. La bilanțul de puteri al sarcinilor prioritare trebuie luate în considerare puterile active ale acestora.
- Un grup-generator de producție trebuie să fie capabil să reziste la următoarele suprasarcini:
 - 1 oră de suprasarcină,
 - 1 oră suprasarcină de 10% la fiecare 12 ore (Prime Power).

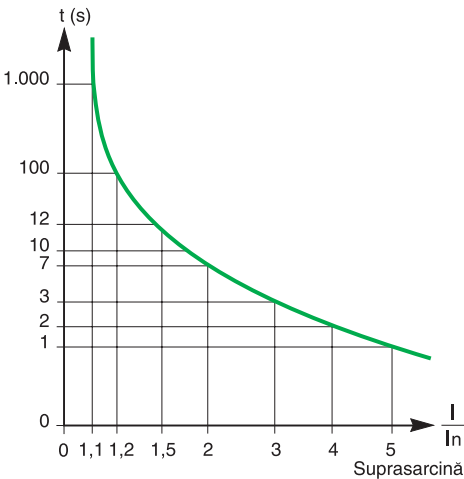


Fig N3: Exemplu de curbă de suprasarcină $t = f(I/I_n)$.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Protecția la scurtcircuit

Calculul curentului de scurtcircuit

Curentul de scurtcircuit este suma dintre:

- curentul aperiodic;
- curentul aproximativ sinusoidal.

Ecuția curentului de scurtcircuit arată faptul că aceasta este compusă din trei perioade succesive (vezi Fig. N4).

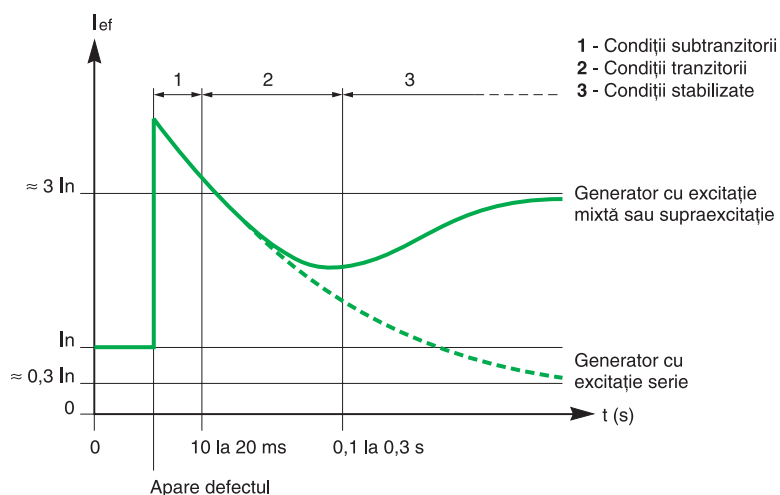


Fig N4: Nivelele curentului de scurtcircuit în timpul celor trei perioade.

■ Perioada subtranzitorie

La apariția unui scurtcircuit la bornele unui generator, mai întâi, curentul crește la o valoare relativ mare, de cca. $6 - 12 I_n$, în timpul primului ciclu (0 - 20 ms). Amplitudinea acestui curent de scurtcircuit inițial este caracterizată prin trei parametri:

- reactanța subtranzitorie a generatorului,
- nivelul de excitație al generatorului la momentul producerii defectului și
- impedanța circuitului unde s-a produs defectul.

Impedanța de scurtcircuit a generatorului de luat în considerare este, de fapt, reactanța subtranzitorie, exprimată în % și este furnizată de producător, X''_d . Valorile tipice sunt de la 10 la 15%.

Impedanța subtranzitorie a generatorului se calculează cu relația:

$$X''_d(\text{ohmi}) = \frac{U_n^2 X''_d}{100 S} \quad \text{unde } S = \sqrt{3} U_n I_n$$

■ Perioada tranzitorie

Perioada tranzitorie se plasează între 100 și 500 ms de la momentul producerii defectului. Pornind de la valoarea curentului de defect al perioadei subtranzitorii, curentul scade până la cca. $1.5 - 2 I_n$.

Impedanța de scurtcircuit de luat în considerare pentru această perioadă este reactanța tranzitorie, exprimată în % și este, de asemenea, dată de producător, X'_d . Valorile tipice sunt între 20 și 30%.

■ Perioada de stabilitate

Perioada de stabilitate se plasează după 500 ms de la momentul producerii defectului.

Dacă defectul persistă tensiunea produsă de generator scade, însă regulatorul de excitație caută să determine revenirea acesteia la valoarea inițială. Rezultatul este stabilizarea curentului de scurtcircuit:

- dacă excitația generatorului nu crește în timpul scurtcircuitului (nu există supraexcitație), dar este menținută la nivelul dinainte de momentul apariției defectului, atunci curentul se stabilizează la o valoare dată de reactanța sincronă X_d a generatorului. Valoarea tipică pentru X_d este mai mare de 200%. În consecință, curentul final va fi mai mic decât curentul nominal al generatorului și anume, în jur de $0,5 I_n$;

- dacă generatorul este echipat cu supraexcitație sau cu excitație mixtă, creșterea tensiunii de excitație va determina o creștere a curentului de defect (pentru cca. 10 secunde) la o valoare de cca. 2 - 3 ori curentul nominal al generatorului.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Calculul curentului de scurtcircuit

În mod normal, producătorii fac publice valorile impedanțelor și constantelor de timp necesare pentru analiza funcționării în perioadele tranzitorii sau permanente (vezi **Tab. N5**).

(kVA)	75	200	400	800	1.600	2.500
X''d	10,5	10,4	12,9	10,5	18,8	19,1
X'd	21	15,6	19,4	18	33,8	30,2
Xd	280	291	358	280	404	292

Tab. N5: Exemplu de tabel de impedanțe.

Rezistențele sunt întotdeauna neglijabile în comparație cu reactanțele. Parametrii pentru calculul curentului de scurtcircuit sunt:

■ Valoarea curentului de scurtcircuit la bornele generatorului

Curentul de scurtcircuit de valoare mare, în perioada tranzitorie, este dat de relația:

$$I_{sc3} = \frac{U_n}{X'_d} \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ (X'd în ohmi)}$$

sau

$$I_{sc3} = \frac{I_n}{X'_d} 100 \text{ (X'd în \%)}$$

unde U_n este tensiunea de linie (fază-fază) a generatorului.

Notă: Această valoare poate fi comparată cu cea a curentului de scurtcircuit de la bornele unui transformator. Astfel, pentru aceeași putere, curentul de scurtcircuit produs în apropiere de bornele unui generator va fi de 5 - 6 ori mai mic decât cel produs la bornele unui transformator (sursa principală).

Această diferență este mai mult accentuată de faptul că, în general, puterea generatorului este mai mică decât a transformatorului (vezi **Fig. N6**).

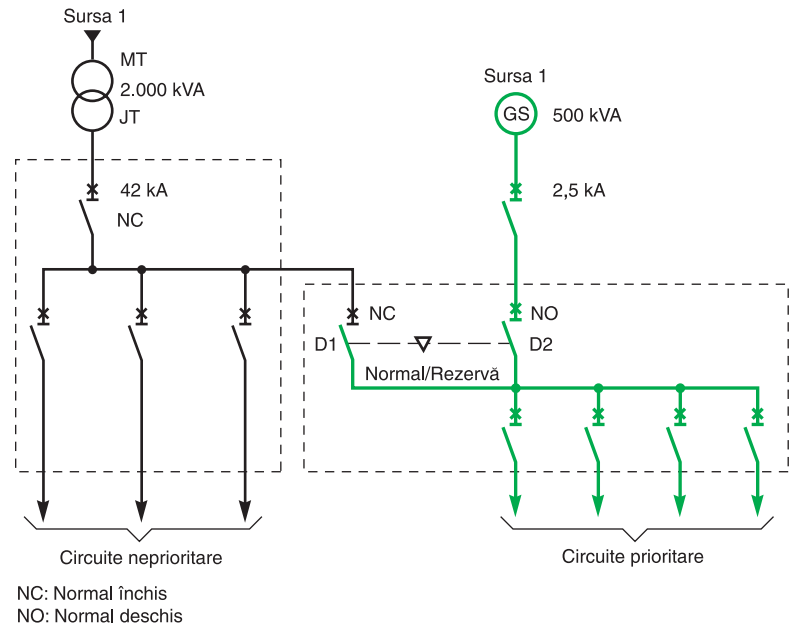


Fig N6: Exemplu de tablou pentru consumatori prioritari, alimentați (în cazuri de urgență) printr-un generator.

Atunci când o rețea este alimentată de către o sursă Normală 1 de 2.000 kVA, curentul de scurtcircuit pe barele tabloului principal de JT este de 42 kA. Atunci când rețeaua este alimentată de către o sursă de Rezervă 2 de 500 kVA cu reactanța tranzitorie de 30%, curentul de scurtcircuit va avea valoarea de aproximativ 2,5 kA, adică de 16 ori mai mică decât cea în cazul sursei principale.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

1.2 Protecția rețelei de joasă tensiune din aval

Protecția circuitelor prioritare

Alegerea capacității de rupere a întreruptoarelor automate

Aceasta trebuie totdeauna corelată cu de caracteristicile sursei normale (transformatorul MT/JT).

Alegerea și reglajele declanșatoarelor la scurtcircuit temporizate

■ Tablourile secundare

Valorile nominale ale dispozitivelor de protecție alimentate din tablourile de distribuție secundare și finale sunt întotdeauna mai mici decât curentul nominal al generatorului. În consecință, cu excepția unor cazuri speciale, condițiile sunt similare alimentării prin transformator.

■ Tabloul general de distribuție

Dimensionarea dispozitivului principal de protecție se face, în mod normal, similar cu cel al generatorului. Reglajul declanșării protecției trebuie să se realizeze în conformitate cu caracteristicile generatorului (a se vedea secțiunea "Protecția la scurtcircuit").

Selectivitatea dispozitivelor de protecție a consumatorilor prioritari cu protecția de pe generator trebuie să se facă prin reglaje ale acestora din urmă (poate fi chiar obligatorie pentru surse de alimentare de siguranță). Este necesar, de asemenea, să se verifice reglarea corectă a pragului de declanșare a dispozitivelor de protecție a sursei principale cu cel al dispozitivelor de protecție din aval (reglate în mod normal la $10 I_n$).

Notă: Când se alimentează de la generator, utilizarea unei protecții împotriva curentului rezidual de mică sensibilitate permite monitorizarea izolației și asigură, foarte ușor, selectivitatea.

Protecția utilizatorilor

În cazul sistemelor de legare la pământ IT (al doilea defect) și TN, protecția oamenilor împotriva contactelor indirecte, este asigurată prin protecția la scurtcircuit temporizată a întreruptoarelor automate. Funcționarea lor trebuie asigurată atât în cazul în care instalația este alimentată de către sursa normală (transformator), cât și dacă este alimentată prin sursa de rezervă (generator).

Calculul curentului de defect de izolație

Reactanța homopolară este menționată de către producător ca fiind % din U_0 , X'_0 . Valoarea tipică este 8%.

Curentul de scurtcircuit monofazat fază-neutru este dat de de relația:

$$I_f = \frac{U_n \sqrt{3}}{2 X'd + X'o}$$

Curentul de defect de izolație în sistemele TN este ușor superior curentului de scurtcircuit trifazat. De exemplu, în eventualitatea unui defect de izolație în instalația din exemplul anterior, curentul de defect de izolație este 3 kA.

1.3 Funcții de monitorizare

Datorită caracteristicilor specifice ale generatorului și ale variațiilor lor, parametri corespunzători de funcționare ai acestuia trebuie să fie monitorizați, mai ales în cazul unor sarcini speciale.

Comportarea generatorului este diferită față de cea a unui transformator:

- puterea activă este optimizată pentru un factor de putere = 0,8;
- la mai puțin de 0,8 factor de putere, prin creșterea excitației, generatorul poate genera putere reactivă.

Bateria de condensatoare

Un generator în gol conectat la o baterie de condensatoare se poate autoexcita, aceasta conducând la o supratensiune.

Bateria de condensatoare instalată pentru corecția factorului de putere trebuie, prin urmare, deconectată. Aceasta se poate realiza printr-un semnal trimis regulatorului varmetric (dacă acesta este conectat la sistemul care urmărește sarcina generatorului), sau direct prin deschiderea întreruptorului automat prin care se alimentează bateria de condensatoare.

Dacă bateria este, însă, în continuare necesară nu se va utiliza regulatorul pentru corecția factorului de putere în acest caz (reglaj incorect și prea încet).

Repornirea motorului și reaccelerarea

Generatorul poate furniza un curent între 3 - 5 ori curentul său nominal numai în perioada tranzitorie.

Motorul absoarbe aproximativ $6 I_n$ pe perioada de pornire (2 - 20 s).

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

În cazul unor sarcini tip motor, dacă ΣP_{motor} este mare, pornirea simultană a acestora generează un vârf de curent de valoare foarte mare, care poate determina căderi mari de tensiune datorită valorilor mari ale reactanțelor tranzitorii și subtranzitorii ale generatorului (20 la 30%), cu riscuri în ceea ce privește:

- nepornirea motoarelor;
 - creșterea de temperatură datorată prelungirii perioadei de pornire a motoarelor motivate de căderea de tensiune;
 - declanșarea dispozitivelor de protecție termică.
- Mai mult, rețeaua și dispozitivele de comandă sunt afectate de căderea de tensiune.

Aplicație (vezi Fig. N7)

Un generator alimentează mai multe motoare.

Caracteristicile la scurtcircuit al generatorului sunt: $P_n = 130 \text{ kVA}$, la un factor de putere de 0,8 și $I_n = 150 \text{ A}$.

$X'_d = 20\%$ (de exemplu), prin urmare, $I_{sc} = 750 \text{ A}$.

■ $\Sigma P_{\text{motoare}}$ este 45 kW (45% din puterea generatorului).

Calculul căderii de tensiune la pornirea simultană a motoarelor:

$\Sigma P_{\text{motor}} = 45 \text{ kW}$, $I_m = 81 \text{ A}$, deci un curent de pornire $I_d = 480 \text{ A}$ pe perioada de la 2 la 20 s.

Căderea de tensiune pe bară în cazul pornirii simultane a motoarelor este:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{I_d - I_n}{I_{sc} - I_n} \right) (\text{în } \%)$$

$\Delta U = 55\%$, ceea ce nu este suportabil pentru motoare (eșec la pornire).

■ $\Sigma P_{\text{motoare}}$ este 20 kW (20 % din puterea generatorului).

Calculul căderii de tensiune la pornire:

$\Sigma P_{\text{motor}} = 20 \text{ kW}$, $I_m = 35 \text{ A}$, deci un curent de pornire $I_d = 210 \text{ A}$ pe perioada de la 2 la 20 s.

Căderea de tensiune pe bare va fi:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{I_d - I_n}{I_{sc} - I_n} \right) (\text{în } \%)$$

$\Delta U = 10\%$, ceea ce este mult (depinde de tipul de sarcină), dar totuși este suportabil.

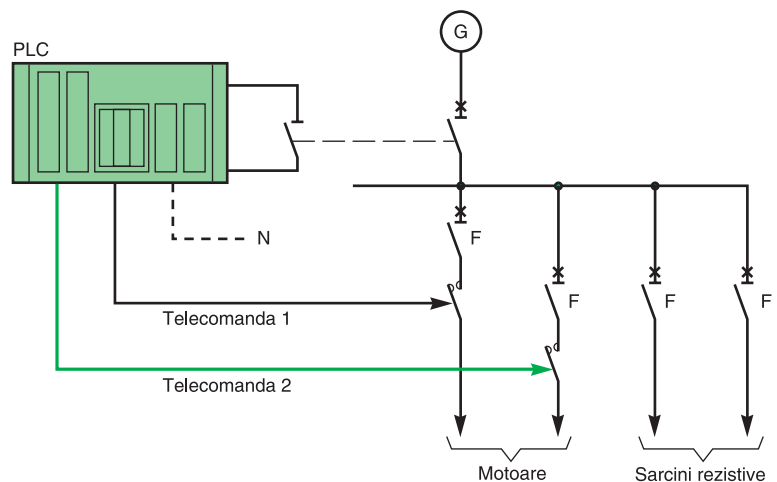


Fig N7: Repornirea motoarelor prioritare ($\Sigma P > 1/3 P_n$).

Soluții de repornire

■ Dacă P_{max} a celui mai mare motor $> \frac{1}{3} P_n$, pe acesta trebuie instalat un dispozitiv de ameliorare a pornirii;

■ Dacă $\Sigma P_{\text{motoare}} > \frac{1}{3} P_n$, repornirea acestora trebuie să se facă în cascadă, comandată de un PLC

■ Dacă $\Sigma P_{\text{motoare}} < \frac{1}{3} P_n$, nu sunt probleme la repornire.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Sarcini neliniare - Exemplul unui UPS

Sarcini neliniare

În principal, acestea sunt:

- circuite magnetice saturate;
- lămpi cu descărcare, lămpi fluorescente;
- convertizoare electronice;
- sisteme de calcul: PC, calculatoare, etc.

Aceste sarcini generează curenți armonici: alimentate de către un generator acestea pot genera distorsiuni mari de tensiune datorită puterii de scurtcircuit scăzute a generatorului.

Surse neîntreruptibile de putere (UPS) (vezi Fig. N8)

Combinarea dintre un UPS și un generator este cea mai bună soluție pentru asigurarea unei bune calități a energiei electrice, cu o lungă autonomie, ce poate fi utilizată pentru alimentarea sarcinilor sensibile.

De asemenea, redresorul reprezintă o sarcină neliniară. La dispariția sursei normale autonomia UPS-ului pe baterii trebuie să acopere timpul necesar pentru pornirea și conectarea generatorului.

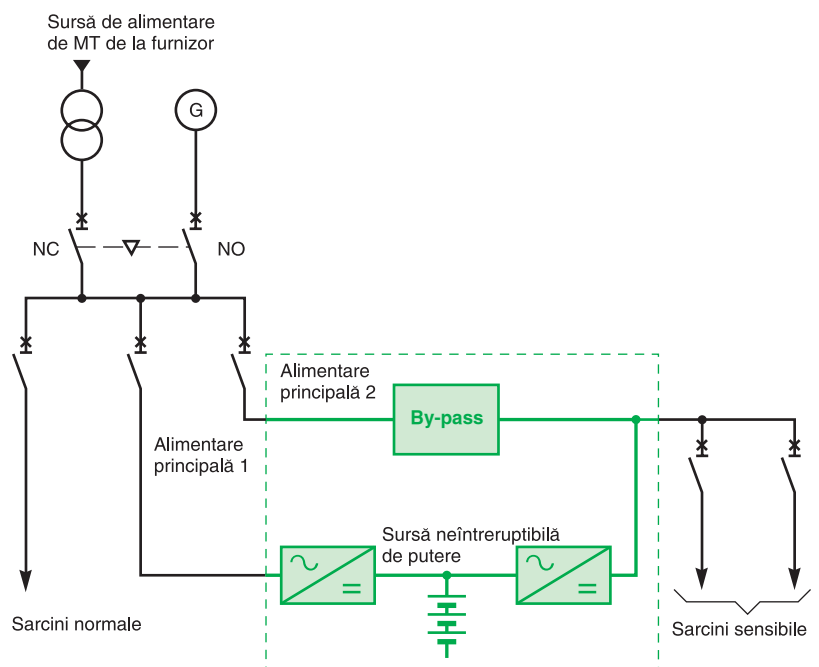


Fig N8: Grup Generator combinat cu UPS pentru asigurarea calității energiei electrice.

Puterea UPS-ului

Puterea UPS-ului trebuie să fie corespunzătoare:

- puterii nominale a sarcinilor din aval. Aceasta este suma puterilor aparente P_a absorbite de către fiecare circuit. Mai mult, pentru a nu supradimensiona instalația, trebuie luată în considerare capacitatea de suprasarcină a UPS-ului (de ex.: $1,5 I_n$ pentru 1 minut și $1,25 I_n$ pentru 10 minute);
- puterii cerute pentru reîncărcarea bateriilor. Acest curent este proporțional cu autonomia cerută pentru o putere dată. Valoarea S_r a UPS-ului este dată de relația: $S_r = 1,17 \times P_n$.

Tabelul N9 definește curenții de declanșare și dispozitivele de protecție pentru alimentarea redresorului (Alimentarea 1) și a alimentării de rezervă (Alimentarea 2).

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Puterea nominală P_n (kVA)	Valoarea curentului (A) Alimentarea 1 cu baterii trifazate la 400 V - I_1	Alimentarea 2 trifazată la 400 V - I_u
40	86	60,5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1.180	912
800	1.648	1.215

Tab. N9: Curenții de declanșare ale dispozitivelor de protecție pentru alimentarea principală (redresor) și pentru alimentarea de rezervă.

Combi-nația Grup generator/UPS

■ Repornirea redresorului alimentat din generator

Redresorul UPS-ului poate fi echipat cu un sistem de începere progresivă a încărcării pentru a împiedica apariția unor curenți de declanșare nedoriti atunci când instalația comută pe generator (vezi **Fig. N10**).

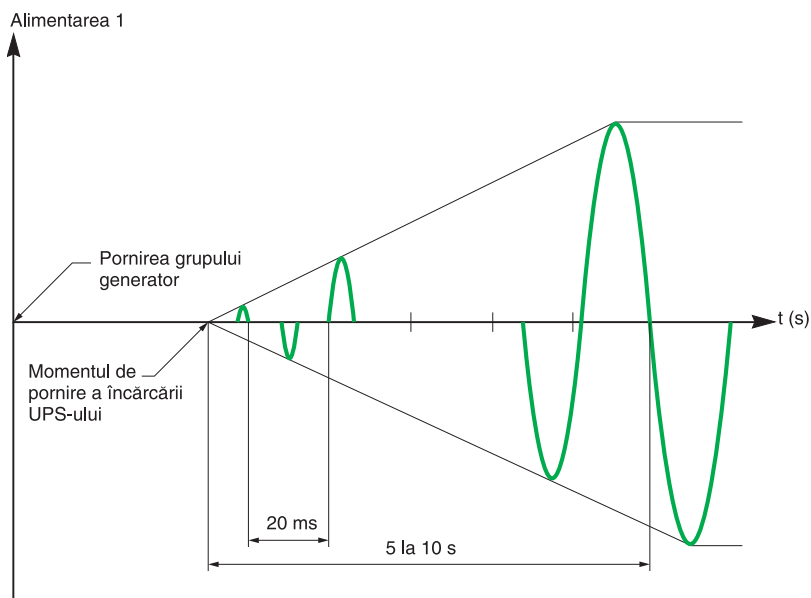


Fig N10: Pornirea progresivă a încărcării redresorului UPS-ului.

■ Armonicile și distorsiunea tensiunii

Distorsiunea de tensiune totală τ se definește prin relația:

$$\tau(\%) = \frac{\sqrt{\sum U_h^2}}{U_1}$$

unde U_h este armonica de tensiune de ordin h .

Această valoare depinde de:

- curenții armonici generați de redresor (proportionali cu puterea S_r a redresorului),
- reactanța subtranzitorie longitudinală X''_d a generatorului,
- puterea S_g a generatorului.

Se definește $U'R_{cc}(\%) = X''_d \frac{S_r}{S_g}$, tensiunea relativă de scurtcircuit a generatorului, adusă spre a fi redresată, adică, $\tau = f(U'R_{cc})$.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Nota 1: Întrucât reactanța subtranzitorie este mare, distorsiunea armonică este prea mare în comparație cu valoarea admisibilă (7 - 8%) pentru motive economice ținând de alegerea generatorului: utilizarea unui filtru adecvat reprezintă o soluție optimă și eficientă din punct de vedere al costurilor.

Nota 2: Distorsiunea armonică nu are efecte negative asupra redresorului dar poate avea astfel de efecte asupra altor sarcini alimentate, în paralel cu redresorul.

Aplicație

Pentru determinarea distorsiunii τ de tensiune în funcție de $U'R_{cc}$ este utilizată următoarea reprezentare grafică (vezi Fig. N11).

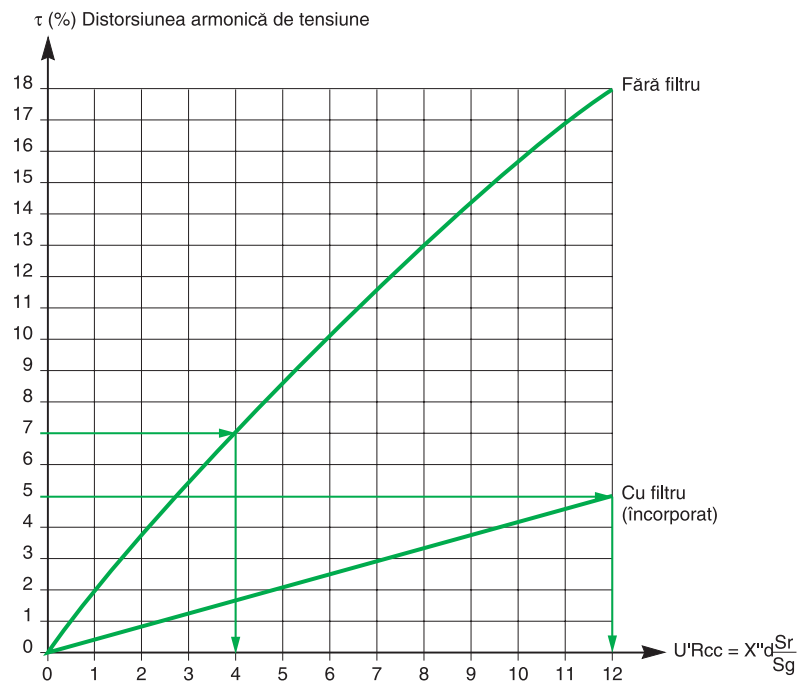


Fig N11: Grafic pentru calculul distorsiunii armonice.

Graficul indică:

■ τ ca o funcție de $U'R_{cc}$, sau

■ $U'R_{cc}$ ca o funcție de τ

de la care se va determina puterea S_g a generatorului.

Exemplu: Alegerea generatorului

■ UPS 300 kVA fără filtru, reactanța subtranzitorie de 15%.

Puterea S_r a redresorului este $S_r = 1,17 \times 300 \text{ kVA} = 351 \text{ kVA}$

Pentru $\tau = 7\%$, graficul dă $U'R_{cc} = 4\%$, puterea S_g este:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1.400 \text{ kVA}$$

■ UPS 300 kVA cu filtru, reactanța subtranzitorie de 15%.

Pentru $\tau < 5\%$, graficul dă $U'R_{cc} = 12\%$, puterea S_g este:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ kVA}$$

Notă: Cu un transformator în amonte de 630 kVA și cu un UPS fără filtre de 300 kVA, se poate obține un raport de 5%.

Rezultatul indică faptul că funcționarea unui generator trebuie continuu monitorizată din punct de vedere al curenților armonici.

Dacă distorsiunea armonică de tensiune este prea mare, utilizarea unui filtru de rețea este cea mai bună soluție de utilizat pentru a o aduce în limite care pot fi tolerate de sarcinile sensibile.

1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

1.4 Conectarea în paralel a generatoarelor

Indiferent de tipul de aplicație (surse de siguranță, surse alternative sau surse de producție) conectarea generatoarelor în paralel impune un management fin al conectării, și anume, funcții de monitorizare.

Punerea în paralel

Întrucât generatoarele produc energie, în paralel, pe aceeași sarcină, ele trebuie să fie corect sincronizate (tensiune, frecvență) iar distribuția sarcinii trebuie să fie adecvat echilibrată. Această funcție este îndeplinită de regulatorul fiecărui generator (regulator termic și de excitație). Parametrii (tensiune, frecvență) sunt monitorizați înainte de conectare; dacă valorile acestor parametri sunt corecte, conectarea în paralel poate avea loc.

Defectele de izolație (vezi Fig. N12)

Un defect de izolație produs în carcasa metalică a unui generator poate crea serioase probleme acestuia mai ales dacă reprezintă un scurtcircuit monofazat fază-neutru. Defectul trebuie detectat și eliminat rapid, altfel, celelalte generatoare pot alimenta defectul cu energie, iar protecțiile lor vor declanșa la suprasarcină: continuitatea alimentării cu energie electrică a instalației nu mai este asigurată. Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP) din interiorul generatorului este utilizată pentru:

- deconectarea rapidă a defectelor la generator în scopul păstrării continuității în alimentarea cu energie electrică;
- a nu funcționa în cazul defectării circuitelor de control ale generatorului, în sensul de a-l opri din funcționare și de a limita daunele.

Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP) este de tip “reziduală” și trebuie să fie instalată cât mai aproape posibil de dispozitivul de protecție în sistemele TN-C/TN-S⁽¹⁾ al fiecărui generator, cu conectarea carcasei la conductorul de protecție separat PE. Acest tip de protecție este uzual numit “defect restrictiv de punere la pământ”.

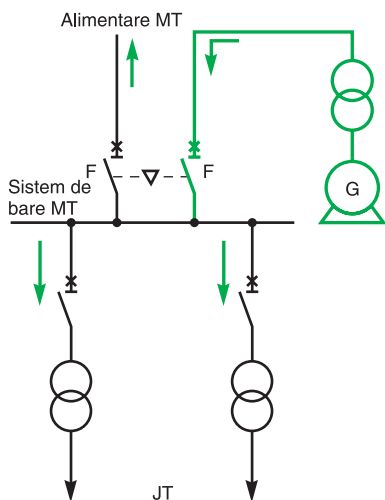


Fig N13: Direcția transferului de energie: Grupul generator ca un generator.

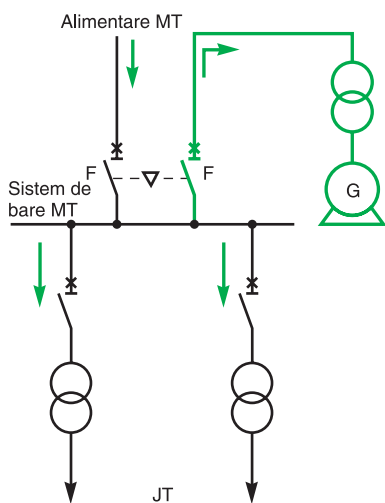


Fig N14: Direcția transferului de energie: grupul generator ca sarcină.

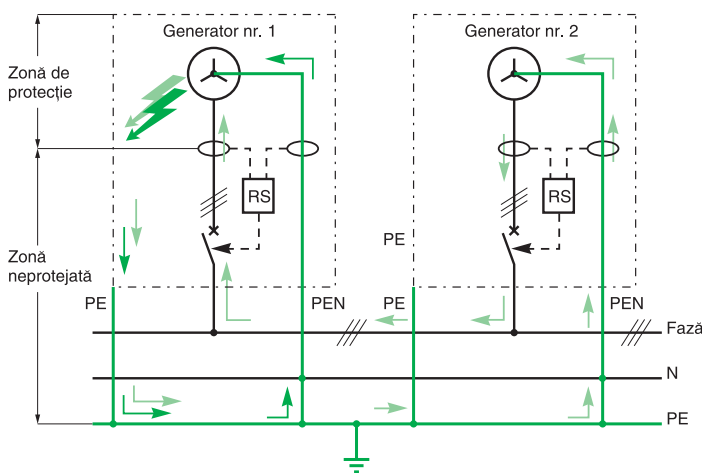


Fig N12: Defectul de izolație în interiorul unui generator.

Defectele grupurilor generatoare ca sarcină (vezi Fig. N13 și N14)

Unul din grupurile generatoare conectate în paralel poate să nu mai funcționeze ca generator ci ca un motor (datorită pierderii excitației, de exemplu). Aceasta poate produce suprasarcină asupra celorlalte grupuri generatoare și deci, să conducă la întreruperea alimentării cu energie electrică a instalației.

Pentru a verifica că grupul generator furnizează energie electrică instalației (deci funcționează ca generator), este necesar să se verifice direcția de circulație a fluxului energiei electrice către sistemul de bare, utilizând verificarea “puterii inverse”. Dacă se produce un defect, de exemplu, un grup generator funcționează ca motor, această funcție va elimina grupul generator defect.

Legarea la pământ a grupurilor generatoare conectate în paralel

Legarea la pământ a grupurilor generatoare conectate în paralel poate conduce la o circulație de curenți de defect (armonica de ordinul 3 și armonicile multiplu de 3) prin conectarea bornelor lor de neutru la o priză de pământ comună (sistemele TN sau TT). În consecință, pentru a împiedica circulația acestor curenți între grupurile generatoare se recomandă instalarea unei rezistențe de decuplare pe circuitul de conectare la pământ.

(1) În cazul sistemelor TN-C, grupul generator este privit ca “un generator”, iar în cazul sistemului TN-S, ca o “sarcină”.

2 Surse neîntreruptibile (UPS)

2.1 Disponibilitatea și calitatea energiei electrice

Perturbațiile prezentate mai sus pot afecta:

- siguranța oamenilor;
- siguranța bunurilor;
- viabilitatea economică a unei companii sau a unui proces de producție.

Perturbațiile trebuie prin urmare eliminate.

În acest scop există soluții tehnice cu un grad diferit de eficiență. Aceste soluții pot fi comparate pe baza a două criterii:

- disponibilitatea puterii furnizate;
- calitatea energiei furnizate.

Disponibilitatea puterii furnizate poate fi apreciată ca timpul dintr-un an când această putere a fost prezentă la bornele sarcinii. Disponibilitatea este afectată, în principal, de întreruperi în alimentare datorate nefuncționării furnizorului de putere sau datorită defectelor electrice.

Există un număr de soluții pentru limitarea riscurilor:

- divizarea instalației astfel încât să se utilizeze mai multe surse de energie în loc de una;
- subdivizarea instalației în circuite prioritare și neprioritare, acolo unde alimentarea circuitelor prioritare se poate face, la nevoie, din altă sursă disponibilă;
- sacrificarea, la nevoie, a unor consumatori astfel încât să poată fi utilizată o putere mai mică pentru alimentarea de rezervă;
- alegerea unui sistem de tratare a neutrului adecvat pentru a îmbunătăți continuitatea alimentării cu energie electrică, de exemplu sistemul IT;
- selectivitatea dispozitivelor de protecție (declanșarea selectivă) pentru a limita consecințele unui defect produs într-o parte a instalației.

De menționat că, singura modalitate de a asigura disponibilitatea puterii în perioadele de nefuncționare a sursei principale de alimentare este existența, în afara măsurilor amintite mai sus, a unei surse alternative autonome, măcar pentru circuitele prioritare (vezi **Fig. N15**).

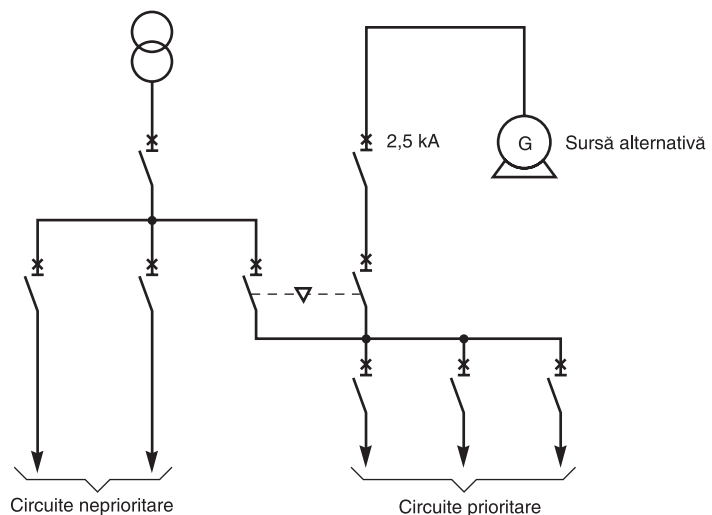


Fig. N15: Disponibilitatea energiei electrice.

În eventualitatea apariției unor probleme în rețeaua principală această sursă alternativă preia sarcina sursei principale dar trebuie avuți în vedere doi factori:

- timpul de transfer (timpul necesar preluării sarcinii de către sursa alternativă) care trebuie să fie acceptat de către receptori;
- durata de timp cât această sursă alternativă poate alimenta receptori.

Calitatea energiei electrice este determinată de eliminarea perturbațiilor prezentate anterior, de la bornele sarcinii.

O sursă alternativă este o soluție pentru asigurarea disponibilității energiei la bornele sarcinii însă, în multe cazuri, aceasta nu garantează calitatea energiei livrate, cu referire la perturbațiile de mai sus.

În zilele noastre, multe aplicații electronice sensibile necesită o alimentare cu energie electrică fără astfel de perturbații, nemaivorbind de întreruperi, cu toleranțe stricte, mai mici decât cele ale furnizorului de electricitate. Acesta este, de exemplu, cazul rețelelor de calculatoare (Data-center), al centralelor telefonice și al multor procese industriale de comandă și monitorizare. Aceste aplicații necesită soluții care să asigure în același timp disponibilitate și calitate pentru energia electrică furnizată.

Soluția cu UPS

Soluția pentru aplicațiile sensibile este utilizarea unei interfețe între sursa de alimentare și sarcinile sensibile, astfel încât, tensiunea furnizată:

- să nu prezinte perturbații existente, în mod normal, la sursa de energie și să fie în conformitate cu toleranțele stricte impuse de sarcini;
- să fie disponibilă în eventualitatea unei întreruperi a alimentării cu energie electrică provenită de la sursa principală, în toleranțele specificate.

UPS-urile (surse neîntreruptibile de energie) satisfac aceste cerințe în ceea ce privește disponibilitatea și calitatea energiei, deoarece:

- alimentează sarcinile cu valori de tensiune care corespund strict cu toleranțele impuse, prin utilizarea unui invertor;
- furnizează în mod autonom energie electrică, prin utilizarea bateriilor;
- înlocuiesc sursa principală de energie electrică cu timp de transfer zero, fără nici o întrerupere în alimentarea sarcinii, prin utilizarea unui întreruptor cu comutare statică. Aceste caracteristici fac din UPS-uri sursa ideală de alimentare a aplicațiilor sensibile deoarece acestea asigură disponibilitatea și calitatea energiei electrice de alimentare indiferent de starea sursei principale.

Un UPS este alcătuit din următoarele componente principale:

- redresorul/încărcător, care produce energie de curent continuu pentru încărcarea bateriilor și alimentarea invertorului;
- invertorul care produce energie electrică de calitate, adică:
 - fără perturbațiile prezente în cazul sursei de alimentare principale, adică, micro-întreruperi,
 - cu toleranțe compatibile cu cerințele dispozitivelor electronice sensibile (de ex: pentru gama Galaxy, toleranțele în amplitudine $\pm 0,5\%$ și frecvență $\pm 1\%$, comparativ cu $\pm 10\%$, respectiv $\pm 5\%$ în cazul sursei principale, ceea ce reprezintă factori de îmbunătățire de 20, respectiv 5);
- bateriile de acumulatori, care furnizează un timp de salvare (de la 8 minute la 1 oră sau mai mult) pentru a asigura protecția oamenilor și a bunurilor prin înlocuirea sursei principale în caz de nevoie.
- comutatorul static, un dispozitiv bazat pe semiconductoare care transferă sarcina de la invertor la sursa principală și înapoi fără nici o întrerupere în alimentarea cu energie.

2.2 Tipuri de UPS-uri statice

Tipurile de UPS-uri statice sunt definite de standardul CEI 62040.

Standardul consideră trei moduri de funcționare:

- standby pasiv (sau "off-line");
- în operare interactivă;
- dublă conversie (sau "on-line").

Aceste definiții se referă la funcționarea UPS-urilor cu referire la sursa de alimentare, inclusiv sistemul de distribuție din amonte de UPS-uri.

Standardul CEI 62040 definește următorii termeni:

- putere primară: puterea în mod normal continuu disponibilă care este uzual furnizată de compania de electricitate sau uneori de către generatorul propriu al utilizatorului;
 - puterea de standby: puterea care urmează să înlocuiască puterea primară în eventualitatea unei căderi a sursei principale;
 - puterea de bypass: puterea furnizată pe calea de ocolire (bypass).
- Practic vorbind, un UPS este echipat cu două intrări de curent alternativ care, în acest manual se numesc intrarea normală c.a. și intrarea de bypass c.a.
- intrarea normală c.a., menționată ca intrarea 1, este alimentată de la sursa primară, adică printr-un cablu conectat la sursa din sistemul de alimentare al furnizorului sau din sistemul de distribuție privat;
 - intrarea de bypass c.a., menționată ca intrarea 2, este în general alimentată din sursa de rezervă, adică printr-un cablu conectat la o sursă de alimentare din amonte alta decât cea care alimentează intrarea normală c.a., în fapt, o sursă alternativă (de exemplu un grup generator sau alt UPS, etc.).

Când puterea de standby nu este disponibilă, intrarea de bypass c.a. este alimentată cu putere primară (al doilea cablu paralel cu cel conectat pentru alimentarea sursei normale).

Intrarea de bypass c.a. este utilizată să alimenteze linia de bypass ale UPS-ului, dacă acestea există. În consecință linia de bypass este alimentată cu putere primară sau de standby în funcție de disponibilitatea unei surse de putere de standby.

Funcționarea UPS în modul standby pasiv (off-line)

Principiul de funcționare

Invertorul este conectat în paralel cu intrarea c.a. în standby (vezi Fig. N16).

■ Modul normal

Sarcina este alimentată de la sursa principală printr-un filtru care elimină anumite perturbații și asigură un anumit grad de reglare a tensiunii (standardele vorbesc despre "dispozitive adiționale pentru a asigura reglarea puterii"). Invertorul funcționează în modul standby pasiv.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de intrare sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile de acumulatori intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii într-un timp de transfer foarte scurt (< 10 ms). UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcare a bateriilor sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

Utilizare

Această configurație este, de fapt, un compromis între un nivel acceptabil de protecție împotriva perturbațiilor și costuri. Poate fi utilizată doar pentru puteri mici (< 2 kVA) și funcționează fără un transfer static real, astfel încât, pentru transferul sarcinii pe invertor, este necesar un anumit timp. Acest timp este acceptabil pentru anumite aplicații, însă este incompatibil cu performanțele impuse de sistemele mai sofisticate și mai sensibile (ex. centre de date, centrale telefonice, etc.). Mai mult, frecvența nu este reglată și nu există bypass.

Notă: În modul normal, energia sursei principale care alimentează sarcina nu circulă prin invertor, de aceea, acest tip de UPS se mai numește și "off-line". Acest termen induce totuși în eroare deoarece, de asemenea, sugerează "nealimentat de la sursa principală", când, de fapt, în cazul funcționării normale, sarcina este alimentată de la sursa principală via intrarea c.a. De aceea, standardul CEI 62040 recomandă utilizarea termenului de "standby pasiv".

Funcționarea UPS-ului în modul line-interactiv (op. interactivă)

Principiul de funcționare

Invertorul este conectat în paralel cu intrarea de c.a. într-o configurație de standby, dar încarcă, de asemenea, bateriile. El interacționează (în mod reversibil) cu intrarea de c.a. a sursei (vezi Fig. N17).

■ Modul normal

Sarcina este alimentată cu putere via o conexiune paralelă a intrării de c.a. cu cea a invertorului. Invertorul funcționează în sensul îmbunătățirii calității tensiunii livrate sarcinii și/sau pentru a încărca bateriile. Frecvența tensiunii de ieșire depinde de frecvența intrării de c.a.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de ieșire sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii, în urma unui transfer fără întrerupere, utilizând un întreruptor static de transfer, care deconectează, de asemenea, intrarea de c.a. pentru a împiedica circulația puterii de la invertor spre amonte. UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcarea a acestora sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

■ Modul bypass

Acest tip de UPS poate fi echipat cu un bypass. Dacă una dintre funcțiile UPS-ului dispăre, sarcina poate fi transferată către intrarea de bypass (alimentată de la sursa principală sau de la sursa de standby, în funcție de instalație).

Utilizare

Această configurație nu este adecvată alimentării sarcinilor sensibile în cazul puterilor mari deoarece reglajul frecvenței nu este posibil. Din acest motiv, este rar utilizată și doar pentru puteri mici.

Funcționarea UPS în modul dublă conversie (on-line)

Principiul de funcționare

Invertorul este conectat în serie între intrarea de c.a. și aplicație.

■ Modul normal

În timpul funcționării în modul normal, întreaga energie furnizată sarcinii trece prin redresorul/încărcător și invertor, care realizează, împreună o dublă conversie (c.a.-c.c-c.a.), de aici și numele.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de ieșire sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii, în urma unui transfer fără întrerupere, utilizând un întreruptor static de transfer. UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcare sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

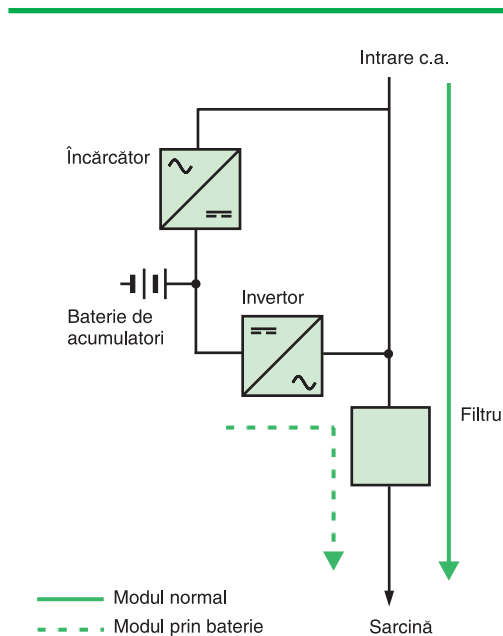


Fig. N16: Funcționarea UPS-ului în modul standby pasiv.

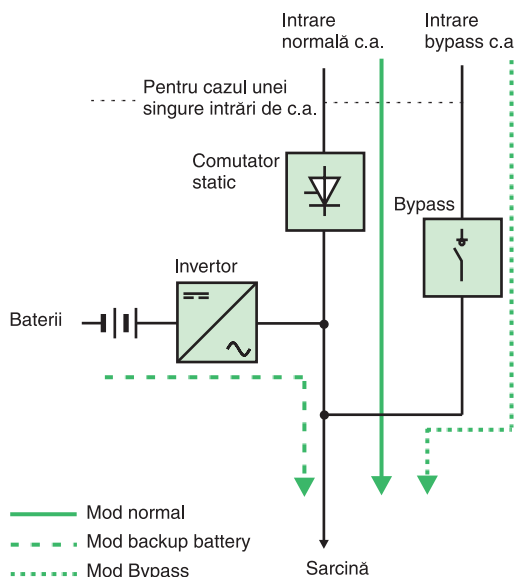


Fig. N17: Funcționarea UPS-ului în modul operare interactivă.

■ Modul bypass

Acest tip de UPS este în general echipat cu un bypass static, iar uneori și cu un întreruptor static (vezi **Fig. N18**).

Sarcina poate fi transferată fără întreruperea alimentării, pe intrarea de bypass (alimentată de la sursa principală sau de la sursa de standby, în funcție de instalație), în următoarele cazuri:

- căderea UPS-ului;
- curenți de sarcină tranzitorii (șocuri de curent sau curenți de defect);
- vârfuri de curent ale sarcinii.

Totuși, prezența bypass-ului presupune faptul că frecvențele de intrare și de ieșire sunt identice iar dacă nivelele de tensiune nu sunt egale, se impune un transformator pe bypass.

Pentru anumite sarcini, UPS-urile trebuie să fie sincronizate cu puterea de pe intrarea de bypass pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii. Mai mult, atunci când UPS-ul este în modul bypass, o perturbare pe intrarea de c.a. a sursei principale se poate transmite direct sarcinii deoarece inverterul nu este implicat în circuit.

Notă: O altă linie de bypass, deseori numită linie de bypass de întreținere este disponibilă în scopuri de întreținere. Poate fi acționată printr-un întreruptor manual.

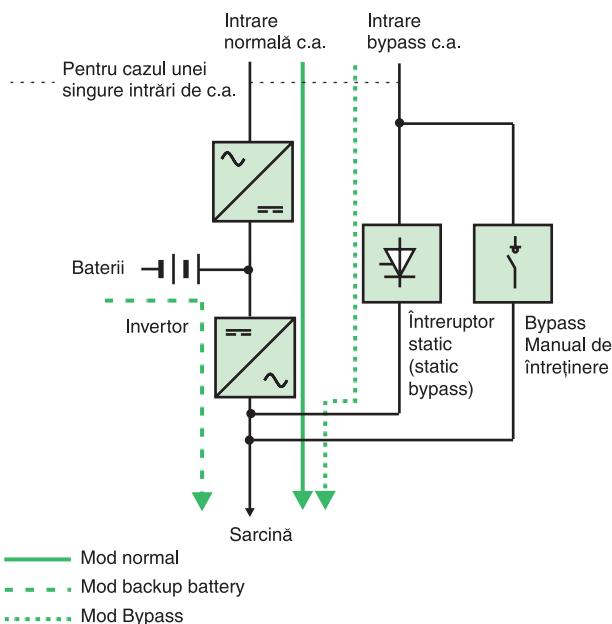


Fig. N18: Funcționarea UPS-ului în modul dublă conversie.

Utilizare

În această configurație timpul necesar de transfer al sarcinii către inverter este neglijabil datorită dispozitivului întreruptorului static.

De asemenea, frecvența și tensiunea de la ieșire nu depind de condițiile de tensiune și frecvența de intrare. Aceasta înseamnă că atunci când este proiectat în acest scop, UPS-ul poate funcționa ca un convertizor de frecvență.

Practic vorbind, aceasta este configurația utilizată în principal în cazul puterilor medii și mari (de la 10 kVA în sus). În continuarea acestui capitol se va considera doar această configurație.

Notă: Acest tip de UPS este deseori numit “on-line”, aceasta însemnând că sarcina este în mod continuu alimentată prin intermediul inverterului, indiferent de caracteristicile intrării de c.a. Acest termen induce, totuși în eroare deoarece sugerează “alimentarea de la sursa principală”, când, de fapt, sarcina este alimentată cu energie reconstituită de către sistemul de dublă conversie. De aceea, standardul CEI 62040 recomandă termenul de “dublă conversie”.

2.3 Baterii

Alegerea tipului de baterii

O baterie este alcătuită din interconectarea de celule care pot fi de tipul deschise sau cu recombinație.

Există două familii principale de baterii:

- baterii Nichel-Cadmium;
- baterii cu plumb;
- celulele deschise (plumb-antimoniu): acestea sunt echipate cu porturi pentru:
 - eliberarea în atmosferă de oxigen și hidrogen produs în timpul diferitelor reacții chimice,
 - dopuri pentru electrolit pentru adăugarea de apă distilată sau demineralizată.
- celule cu recombinație (de plumb, plumb pur, plumb-cositor): rata de recombinație a gazului este de cel puțin 95% și, de aceea, acestea nu necesită apă în timpul duratei de viață.

Prin extrapolare, se va face referire la baterii deschise sau recombinate (bateriile recombinate sunt deseori numite și baterii "capsulate").

Principalele tipuri de baterii utilizate în legătură cu UPS-urile sunt:

- baterii capsulate cu plumb, utilizate în proporție de 95% deoarece sunt ușor de întreținut și nu necesită o cameră specială;
- baterii deschise cu plumb;
- baterii deschise cu nichel-cadmium.

Cele trei tipuri de baterii menționate mai sus pot fi propuse, în funcție de factori economici și de cerințele de funcționare ale instalației.

Nivelurile de capacitate și timpul de descărcare pot fi adaptate nevoilor utilizatorului.

Bateriile propuse sunt, de asemenea, perfect potrivite aplicațiilor cu UPS care sunt, de fapt, rezultatul colaborării cu producătorii de astfel de baterii.

Alegerea duratei de autonomie (timpului de descărcare a bateriilor)

Această alegere depinde de:

- durata medie a întreruperilor sistemului de alimentare;
- timpul de așteptare pentru ca surse alternative aflate în standby (grup generator, etc.) să fie disponibile;
- tipul de aplicație.

Valorile tipice propuse, în general, sunt:

- valori standard: 10, 15, 30 minute;
- valori cerute de aplicație.

Se aplică următoarele reguli generale:

- aplicații tip computer:

Autonomia bateriilor trebuie să fie suficient de mare pentru a acoperi timpul necesar procedurilor de salvare a fișierului în curs și cele de închidere controlată a sistemului de calcul. În general, departamentul de calcul stabilește autonomia necesară în funcție de cerințele specifice;

- procese industriale:

Calculul referitor la autonomie ar trebui să țină cont de costurile economice create de orice întrerupere în alimentarea cu energie electrică și, de asemenea, de timpul necesar repornirii acestor procese industriale.

Tabele de selecție

Tabelul N19 prezintă caracteristicile principale ale diferitelor tipuri de baterii. În mod evident, bateriile cu recombinație (etanșe) par să fie alegerea pieței din următoarele motive:

- nu necesită întreținere;
- sunt ușor de implementat;
- se instalează în orice tip de cameră (camera calculatoarelor, camera tehnică nespecifică pentru baterii, etc.).

Există cazuri în care bateriile deschise sunt preferate, îndeosebi datorită:

- duratei mari de viață;
- autonomiei crescute;
- puterilor nominale mari ale UPS-ului.

Bateriile deschise trebuie instalate în camere speciale, în conformitate cu norme și reguli precise și necesită o întreținere adecvată.

	Durata de viață	Compacte	Toleranțele temperaturii de funcționare	Frecvența operațiunilor de întreținere	Camără specială	Cost
Baterii de plumb etanșe	5 sau 10 ani	+	+	Mică	Nu	Mic spre mediu
Baterii deschise cu plumb	5 sau 10 ani	+	++	Medie	Da	Mic
Nichel-Cadmium	5 sau 10 ani	++	+++	Mare	Nu	Mare

Tab. N19: Principalele caracteristici ale diferitelor tipuri de baterii.

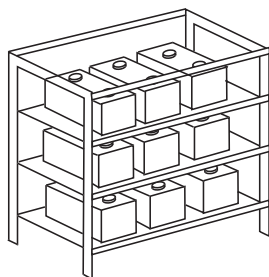


Fig. N20: Instalare pe rafturi.

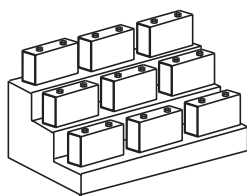


Fig. N21: Instalare pe gradene.

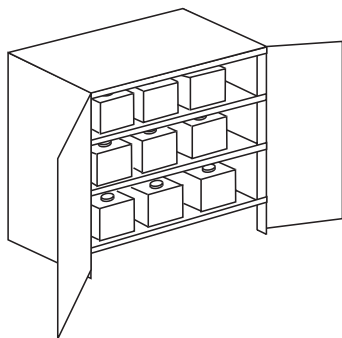


Fig. N22: Instalare în dulapuri.

Metode de instalare

În funcție de puterea UPS-ului, de capacitatea și de autonomia bateriei, acestea pot fi:

- de tip capsulat și incluse în dulapul UPS-ului;
- de tip capsulat și incluse în unu până la trei dulapuri separate;
- de tip deschis sau capsulat și montate pe un rack. În acest caz, metoda de instalare poate fi:
 - pe rafturi (vezi Fig. N20). Această metodă de instalare este posibilă în cazul bateriilor capsulate sau a celor deschise, fără întreținere care nu necesită umplerea cu electrolit,
 - pe gradene (vezi Fig. N21). Această metodă de instalare este adecvată tuturor tipurilor de baterii și, în special pentru cele deschise pentru care verificarea și umplerea cu electrolit se pot face cu ușurință,
 - în dulapuri (vezi Fig. N22). Această metodă de instalare este adecvată bateriilor capsulate. Este ușor de implementat și oferă maximum de siguranță.

2.4 Sistemul de tratare al neutrlui în instalațiile cu UPS-uri

Aplicarea sistemelor de protecție stipulate de standarde în cazul instalațiilor cu UPS-uri impun un număr de măsuri de precauție din următoarele motive:

- UPS-ul joacă două roluri:
 - de sarcină pentru sistemul din amonte,
 - de sursă pentru sistemul din aval;
- când bateriile nu sunt instalate în dulap, un defect de izolație în circuitul de c.c. poate conduce la o componentă continuă de curent rezidual. Această componentă poate perturba funcționarea anumitor dispozitive de protecție, de exemplu, dispozitivele de curent diferențial rezidual utilizate pentru protecția persoanelor.

Protecția împotriva contactelor directe (vezi Fig. N23)

Toate instalațiile îndeplinesc condițiile generale deoarece echipamentul este inclus în dulapuri având un grad de protecție IP 20. Acest lucru este adevărat chiar pentru baterii, atunci când acestea sunt instalate în dulapuri. Când bateriile nu sunt instalate în dulapuri ci în camere speciale, atunci trebuie aplicate măsurile de protecție prezentate la finalul acestui capitol.

Notă: Sistemul TN (versiunile TN-S sau TN-C) este frecvent recomandat pentru alimentarea sistemelor de calculatoare.

N16

Tipul de sistem de tratare a neutrlui	Sistem IT	Sistem TT	Sistem TN
Funcționare	<ul style="list-style-type: none"> ■ Semnalizarea primului defect de izolație ■ Localizarea și eliminarea primului defect ■ Deconectarea la al doilea defect de izolație 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deconectarea la primul defect de izolație 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deconectarea la primul defect de izolație
Tehnici pentru protecția persoanelor	<ul style="list-style-type: none"> ■ Interconectarea și legarea la priza de pământ a părților conductoare ■ Supravegherea primului defect utilizând un echipament de control permanent al izolației ■ Al doilea defect determină întreruperea circuitului (întreruptor automat sau fuzibil) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Legarea la pământ a părților conductoare și utilizarea unui dispozitiv de curent diferențial rezidual ■ Primul defect determină întreruperea circuitului datorită detectării scurgerilor de curent 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Interconectarea și legarea la priza de pământ a părților conductoare și a conductorului de protecție ■ Primul defect determină întreruperea circuitului datorită detectării de supra-curent (întreruptor automat sau fuzibil)
Avantaje și dezavantaje	<ul style="list-style-type: none"> ■ Soluția oferă cea mai bună continuitate a serviciilor (semnalizarea primului defect) ■ Impune un personal competent de întreținere (pentru localizarea primului defect) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cea mai ușoară soluție în termeni de proiectare și execuție ■ Nu necesită contr. permanent al izolației ■ Totuși, orice defect determină întreruperea circuitului respectiv 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Soluție ieftină în termeni de instalare ■ Proiectare dificilă (calcularea impedenței buclei de defect) ■ Impune un personal calificat în exploatare ■ Circulația unor curenți mari de defect

Fig. N23: Principalele caracteristici ale diferitelor sisteme de tratare a neutrlui.

2 Surse neîntreruptibile (UPS)

Puncte esențiale de verificat referitor la UPS-uri

Figura N24 arată toate punctele esențiale care trebuie interconectate și, de asemenea, dispozitivele care trebuie instalate (transformatoare, dispozitive de curent diferențial rezidual, etc.) pentru a se asigura conformitatea instalației cu standardele de siguranță în vigoare.

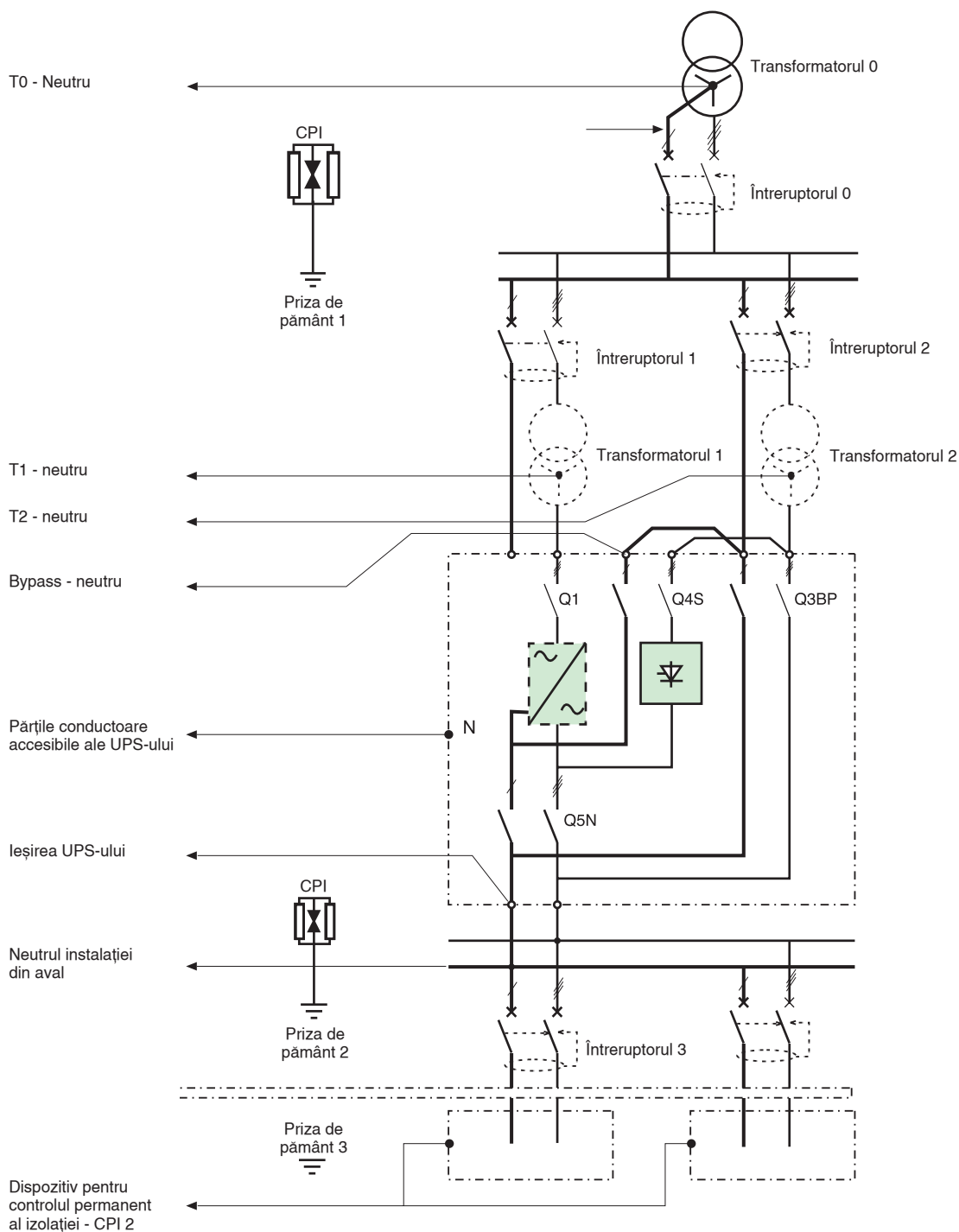


Fig. N24: Punctele esențiale care trebuie conectate în sistemul de legare la pământ.

2.5 Alegerea schemei de protecție

Înteruptoarele automate au un rol major în instalație dar importanța lor apare mai ales în timpul unor evenimente accidentale, care nu sunt frecvente. Cea mai corectă dimensionare a UPS-ului și cea mai bună configurație poate fi compromisă printr-o alegere greșită doar a unui întreruptor automat.

Alegerea întreruptorului

Figura N25 arată modul cum se aleg întreruptoarele.

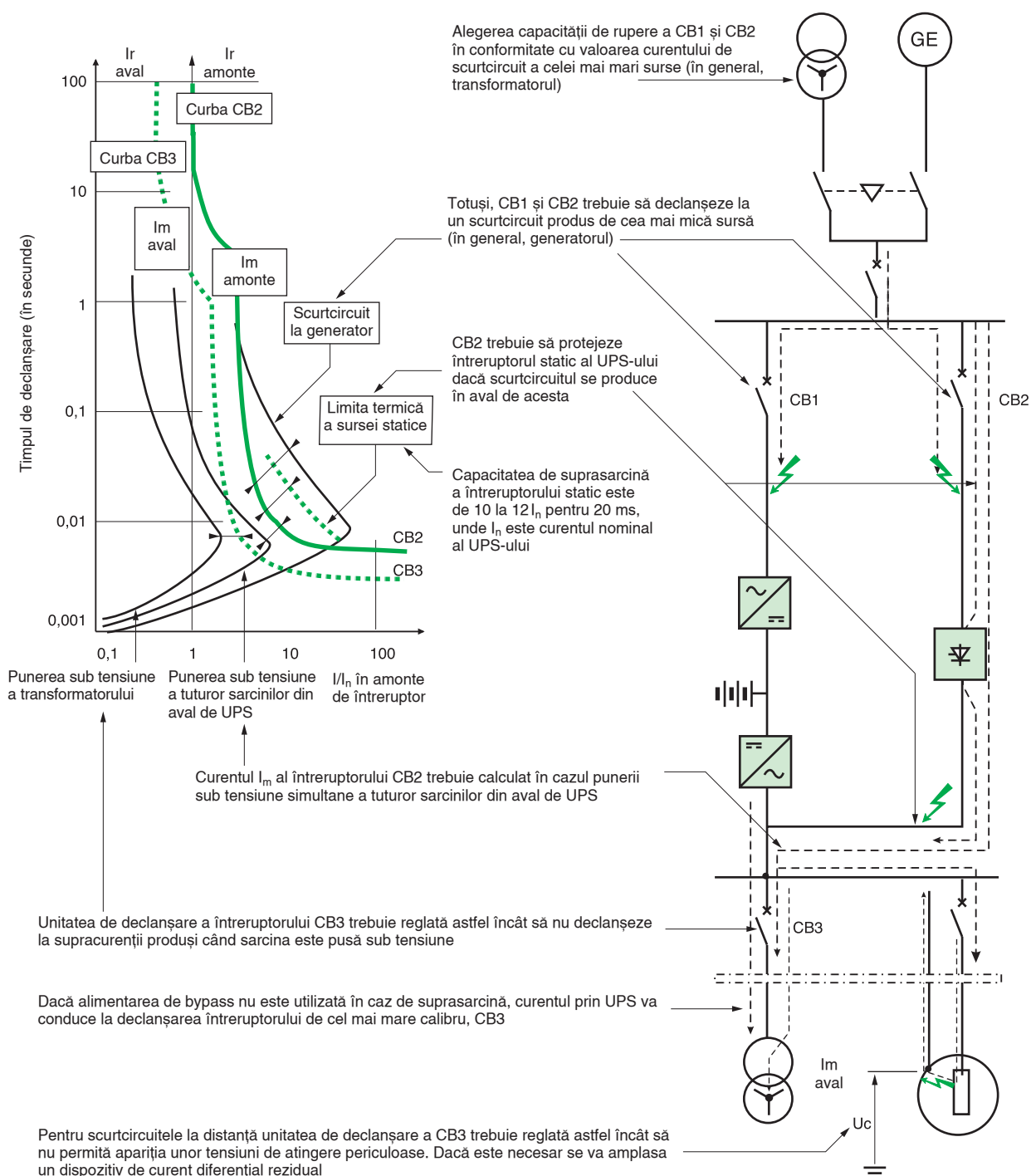


Fig. N25: Întreruptoarele sunt supuse unei varietăți de situații.

2 Surse neîntreruptibile (UPS)

Valoarea nominală

Valoarea nominală a întreruptorului automat trebuie aleasă astfel încât să corespundă valorii nominale a curentului prin cablul din aval ce trebuie protejat.

Capacitatea de rupere

Capacitatea de rupere trebuie aleasă superioară curentului de scurtcircuit cel mai mare care poate apărea în acel punct al instalației.

Pragurile I_r și I_m

Tabelul de mai jos indică modul de determinare al pragurilor de declanșare I_r (suprasarcină: termic sau de lungă durată) și, respectiv, I_m (scurtcircuit: magnetic sau de scurtă durată) pentru a se asigura selectivitatea în funcție de unitățile de declanșare ale întreruptoarelor din amonte și aval.

Remarcă (vezi Fig. N26)

- Selectivitatea temporală poate fi implementată de către personal calificat deoarece temporizările la declanșare măresc stresul termic (I^2t) din aval (al cablului, dispozitivelor electronice, etc.). Sunt necesare anumite precauții dacă întreruptorul CB2 este temporizat la declanșarea la pragul magnetic I_m .
- Selectivitatea energetică nu depinde de unitățile de declanșare ci numai de întreruptorul automat.

Tipul de circuit din aval	I_r amonte/ I_r aval	I_m amonte/ I_m aval	I_m amonte/ I_m aval
Unitatea de declanșare din aval	Toate tipurile	Magnetic	Electronic
Distribuție	> 1,6	>2	>1,5
Motoare asincrone	>3	>2	>1,5

Tab. N26: Pragurile de declanșare I_r și I_m în funcție de unitățile de declanșare din amonte și aval.

Cazul special al scurtcircuitelor la generator

Figura N27 arată reacția generatorului în caz de scurtcircuit.

Pentru a evita incertitudinile legate de tipul de excitație se va produce declanșare la primul vârf de curent ($3 I_n$ la $5 I_n$ per X''d) utilizând pragul de declanșare I_m fără nici o temporizare.

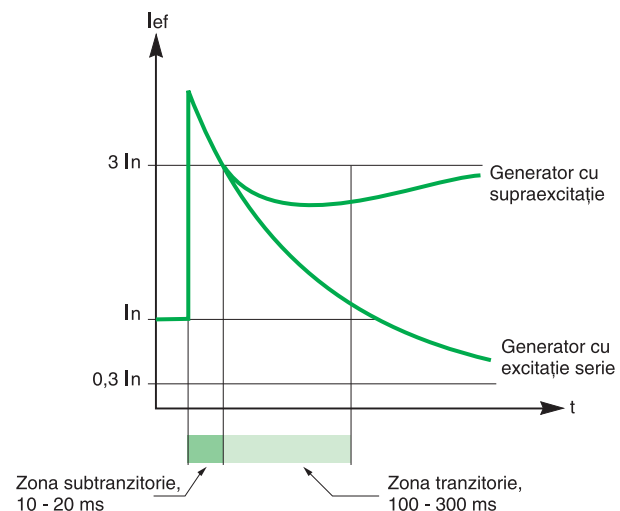


Fig. N27: Generatorul în timpul unui scurtcircuit.

2.6 Instalarea, conectarea și dimensionarea cablurilor

UPS-uri “gata de utilizare”

UPS-urile de puteri mici adecvate pentru microcomputere, de exemplu, sunt echipamente compacte, pregătite pentru a fi utilizate. Cablarea internă este realizată în fabrică și adaptată caracteristicilor dispozitivelor pe care urmează să le alimenteze.

UPS-uri în pregătire pentru utilizare

Pentru alte UPS-uri, conexiunile la sistemul de alimentare, la baterii și la sarcină nu sunt incluse. Conexiunile depind de nivelul curentului, așa cum este indicat în Fig. N28.

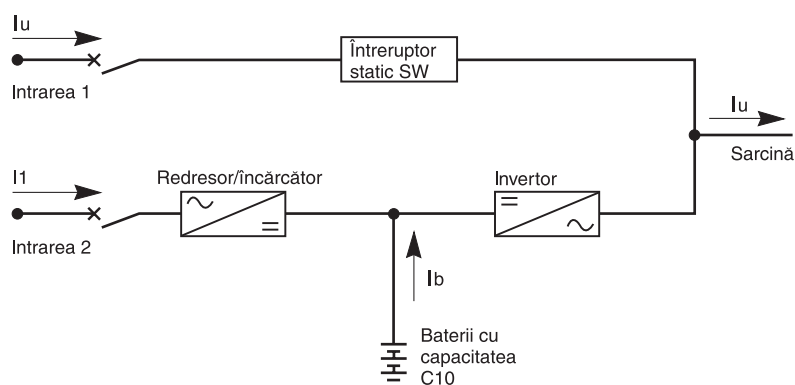


Fig.N28: Curentul de luat în considerare pentru alegerea sistemului de conexiuni.

Calculul curentilor I_1 , I_u

- Curentul de intrare I_u de la sistemul de alimentare este curentul de sarcină;
- Curentul de intrare I_1 al redresorului/încărcător depinde de:
 - capacitatea bateriilor ($C10$) și de funcționarea în modul de încărcare (I_b),
 - caracteristicile încărcătorului,
 - eficiența invertorului;
- Curentul I_b este curentul în conexiunea cu bateriile.

Acești curenți sunt dați de producător.

Creșterea de temperatură a cablului și căderea de tensiune

Secțiunea cablului depinde de:

- creșterea de temperatură admisibilă;
- căderea de tensiune admisibilă.

Pentru o sarcină dată, fiecare din acești doi parametri determină o secțiune minimă admisibilă. Se va lua în considerare cea mai mare dintre aceste două valori.

De-a lungul cablurilor lungi, pe traseele acestora, se va avea în vedere menținerea unei distanțe impuse între circuitele de comandă și de putere, pentru a se evita orice posibilă perturbație creată de curenții de înaltă frecvență.

Creșterea de temperatură

Creșterea admisibilă de temperatură în interiorul cablului este limitată de capacitatea de ținere a izolației sale.

Creșterea de temperatură în cablu depinde de:

- materialul conductorului (Cu sau Al);
- metoda de instalare;
- numărul de cabluri care se ating.

Pentru fiecare tip de cablu, standardele menționează curentul maxim admisibil.

Căderea de tensiune

Valorile maxime admisibile ale căderilor de tensiune sunt:

- 3% pentru circuitele de c.a (50 sau 60 Hz);
- 1% pentru circuitele de c.c.

2 Surse neîntreruptibile (UPS)

Tabele de selecție

Tabelul N29 prezintă căderile de tensiune, în procente, pentru un circuit în lungime de 100 m de cablu. Pentru a calcula căderea de tensiune pe un circuit de lungime L, se va multiplica valoarea din tabel cu L/100.

■ S_{ph} : secțiunea conductorului de fază;

■ I_n : curentul nominal al dispozitivului de protecție al circuitului.

Circuite trifazate

Dacă căderea de tensiune depășește 3% (50 la 60 Hz), se va crește secțiunea cablului.

Circuite de c.c.

Dacă căderea de tensiune depășește 1%, se va crește secțiunea cablului.

a - Circuite trifazate (conductoare din Cu)

50-60 Hz - 380 V / 400 V / 415 V trifazat, $\cos \varphi = 0,8$, sistem echilibrat 3F + N

I_n (A)	S_{ph} (mm ²)											
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
10	0,9											
15	1,2											
20	1,6	1,1										
25	2,0	1,3	0,9									
32	2,6	1,7	1,1									
40	3,3	2,1	1,4	1,0								
50	4,1	2,6	1,7	1,3	1,0							
63	5,1	3,3	2,2	1,6	1,2	0,9						
70	5,7	3,7	2,4	1,7	1,3	1,0	0,8					
80	6,5	4,2	2,7	2,1	1,5	1,2	0,9	0,7				
100	8,2	5,3	3,4	2,6	2,0	2,0	1,1	0,9	0,8			
125		6,6	4,3	3,2	2,4	2,4	1,4	1,1	1,0	0,8		
160			5,5	4,3	3,2	3,2	1,8	1,5	1,2	1,1	0,9	
200				5,3	3,9	3,9	2,2	1,8	1,6	1,3	1,2	0,9
250					4,9	4,9	2,8	2,3	1,9	1,7	1,4	1,2
320							3,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,5
400							4,4	3,6	3,1	2,7	2,3	1,9
500								4,5	3,9	3,4	2,9	2,4
600									4,9	4,2	3,6	3,0
800										5,3	4,4	3,8
1.000											6,5	4,7

Pentru un circuit trifazat de 230 V, se va multiplica valoarea cu $\sqrt{3}$.

Pentru un circuit monofazat 208/230 V, se va multiplica valoarea cu 2

b - Circuit de c.c. (conductoare din Cu)

I_n (A)	S_{ph} (mm ²)											
	-	-	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
100			5,1	3,6	2,6	1,9	1,3	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4
125				4,5	3,2	2,3	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5
160					4,0	2,9	2,2	1,6	1,2	1,1	0,6	0,7
200						3,6	2,7	2,2	1,6	1,3	1,0	0,8
250							3,3	2,7	2,2	1,7	1,3	1,0
320								3,4	2,7	2,1	1,6	1,3
400									3,4	2,8	2,1	1,6
500										3,4	2,6	2,1
600										4,3	3,3	2,7
800											4,2	3,4
1.000											5,3	4,2
1.250												5,3

Tab. N29: Căderea de tensiune, în procente, pentru [a] - circuite trifazate, și [b] - circuite de c.c.

Cazul special pentru conductoare de neutru

În sistemele trifazate, armonicele de ordinul 3 (și cele multiplu de trei) ale sarcinilor monofazate se însumează pe conductorul neutru (suma curenților de pe cele trei faze).

Din acest motiv, se aplică următoarea regulă:

secțiunea conductorului de neutru = 1,5 x secțiunea conductorului de fază.

Exemplu

Se consideră un circuit trifazat de 70 m lungime, 400 V, cu conductoare din Cu. și având curentul nominal de 600 A.

Standardul CEI 364 indică secțiunea minimă a cablului în funcție de metoda de instalare și de sarcină.

Vom presupune că valoarea secțiunii minime a cablului este 95 mm².

Este necesar să se verifice, mai întâi, faptul că, căderea de tensiune nu depășește 3%.

Tabelul aferent circuitelor trifazate, prezentat anterior, arată, pentru 600 A, curent care circulă într-un cablu de 300 mm², o cădere de tensiune de 3% pentru 100 m de cablu, prin urmare, pentru 70 m lungime:

$$3 \times \frac{70}{100} = 2,1\%$$

Prin urmare, este o valoare mai mică decât 3%.

Un calcul similar se poate face pentru circuitul de c.c. de 1000 A având lungimea de 10 m.

Căderea de tensiune pentru 100 m de cablu de 240 mm² este 5,3%, iar pentru 10 m:

$$5,3 \times \frac{10}{100} = 0,53\%$$

Prin urmare, mai mică decât 1%.

2.7 UPS-urile și mediul de funcționare

UPS-urile pot comunica cu echipamente electrice și cu mediile de calculatoare.

UPS-urile pot primi date și, de asemenea, furniza informații legate de funcționarea sa pentru:

- Optimizarea protecției

De exemplu, UPS-urile furnizează unui sistem de monitorizare, informații esențiale legate de funcționarea lor (sarcină pe invertor, sarcină pe bypass, sarcină pe baterie, alarme de baterie descărcată).

- Comanda de la distanță

UPS-ul furnizează mărimi măsurate și informații legate de funcționarea sa aducându-le astfel, la cunoștința personalului de exploatare, în scopul luării anumitor măsuri specifice.

- Urmărirea instalației

Personalul de exploatare are o clădire și un sistem de management al energiei care îi permite să obțină și să salveze informații de la UPS, pentru a crea alarme în scopul luării de măsuri corespunzătoare.

Această evoluție spre o compatibilitate între computer și UPS-uri are ca efect încorporarea unor noi funcții implicite în acest UPS.

2.8 Echipamente complementare**Transformatoare**

Un transformator cu două înfășurări amplasat în amonte de un contactor static permite:

- schimbarea nivelului de tensiune atunci când tensiunea rețelei este diferită de cea a sarcinii;

- schimbarea sistemului de tratare a neutrului între cele două rețele.

Mai mult, un astfel de transformator:

- reduce nivelul curentului de scurtcircuit în secundar (adică la sarcină) în comparație cu cel de la nivelul rețelei de alimentare;

- împiedică curenții de armonica 3 care pot fi prezenți în secundarul transformatorului să pătrundă în rețeaua de alimentare, cu condiția ca înfășurarea primară să fie conectată în triunghi.

Filtre antiarmonici

UPS-ul include un sistem de încărcare a bateriilor care este comandat cu tiristoare sau tranzistoare. Curenții "choppați" rezultați cuprind componente armonice care pătrund în rețeaua de alimentare.

Aceste componente nedorite sunt filtrate la intrarea în redresor și, în majoritatea cazurilor, acesta reduce nivelele de curenți armonici suficient de mult, pentru orice aplicație.

În anumite cazuri specifice și anume, în instalațiile foarte mari, poate fi necesar și un filtru suplimentar.

2 Surse neîntreruptibile (UPS)

De exemplu, atunci când:

- puterea UPS-ului este relativ mare în raport cu cea a transformatorului MT/JT care îl alimentează;
 - sarcinile care se alimentează din sistemul de bare sunt sensibile din punct de vedere al armonicilor;
 - există o sursă de standby alternativă (ex. generator Diesel sau cu turbină cu gaz).
- În astfel de cazuri, producătorul de UPS trebuie consultat.

Echipamente de comunicare

Comunicarea cu echipamentele asociate sistemelor de calculare poate duce la nevoia unor accesorii adecvate pentru UPS-uri. Astfel de accesorii pot fi încorporate în aparat (vezi **Fig. N30a**) sau pot fi adăugate ulterior, la cerere, sistemelor existente (vezi **Fig. N30b**).



Fig. N30a: Unități UPS gata de utilizare (cu modul DIN).



Fig. N30b: Unități UPS realizate pentru alimentarea sistemelor de calculatoare.

3 Protecția transformatoarelor JT/JT

Aceste transformatoare se găsesc, în general, în gama de la câteva sute de VA la câteva sute de kVA și sunt utilizate, în mod frecvent, pentru:

- schimbarea nivelurilor de tensiune în scopul:
- alimentării auxiliare a circuitelor de comandă și semnalizare,
- circuitelor de iluminat (230 V crează atunci când tensiunea primară este de 400 V, trifazat, 3 conductoare);
- schimbarea sistemului de tratare a neutrului pentru anumite sarcini ce au un curent capacitiv destul de ridicat către pământ (echipamente tip calculatoare) sau scurgeri de curent rezistive (cuptoare electrice, procese industriale de încălzire, instalații de bucătărie, etc.).

Transformatoarele JT/JT sunt, în general, livrate având sisteme de protecție încorporate, prin urmare producătorul acestora trebuie consultat pentru detalii. Protecția la supracurenți trebuie, în orice caz, asigurată la nivelul înfășurării primare. Exploatarea acestor transformatoare impune cunoașterea funcțiilor lor particulare, împreună cu un număr de aspecte descrise în continuare.

Notă: În cazul particular al transformatoarelor JT/JT de izolație la tensiune foarte joasă, între înfășurările primare și secundare este utilizat frecvent un ecran metalic conectat la priza de pământ, în funcție de anumite situații, și în conformitate cu recomandările standardului European EN 60742.

3.1 Curentul absorbit la conectarea transformatorului

În momentul punerii sub tensiune al transformatorului, apar curenți tranzitorii de valori mari (care includ și o componentă semnificativă de curent continuu) care trebuie luați în considerare la alegerea schemelor de protecție (vezi Fig. N31).

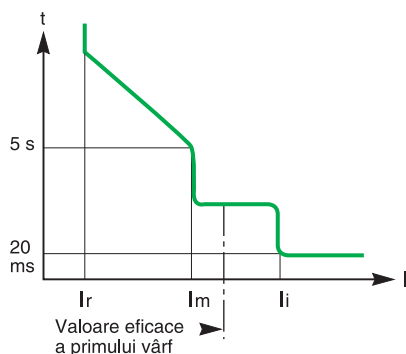


Fig. N32: Caracteristica de declanșare a unui Compact NS echipat cu declanșator electronic STR.

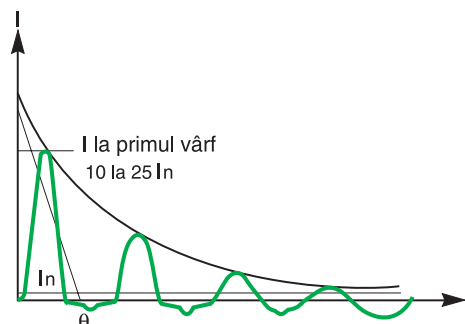


Fig. N31: Curentul inițial la punerea sub tensiune a transformatorului,

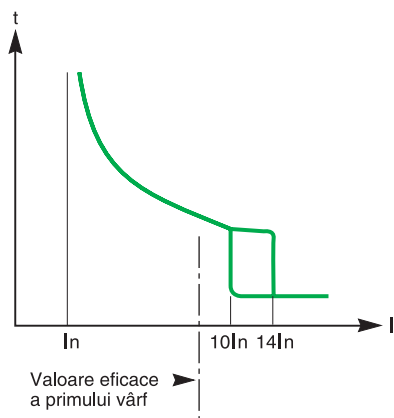


Fig. N33: Caracteristica de declanșare a unui întrerupător Multi 9, curbă D.

Valoarea curentului de vârf depinde de:

- valoarea tensiunii în momentul punerii sub tensiune;
- amplitudinea și polaritatea fluxului rezidual existent în miezul transformatorului;
- caracteristicile sarcinii transformatorului.

Valoarea curentului de vârf poate atinge de 10 la 15 ori curentul nominal (valoare eficace), dar, pentru transformatoarele mici (< 50 kVA), poate atinge valori de 20 la 25 ori curentul nominal de sarcină. Acest curent tranzitoriu descrește rapid cu o constantă de timp θ având ordinul de mărime de la câteva ms la câteva zeci de ms.

3.2 Protecția circuitelor de alimentare a transformatoarelor JT/JT

Dispozitivele de protecție de pe circuitele care alimentează transformatoarele JT/JT trebuie să evite posibilitatea unei funcționări incorecte datorită curenților inițiali la punerea sub tensiune menționată mai sus. De aceea, este necesar să se utilizeze:

- întreruptoare selective (ușor temporizate) de tip Compact NS, STR (vezi Fig. N32) sau
- întreruptoare având praguri magnetice reglate la valori foarte mari, de tip Compact NS sau Multi 9, curbă D (vezi Fig. N33).

3 Protecția transformatoarelor JT/JT

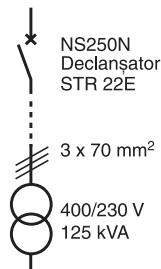


Fig. N34: Exemplu.

Exemplu

Un circuit trifazat la 400 V alimentează un transformator de 125 kVA, 400/230 V ($I_n = 180$ A) pentru care curentul inițial de vârf la punerea sub tensiune atinge $12 I_n$, adică $12 \times 180 = 2160$ A. Acest vârf de curent are o valoare eficace corespunzătoare de 1530 A. Un întreruptor Compact NS250N cu reglajul I_r la 200 A și cu reglaj $I_m = 8 \times I_r$ poate fi o protecție adecvată.

Caz particular: Protecția la suprasarcină instalată pe circuitul înfășurării secundare a transformatorului (vezi Fig. N34)

Avantajul instalării protecției la suprasarcină pe circuitul înfășurării secundare a transformatorului este acela că protecția la scurtcircuit în primar poate fi reglată la valori mari sau, ca alternativă, poate fi utilizat un întreruptor automat cu declanșator tip MA (numai magnetic). Totuși, reglajul protecției la scurtcircuit din primarul transformatorului trebuie să fie suficient de sensibil pentru a asigura funcționarea întreruptorului în eventualitatea unui scurtcircuit care se poate produce în secundarul său.

Notă: Protecția din primar este deseori asigurată cu fuzibile tip aM. Această practică are două dezavantaje:

- fuzibilele pot fi ușor supradimensionate (cel puțin de 4 ori curentul nominal al transformatorului);
- pentru a se asigura izolarea înfășurării primare, trebuie asociat cu fuzibilele fie un separator de sarcină, fie un contactor.

3.3 Caracteristici electrice tipice ale transformatoarelor JT/JT, 50 Hz

Trifazate																							
Puteri nom. (kVA)	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Pierderi în gol (W)	100	110	130	150	160	170	270	310	350	350	410	460	520	570	680	680	790	950	1160	1240	1485	1855	2160
Pierderi în Cu (W)	250	320	390	500	600	840	800	1180	1240	1530	1650	2150	2540	3700	3700	5900	5900	6500	7400	9300	9400	11400	13400
Tensiune de scurtc. (%)	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5	5	4,5	5	5	5,5	4,5	5,5	5	5	4,5	6	6	5,5	5,5

Monofazate														
Puteri nom. (kVA)	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Pierderi în gol (W)	105	115	120	140	150	175	200	215	265	305	450	450	525	635
Pierderi în Cu, (W)	400	530	635	730	865	1065	1200	1400	1900	2000	2450	3950	3950	4335
Tens. de scurtcircuit (%)	5	5	5	4,5	4,5	4,5	4	4	5	5	4,5	5,5	5	5

3.4 Protecția transformatoarelor JT/JT utilizând întreruptoare automate Merlin Gerin

Întreruptoare automate Multi 9

Puterea nominală (kVA)			Întreruptor automat curbă D sau K	Calibru (A)
Monofazat 230/240 V	Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V	Trifazat 400/415 V		
0,05	0,09	0,16	C60, NG125	0,5
0,11	0,18	0,32	C60, NG125	1
0,21	0,36	0,63	C60, NG125	2
0,33	0,58	1,0	C60, NG125	3
0,67	1,2	2,0	C60, NG125	6
1,1	1,8	3,2	C60, C120, NG125	10
1,7	2,9	5,0	C60, C120, NG125	16
2,1	3,6	6,3	C60, C120, NG125	20
2,7	4,6	8,0	C60, C120, NG125	25
3,3	5,8	10	C60, C120, NG125	32
4,2	7,2	13	C60, C120, NG125	40
5,3	9,2	16	C60, C120, NC100, NG125	50
6,7	12	20	C60, C120, NC100, NG125	63
8,3	14	25	C120, NC100, NG125	80
11	18	32	C120, NC100, NG125	100
13	23	40	C120, NG125	125

3 Protecția transformatoarelor JT/JT

Întreruptoare automate Compact NS100 ... NS250 echipate cu declanșatoare TM-D

Puterea nominală (kVA)			Întreruptor automat	Calibru (A)
Monofazat 230/240 V	Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V	Trifazat 400/415 V		
3	5...6	9...12	NS100N/H/L	TM16D
5	8...9	14...16	NS100N/H/L	TM05D
7...9	13...16	22...28	NS100N/H/L	TM40D
12...15	20...25	35...44	NS100N/H/L	TM63D
16...19	26...32	45...56	NS100N/H/L	TM80D
18...23	32...40	55...69	NS160N/H/L	TM100D
23...29	40...50	69...87	NS160N/H/L	TM125D
29...37	51...64	89...111	NS250N/H/L	TM160D
37...46	64...80	111...139	NS250N/H/L	TM200D

Întreruptoare automate Compact N100 ... NS1600 și Masterpact echipate cu declanșatoare STR sau Micrologic

Puterea nominală a transformatorului (kVA)			Întreruptor automat	Descărcător	Reglaj I _r max
Monofazat 230/240 V	Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V	Trifazat 400/415 V			
4...7	6...13	11...22	NS100N/H/L	STR22SE 40	0,8
9...19	16...30	27...56	NS100N/H/L	STR22SE 100	0,8
15...30	5...50	44...90	NS160N/H/L	STR22SE 160	0,8
23...46	40...80	70...139	NS250N/H/L	STR22SE 250	0,8
37...65	64...112	111...195	NS400N/H	STR23SE / 53UE 400	0,7
37...55	64...95	111...166	NS400L	STR23SE / 53UE 400	0,6
58...83	100...144	175...250	NS630N/H/L	STR23SE / 53UE 630	0,6
58...150	100...250	175...436	NS800N/H - NT08H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
74...184	107...319	222...554	NS800N/H - NT08H1 - NW08N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
90...230	159...398	277...693	NS1000N/H - NT10H1 - NW10N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
115...288	200...498	346...866	NS1250N/H - NT12H1 - NW12N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
147...368	256...640	443...1108	NS1600N/H - NT16H1 - NW16N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
184...460	320...800	554...1385	NW20N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
230...575	400...1000	690...1730	NW25N2/H3	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
294...736	510...1280	886...2217	NW32N2/H3	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1

4 Circuite de iluminat

Sursă de confort și productivitate, iluminatul reprezintă cca. 15% din cantitatea de energie consumată în industrie și 40% în clădiri. Calitatea iluminatului (stabilitatea și continuitatea serviciului) depinde de calitatea energiei electrice absorbite. Alimentarea cu energie electrică a rețelilor de iluminat are, prin urmare mare importanță.

Pentru a ajuta proiectarea rețelei de alimentare și pentru a simplifica alegerea dispozitivului de protecție este prezentată o analiză a diferitelor tehnologii de realizare a lămpilor. Sunt prezentate de asemenea caracteristici distincte ale circuitelor de iluminat și impactul lor asupra dispozitivelor de comandă și protecție.

4.1 Diferite tehnologii de realizare a lămpilor

Radiația luminoasă artificială poate fi produsă din energie electrică în conformitate cu două principii: incandescență și electroluminiscență.

Incandescența reprezintă producerea luminii cu ajutorul creșterii de temperatură. Cel mai uzual exemplu este un filament încălzit prin circulația unui curent electric până la starea de alb. Energia furnizată este transformată în efect Joule și în flux luminos.

Luminiscența este fenomenul de emisie de către un material a unei radiații luminoase vizibile sau aproape vizibile. Un gaz (sau vapori) supus unei descărcări electrice emite radiație luminoasă (electroluminiscența gazelor).

Întrucât acest gaz nu conduce la temperatură și presiune normale, descărcarea este produsă prin generarea unor particule încărcate electric care produc ionizarea gazului. Natura, presiunea și temperatura gazului determină spectrul luminii.

Fotoluminiscența este luminiscența unui material expus unei radiații luminoase sau aproape luminoase (ultraviolet, infraroșu).

Când substanța absoarbe radiația ultravioletă și emite radiație vizibilă care în scurt timp după energizare dispare, se vorbește despre fluorescență.

Lămpile cu incandescență

Lămpile cu incandescență sunt din punct de vedere istoric, cele mai vechi și cele mai des întâlnite.

Ele se bazează pe principiul filamentului incandescent într-un mediu atmosferic neutru sau vid care împiedică combustia.

Se face o distincție între:

■ balon standard

Acesta conține un filament de tungsten și este umplut cu un gaz inert (nitrogen și argon sau krypton);

■ balon cu halogen

Acesta conține de asemenea un filament de tungsten dar este umplut cu un amestec de halogen și gaz inert (krypton sau xenon). Acest amestec de halogen este responsabil de fenomenul regenerării filamentului ceea ce mărește durata de viață a lămpilor și evită înnegrirea. Aceasta permite de asemenea o temperatură ridicată a filamentului și prin urmare o luminozitate crescută în baloane de halogen mici.

Principalul dezavantaj al lămpilor cu incandescență este dispariția unei cantități de căldură semnificativă ceea ce determină o eficiență luminoasă scăzută.

Lămpile fluorescente

Această familie cuprinde tuburile fluorescente și lămpile fluorescent compacte.

Tehnologia lor este cunoscută în mod uzual ca "mercur de joasă presiune".

În tuburile fluorescente o descărcare electrică determină ca electronii să se ciocnească cu ionii vaporilor de mercur rezultând radiații ultraviolete datorită energizării atomilor de mercur. Materialul fluorescent care acoperă interiorul tubului transformă această radiație în radiație vizibilă.

Tuburile fluorescente disipă mai puțină căldură și au o durată mai mare de viață decât lămpile cu incandescență, dar ele necesită un dispozitiv de amorsare denumit "starter" și un dispozitiv pentru limitarea curentului din arc după amorsare. Acest dispozitiv denumit "balast" este în mod uzual o bobină amplasată în serie cu arcul. Lămpile fluorescente compacte se bazează pe același principiu ca și tuburile fluorescente. Funcțiile starterului și balastului sunt îndeplinite de un circuit electronic (integrat în lampă) ceea ce permite utilizarea unor tuburi de dimensiuni mici. Lămpile fluorescent compacte (vezi Fig. N35) au fost dezvoltate pentru a înlocui lămpile fluorescente. Ele permit o economie semnificativă de energie (15 W în loc de 75 W) pentru același nivel de iluminare și au o durată de viață crescută.

Lămpile cunoscute ca de tip "cu inducție" sau "fără electrozi" funcționează pe principiul ionizării gazului existent în tub datorită unui câmp electromagnetic de foarte mare frecvență (până la 1 GHz). Durata lor de viață poate fi de cca. 100000 de ore.

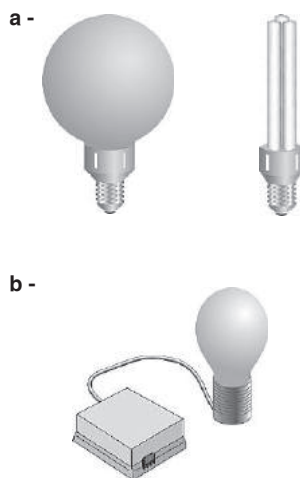


Fig. N35: Lămpi fluorescente compacte [a] standard și [b] cu inducție.



Fig. N36: Lămpile cu descărcări.

Lămpile cu descărcări (vezi Fig. N36)

Lumina este produsă de o descărcare electrică dintre doi electrozi în interiorul gazului într-un balon de cuarț. Prin urmare toate aceste lămpi necesită un balast pentru a limita curentul arcului. Mai multe tehnologii au fost dezvoltate pentru diferite aplicații.

Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune se caracterizează prin cea mai mare emisie de lumină. Totuși factorul de redare a culorilor este foarte slab deoarece au radiație monocromatică oranj.

Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu la înaltă presiune produc o lumină albă cu ușoară nuanță de oranj.

În cazul lămpilor cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune descărcarea se produce într-un balon ceramic sau de cuarț la presiune înaltă. Aceste lămpi se numesc lămpi fluorescente cu descărcare în mercur. Ele produc o lumină caracteristică alb-albăstruie.

Lămpile cu halogenuri metalice sunt ultima tehnologie. Ele produc lumină cu un spectru larg de culori. Utilizarea tuburilor ceramice oferă o eficiență luminoasă sporită și o mai bună stabilitate a culorilor.

Diode emițătoare de lumină (LED)

Principiul acestor LED-uri este emisia de lumină de către un element semiconductor parcurs de un curent electric. Ele sunt uzual utilizate în numeroase aplicații, dar dezvoltările recente de diode albe sau albastre având un flux luminos sporit, deschid noi perspective, în special în cea ce privește semnalizările (semafoare, iluminatul de urgență sau al indicatoarelor de EXIT). LED-urile sunt dispozitive ce necesită un curent mic și tensiune joasă și, prin urmare, se pretează alimentării de la baterii. În situația alimentării de la rețea se impune utilizarea unui convertor.

Avantajul LED-urilor este consumul lor energetic scăzut. Ca urmare ele funcționează la temperatură foarte scăzută și în consecință au o durată de viață foarte mare.

Ca simplă observație, o diodă emite o lumină de intensitate redusă. O instalație de iluminat de mare putere necesită, prin urmare, conectarea unui număr mare de astfel de unități în serie și paralel.

Tehnologie	Aplicații	Avantaje	Dezavantaje
Incandescent standard	<ul style="list-style-type: none"> Utilizări casnice Iluminat local decorativ 	<ul style="list-style-type: none"> Conectare directă fără utilizarea unui alt dispozitiv Preț de achiziție acceptabil Dimensiune compactă Iluminare instantanee Redare bună a culorilor 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență energetică scăzută și consum energetic ridicat Cantitate semnificativă de căldură disipată Durată de viață mică
Incandescent halogen	<ul style="list-style-type: none"> Iluminat tip spot Iluminat intens 	<ul style="list-style-type: none"> Conectare directă Eficacitate instantanee Redare excelentă a culorilor 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență luminoasă medie
Tub fluorescent	<ul style="list-style-type: none"> Magazine, birouri, ateliere Iluminat exterior 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență luminoasă ridicată Redare moderată a culorilor 	<ul style="list-style-type: none"> Intensitate luminoasă scăzută a unei singure unități Sensibilitate la temp. extreme
Lampă fluorescentă compactă	<ul style="list-style-type: none"> Utilizări casnice Birouri Înlocuiri de lămpi incandescente 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență luminoasă bună Redare bună a culorilor 	<ul style="list-style-type: none"> Investiție inițială ridicată în comparație cu lămpile incandescente
Vapori de mercur la înaltă presiune	<ul style="list-style-type: none"> Ateliere, hale, hangare Fabrici 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență luminoasă ridicată Redare acceptabilă a culorilor Dimensiuni compacte Durată de viață lungă 	<ul style="list-style-type: none"> Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute
Sodiu la înaltă presiune	<ul style="list-style-type: none"> Iluminat exterior Hale largi 	<ul style="list-style-type: none"> Foarte bună eficiență luminoasă 	<ul style="list-style-type: none"> Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute
Sodiu la joasă presiune	<ul style="list-style-type: none"> Iluminat exterior Iluminat de securitate 	<ul style="list-style-type: none"> Vizibilit. bună pe timp de ceață Economic de utilizat 	<ul style="list-style-type: none"> Durată de aprindere lungă (5 min) Redare mediocră a culorilor
Halogenuri metalice	<ul style="list-style-type: none"> Zone întinse Hale cu plafoane înalte 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiență luminoasă bună Redare bună a culorilor Durată de viață lungă 	<ul style="list-style-type: none"> Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute
LED	<ul style="list-style-type: none"> Semnalizare (semafor cu 3 culori, semne EXIT și lumina de siguranță) 	<ul style="list-style-type: none"> Insensibile la un număr mare de comutări Consum energetic scăzut Temperatură scăzută 	<ul style="list-style-type: none"> Număr limitat de culori Intensitate luminoasă scăzută a unei singure unități

Tehnologie	Putere (W)	Eficiență (Lm/W)	Durată de viață (ore)
Incandescent standard	3 - 1.000	10 - 15	1.000 - 2.000
Incandescent halogen	5 - 500	15 - 25	2.000 - 4.000
Tub fluorescent	4 - 56	50 - 100	7.500 - 24.000
Lampă fluorescentă compactă	5 - 40	50 - 80	10.000 - 20.000
Vapori de mercur la înaltă pres.	40 - 1.000	25 - 55	16.000 - 24.000
Vapori de sodiu la înaltă pres.	35 - 1.000	40 - 140	16.000 - 24.000
Vapori de sodiu la joasă pres.	35 - 180	100 - 185	14.000 - 18.000
Halogenuri metalice	30 - 2.000	50 - 115	6.000 - 20.000
LED	0,05 - 0,1	10 - 30	40.000 - 100.000

Tab. N37: Utilizarea și caracteristicile tehnice ale surselor de lumină.

4.2 Caracteristicile electrice ale lămpilor

Lămpi cu incandescență cu alimentare directă

Datorită temperaturii foarte înalte a filamentului în timpul funcționării (până la 2500°C), rezistența sa variază foarte mult între situația în care lampa este stinsă și situația în care lampa este aprinsă. Întrucât rezistența sa la rece este mică, la amorsare apare un vârf de curent care poate atinge de 10 - 15 ori curentul nominal, pentru mai multe ms.

Acest lucru este valabil atât pentru lămpile obișnuite cât și pentru lămpile cu halogen și impune o reducere a numărului de lămpi care pot fi acționate de către dispozitivele de comandă, cum ar fi: întreruptoare, contactoare modulare sau relee pentru bare capsulate.

Lămpi cu halogen de foarte joasă tensiune (FJT)

■ Anumite lămpi cu halogen de puteri mici sunt alimentate cu tensiuni foarte joase de 12 sau 24 V, via un transformator sau un convertizor electronic. În cazul alimentării prin transformator, fenomenul de magnetizare se combină, la amorsare, cu cel de variație al rezistenței filamentului. Curentul de amorsare poate atinge de 50 - 75 ori curentul nominal, pentru câteva ms. Utilizarea unui variator de iluminat (dimmer) amplasat în amonte, poate reduce în mod semnificativ acest curent.

■ Pentru aceeași putere, convertizoarele electronice sunt mult mai scumpe decât soluția cu transformator. Acest handicap comercial este compensat prin avantaje legate de ușurința sporită de instalare, deoarece căldura disipată este redusă, ele pot fi amplasate chiar și pe un suport inflamabil. Mai mult, ele au încorporată și protecția termică.

Noile lămpi cu halogen de foarte joasă tensiune sunt acum disponibile cu transformator integrat în soclul lor. Ele pot fi alimentate direct și pot înlocui lămpile uzuale, fără nici o adaptare specială.

Variația iluminării în cazul lămpilor cu incandescență

În cazul lămpilor cu incandescență, variația iluminării poate fi obținută prin variația tensiunii aplicate lămpii.

Variația tensiunii se realizează, în mod uzual de către dispozitive precum întreruptor cu Triac, prin variația unghiului de aprindere de-a lungul perioadei tensiunii. Forma de undă a tensiunii aplicate lămpii este indicată în **Fig. N38a**. Această tehnică, cunoscută sub numele de "cut-on control" este adecvată pentru alimentarea sarcinilor rezistive sau inductive. Altă tehnică adecvată pentru alimentarea circuitelor capacitive a fost dezvoltată cu componente electronice MOS și IGBT. Această tehnică variază tensiunea prin întreruperea curentului înainte de sfârșitul semiperioadei (vezi **Fig. N38b**) și este cunoscută sub numele de "cut-off control".

Aprinderea în mod treptat a unei lămpi reduce, de asemenea sau chiar elimină, vârful de curent de la amorsare. Întrucât curentul prin lampă este distorsionat de către aprinderea electronică, se produc armonici de curent. Armonica de ordinul 3 este predominantă, iar procentajul armonicii de ordinul 3 în raport cu valoarea maximă a fundamentalei de curent (la puterea maximă) este reprezentat în **Fig. N39**.

De notat faptul că, în practică, puterea aplicată lămpii cu ajutorul dimmer-ului poate varia între 15 - 85% din puterea maximă a lămpii.

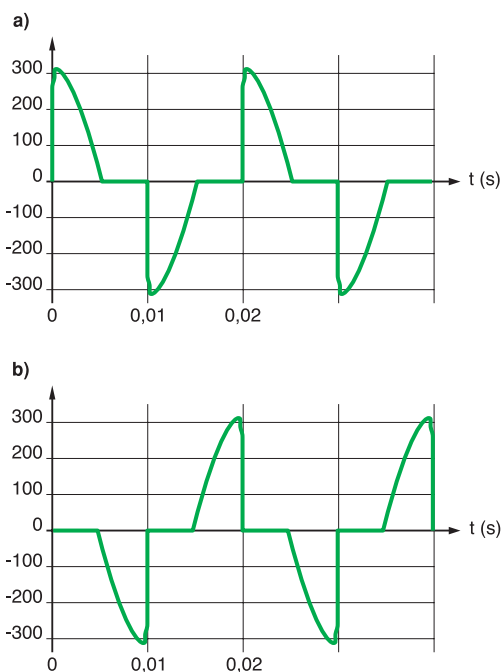


Fig. N38: Formă de undă de tensiune de alimentare printr-un dimmer, la 50% din tensiunea maximă, cu următoarele tehnici: **[a]:** cut-on control **[b]:** cut-off control.

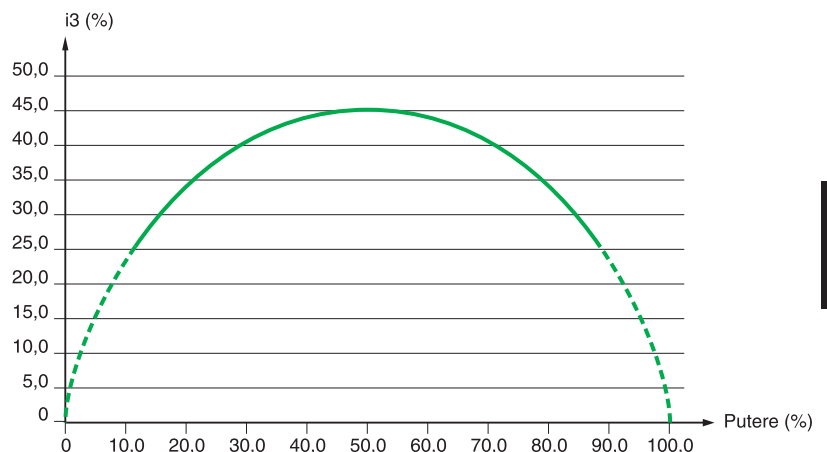


Fig. N39: Procentajul armonicii de ordinul trei de curent în funcție de puterea aplicată unei lămpi cu incandescență utilizând un dimmer electronic.

În conformitate cu standardul CEI 61000-3-2 care stabilește limitele emisiilor de armonici pentru sistemele electrice și electronice având curentul $\leq 16\text{ A}$, se aplică următoarele:

- pentru dimmerele independente pentru lămpi cu incandescență având puteri nominale mai mici sau egale cu 1 kW nu se stabilesc limite;
- pentru alte puteri sau pentru echipament de iluminat incandescent cu dimmere încorporate sau amplasate într-o carcasă, valoarea maxim admisibilă pentru armonica 3 de curent este egală cu 2,30 A.

Lămpi fluorescente cu balast magnetic

Tuburile fluorescente și lămpile cu descărcări au nevoie ca intensitatea arcului electric să fie limitată, iar această funcție este îndeplinită de către o bobină (sau balast magnetic), amplasată în serie cu lampa (vezi Fig. N40). Acest aranjament este cel mai des întâlnit în aplicațiile casnice cu un număr limitat de tuburi. Întrerupătorului care comandă aprinderea/stingererea acestor tuburi nu i se impune nici o condiție. Variatoarele de iluminat tip dimmer nu sunt compatibile cu balasturile magnetice: anularea tensiunii pentru o fracțiune de perioadă întrerupe descărcarea și duce la stingerea lămpii. Starterul îndeplinește două funcții: preîncălzește tubul fluorescent iar apoi, generează o supratensiune pentru a amorsa tubul. Această supratensiune este generată prin deschiderea unui contact (comandat de un întrerupător termic) care întrerupe circulația curentului prin balastul magnetic. În timpul funcționării starterului (aprox. 1 s) curentul care circulă prin corpul de iluminat este de aproximativ 2 ori curentul nominal. Întrucât curentul prin tub și balast este în mod esențial inductiv, factorul de putere este foarte scăzut (în medie între 0,4 și 0,5). În instalațiile alcătuite dintr-un număr mare de tuburi, este necesar să se asigure compensarea, pentru îmbunătățirea factorului de putere. Pentru instalațiile de iluminat mari, compensarea centralizată cu baterii de condensatoare este o soluție posibilă, dar cel mai adesea această compensare este inclusă la nivelul fiecărui corp de iluminat, în diferite moduri (vezi Fig. N41).

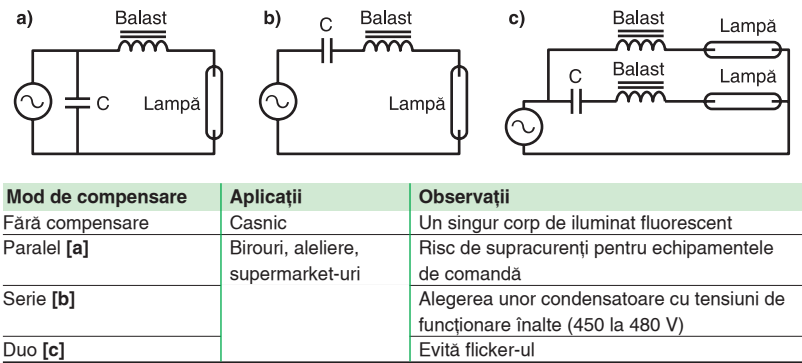


Fig. N41: Diferite moduri de compensare: [a] paralel, [b] serie; [c] dual serie, numită “duo”, și domeniile lor de utilizare.

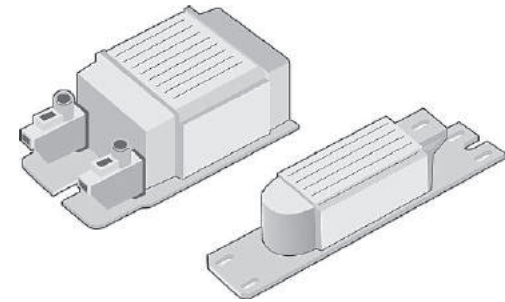


Fig. N40: Balast magnetic.

Condensatoarele sunt dimensionate astfel încât factorul de putere global să fie mai mare de 0,85. În cele mai uzuale cazuri de compensare paralel, capacitățile lor sunt în jur de 1 μF pentru 10 W putere activă, pentru orice tip de lampă. Totuși, această compensare este incompatibilă cu întrerupătoarele cu variatoare de lumină.

Limitări care afectează compensarea

Disponerea în cazul compensării paralel creează anumite limitări amorsării lămpii. Întrucât condensatoarele sunt, inițial, descărcate, conectarea lor produce supracurent. De asemenea, apare o supratensiune datorită oscilațiilor în circuit, create de capacitate și inductanța rețelei. Următorul exemplu poate fi utilizat pentru a determina ordinele de mărime ale amplitudinii.

4 Circuite de iluminat

Presupunem un ansamblu de 50 de tuburi fluorescente de 36 W fiecare, având:

- puterea activă totală: 1800 W;
- puterea aparentă: 2 kVA;
- valoarea eficace a curentului: 9 A;
- vârful de curent: 13 A.

cu:

- capacitatea totală: $C = 175 \mu\text{F}$;
- inductanțe de linie (corespunzătoare unui curent de scurtcircuit de 5 kA): $l = 150 \mu\text{H}$.

Curentul maxim de vârf la conectare este egal cu:

$$I_c = V_{\max} \sqrt{\frac{C}{L}} = 230 \sqrt{2} \sqrt{\frac{175 \times 10^{-6}}{150 \times 10^{-6}}} = 350 \text{ A}$$

Curentul maxim de vârf la conectare poate atinge în acest caz de 27 de ori curentul de vârf în timpul funcționării normale.

Formele de undă de tensiune și de curent la amorsare sunt date în **Fig. N42** pentru întreruptorul care se închide în momentul în care tensiunea are valoarea maximă de vârf.

Există totuși un risc de sudare a contactelor electromecanice ale dispozitivului de comandă (întreruptor de la distanță, contactor, întreruptor) sau de distrugere în cazul întreruptoarelor statice.

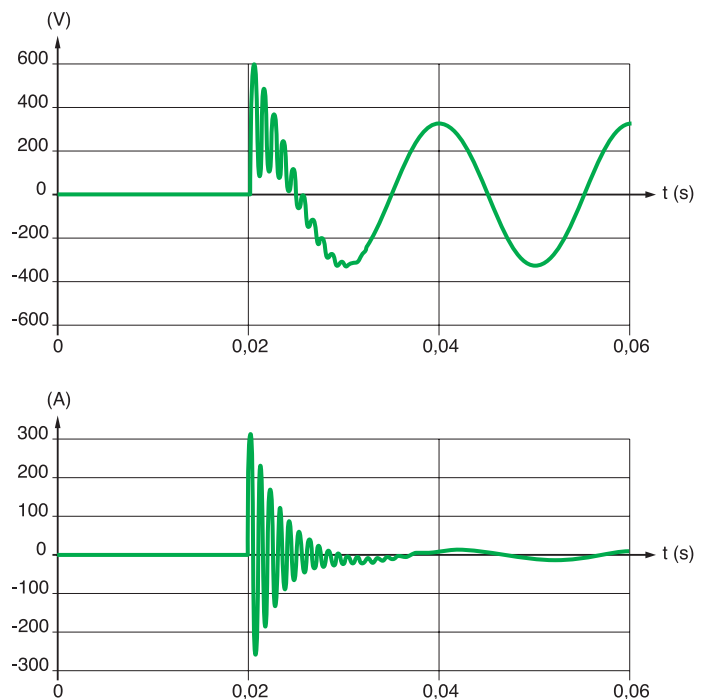


Fig. N42: Tensiunea și curenții la amorsare.

În realitate, limitările sunt mult mai puțin severe datorită impedanței cablurilor. Amorsarea grupurilor de tuburi fluorescente are o singură limitare specifică. Când un grup de tuburi fluorescente este conectat, condensatoarele din aceste tuburi, care sunt deja energizate, contribuie la valoarea curentului de amorsare în momentul conectării celui de-al doilea grup de tuburi: ele amplifică curentul de vârf din dispozitivul de comandă în momentul conectării celui de-al doilea grup.

Tabelul N43, rezultat din măsurători, specifică amplitudinea primului vârf de curent, pentru diferite valori prezumate de curent de scurtcircuit, I_{sc} . Se observă faptul că, curentul de vârf poate fi de 2 - 3 ori mai mare, în funcție de numărul de tuburi deja în funcțiune la momentul conectării unui alt grup de tuburi.

Număr de tuburi deja în funcțiune	Număr de tuburi conectate	Curentul de vârf la amorsare (A)		
		$I_{sc} = 1.500\text{ A}$	$I_{sc} = 3.000\text{ A}$	$I_{sc} = 6.000\text{ A}$
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Tab. N43: Amplitudinea curentului de vârf în întreruptoarele de comandă în momentul conectării unui al doilea grup de tuburi.

Oricum, conectarea secvențială a fiecărui grup de tuburi este recomandată, pentru a se reduce curentul de vârf în întreruptorul principal. Cele mai recente balasturi magnetice sunt cunoscute sub denumirea de “pierderi reduse” (low-loss). Circuitul magnetic a fost optimizat, dar principiul de funcționare rămâne același. Noua generație de balasturi devine din ce în ce mai utilizată sub influența noilor reglementări (Directive Europene, Energy Policy Act - USA). În aceste condiții, utilizarea balasturilor electronice este tot mai întâlnită în detrimentul balasturilor magnetice.

Lămpile fluorescente cu balasturi electronice

Balasturile electronice înlocuiesc balasturile magnetice în alimentarea tuburilor fluorescente (inclusiv a lămpilor fluorescente compacte) și a lămpilor cu descărcări. Ele îndeplinesc, de asemenea, funcția de “starter” și nu au nevoie de condensator pentru compensare. Principiul balastului electronic (vezi **Fig. N44**) constă în alimentarea arcului lămpii printr-un dispozitiv electronic care generează o formă de undă de tensiune alternativă rectangulară cu o frecvență între 20 - 60 kHz. Alimentând arcul lămpii cu tensiune de înaltă frecvență se poate elimina total flicker-ul și efectele stroboscopice. Balastul electronic este complet silențios. În timpul perioadei de preîncălzire a lămpii cu descărcări, acest balast alimentează lampa cu tensiune în creștere, la un curent, practic constant. În condiții normale, acesta reglează tensiunea aplicată lămpii independent de orice fluctuație de tensiune care există pe linia de alimentare. Întrucât arcul este alimentat în condiții optime de tensiune, aceasta conduce la economii de energie cuprinse între 5 - 10% și la o creștere importantă a duratei de viață a lămpii. Mai mult, randamentul balastului electronic poate depăși 93%, în timp ce randamentul balastului magnetic este de doar 85%. Factorul de putere este ridicat ($> 0,9$). Balastul electronic este, de asemenea, utilizat pentru a îndeplini funcția de dimmer. De fapt, prin variația frecvenței, variază amplitudinea curentului arcului și, deci, intensitatea fluxului luminos.

Curentul de amorsare

Problema principală pe care o creează balastul electronic asupra liniei de alimentare este cea a curentului mare de amorsare pe întreruptorul de conectare, conectat la sarcina inițială. (vezi **Tab. N45**).

Tehnologia	Curentul max. la amorsare	Durată
Redresor cu corecția factorului de putere	30 la $100 I_n$	$\leq 1\text{ ms}$
Redresor cu bobina	10 la $30 I_n$	$\leq 5\text{ ms}$
Balast magnetic	$\leq 13 I_n$	5 la 10 ms

Tab. N45: Amplitudinea curenților de amorsare în funcție de tehnologia utilizată.

N32

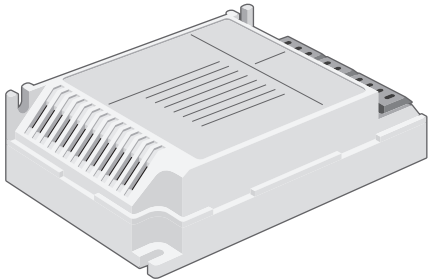


Fig. N44: Balast electronic.

4 Circuite de iluminat

În realitate, datorită impedențelor conductoarelor, curenții de amorsare pentru un ansamblu de lămpi sunt mult mai mici decât aceste valori, de cca. 5 - 10 I_n pentru mai puțin de 5 ms. Spre deosebire de cazul balasturilor magnetice, acest curent de amorsare nu este însoțit de nici o supratensiune.

Curenții armonici

În cazul balasturilor asociate lămpilor cu descărcare, de puteri mari, curentul absorbit din rețeaua de alimentare are un factor de distorsiune armonică totală scăzut (< 20 în general și < 10% pentru dispozitivele mai sofisticate). Din contră, balasturile asociate lămpilor de mică putere, în particular, lămpilor fluorescente compacte, produc în rețea un curent foarte distorsionat (vezi **Fig. N46**). Coeficientul total de distorsiune armonică poate atinge 150%. În aceste condiții, valoarea eficace a curentului absorbit din rețeaua de alimentare ajunge la 1,8 ori curentul corespunzător unei lămpi de putere activă, ceea ce corespunde unui factor de putere de 0,55.

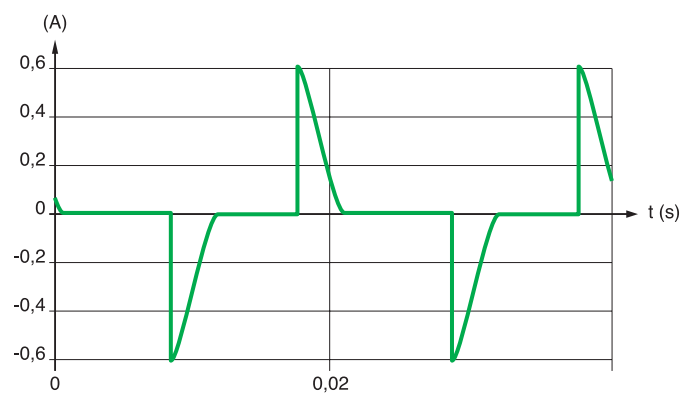


Fig. N46 :Forma de curent absorbită de o lampă fluorescentă compactă.

Pentru a echilibra sarcinile între faze circuitele de iluminat sunt, de obicei, conectate între faze și neutru, în mod echilibrat. În aceste condiții, nivelul ridicat al armonicii 3 și al celor multiplu de 3 determină o suprasarcină pe conductorul neutru. Cazul cel mai defavorabil conduce la un curent pe conductorul neutru care poate atinge $\sqrt{3}$ ori curentul de pe fază.

Limitele distorsiunilor armonice pentru sistemele electrice și electronice sunt specificate în standardul CEI 61000-3-2. Pentru simplificare, mai jos, sunt prezentate pentru echipamentele de iluminat, limitele armonicile de ordin 3 și 5 care sunt, de altfel, cele mai relevante (vezi **Tab. N47**).

Ordinul armonicii	Putere activă > 25 W	Putere activă ≤ 25 W Se aplică una din următoarele limite:	
	% din valoarea fundamentalei de curent	% din valoarea fundamentalei de curent	Curentul armonicii relativ la puterea activă
3	30	86	3,4 mA/W
5	10	61	1,9 mA/W

Tab. N47: Curentul armonic maxim admisibil.

Balasturile electronice au, în general, condensatoare amplasate între conductoarele sursei de alimentare și pământ. Aceste condensatoare sunt responsabile de circulația unui curent permanent de scurgere de ordinul a 0,5 - 1 mA/balast. De aici rezultă limitarea numărului maxim de balasturi care pot fi protejate printr-un dispozitiv de curent diferențial rezidual.

La punerea sub tensiune, sarcina inițială a acestor condensatoare poate, de asemenea, cauza circulația unui curent de vârf a cărui amplitudine poate atinge câțiva amperi pentru cca. 10 μs. Acest vârf de curent poate determina declanșări intempestive a unor dispozitive de protecție neadecvate.

Emisii de înaltă frecvență

Balasturile electronice sunt responsabile de anumite emisii radiante și conductoare de înaltă frecvență.

Tensiunea rapid crescătoare, aplicată conductoarelor balastului determină pulsuri de curent care circulă prin condensatoare către pământ. Ca rezultat, curenți aleatori circulă prin conductorul de protecție și prin conductoarele sursei de alimentare. Datorită frecvenței înalte a acestor curenți, există radiație electromagnetică. Pentru a limita aceste radiații electromagnetice de înaltă frecvență, lampa trebuie amplasată în imediata vecinătate a balastului, astfel reducându-se lungimea celor mai importante conductoare radiante.

Diferite moduri de alimentare (vezi Tab. N48)

Tehnologia	Mod de alimentare	Alte dispozitive
Incandescent standard	Direct de la rețea	Înteruptor cu disp. de reglare a fluxului luminos (dimmer)
Halogen incandescent		
Halogen incandescent la TFJ	Transformator	Convertor electronic
Tub fluorescent	Balast magnetic și starter	Balast electronic Dimmer electronic + balast
Lampă fluorescentă compactă	Balast electronic încorporat	
Vapori de mercur	Balast magnetic	Balast electronic
Vapori de sodiu înaltă presiune		
Vapori de sodiu joasă presiune		
Halogenuri metalice		

Tab. N48: Diferite tipuri de alimentare a lămpilor.

4.3 Limitări și recomandări referitoare la dispozitivele de iluminat

Curentul care circulă prin lămpi

Riscuri

Această mărime este prima care ar trebui luată în considerare atunci când se proiectează o instalație, altfel este foarte probabil ca protecția la suprasarcină să declanșeze și să lase utilizatorii în întuneric.

Este evident faptul că, pentru determinarea sa trebuie luat în considerare consumul tuturor componentelor, în special, în cazul instalațiilor de iluminat fluorescent, întrucât puterea consumată de balast trebuie să se adauge celei a tuburilor sau a baloanelor.

Soluție

Pentru iluminatul incandescent trebuie amintit faptul că tensiunea de linie poate depăși valoarea sa nominală cu cca. 10%, ceea ce poate determina o creștere a curentului absorbit.

Pentru iluminatul fluorescent, dacă nu este altfel specificat, puterea balastului magnetic poate fi aproximată ca fiind cca. 25% din cea a balonului. În cazul balasturilor electronice, această putere este mai mică, cuprinsă între 5 - 10%. Pragurile de declanșare a protecției la supracurent trebuie, prin urmare, calculate în funcție de puterea totală și de factorul de putere, mărimi calculate pentru fiecare circuit.

Supracurenți la punerea sub tensiune

Riscuri

Dispozitivele utilizate pentru protecția și comanda circuitelor de iluminat sunt cele precum: rele, triace, teleruptoare, contactoare, întreruptoare.

Cea mai importantă condiție pusă acestor dispozitive este legată de vârful de curent la punerea sub tensiune.

Acest vârf de curent depinde de tehnologia lămpilor utilizate, dar, de asemenea, de caracteristicile instalației (puterea transformatorului de alimentare, lungimea cablurilor, numărul de lămpi) și de momentul conectării în raport cu perioada tensiunii de linie. Un vârf de curent de valoare mare, deși trecător, poate determina sudarea contactelor electromecanice ale dispozitivelor de comandă sau distrugerea dispozitivelor electronice (de comutare statică).

4 Circuite de iluminat

Două soluții

Datorită curenților la punerea sub tensiune, majoritatea releelor obișnuite sunt incompatibile cu sistemele de alimentare ale dispozitivelor de iluminat. Se fac, de obicei, următoarele recomandări:

- limitarea numărului de lămpi care urmează să fie conectate pe un circuit protejat de un singur dispozitiv de protecție, astfel încât, puterea totală să fie mai mică decât puterea maximă admisibilă a dispozitivului;
- verificarea, împreună cu producătorul, limitelor pe care acesta le stipulează pentru dispozitive. Această măsură de prevedere este în mod particular importantă atunci când se înlocuiesc lămpi cu incandescență cu lămpi fluorescente compacte. Ca un exemplu, **Tab. N49** indică numărul maxim de tuburi fluorescente compensate care pot fi comandate de către diferite dispozitive cu curentul nominal de 16 A. De menționat faptul că numărul de tuburi comandate trebuie să fie substanțial sub numărul corespunzător puterii maxime a dispozitivelor.

Puterea tubului (W)	Numărul de tuburi corespunzătoare puterii de 16 A x 230 V	Numărul maxim de tuburi care pot fi comandate de:		
		Contactoare GC16 A CT16 A	Teleruptoare TL16 A	Înteruptoare C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Tab. N49: Numărul de tuburi controlate este substanțial mai mic decât numărul corespunzător puterii maxime a dispozitivelor.

Există totuși o tehnică pentru limitarea vârfului de curent la punerea sub tensiune a circuitelor cu comportare capacitivă (balasturile magnetice amplasate în paralel cu condensatoarele și balasturile electronice). Aceasta constă în a ne asigura de faptul că, conectarea circuitelor la sursa de alimentare se face la momentul trecerii prin zero a tensiunii. Numai întreruptoarele electronice oferă această posibilitate (vezi **Fig. N50a**). Această tehnică s-a dovedit a fi utilă la proiectarea circuitelor de iluminat noi.

Recent, au fost dezvoltate dispozitive cu tehnologii hibride care combină întreruptoarele electronice (care închid circuitul la trecerea prin zero a tensiunii) cu contactoarele electromecanice care, apoi, le scurtcircuitază (reducerea pierderilor în semiconductoare, vezi **Fig. N50b**).

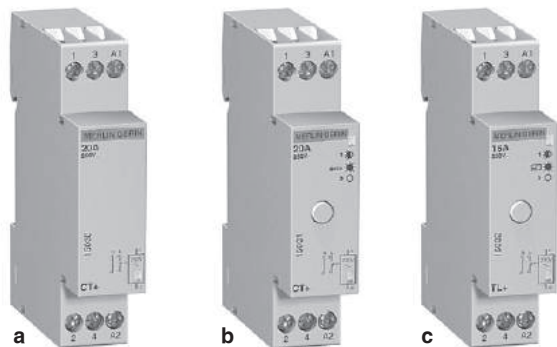


Fig. N50: CT standard + contactor [a]. CT+ contactor cu acționare manuală, buton pentru selectarea modului de funcționare și indicator cu lampă care arată modul de operare ales [b], și Merlin Gerin - Gama TL + întreruptor de comandă de la distanță [c].

4 Circuite de iluminat

Numărul maxim de lămpi care pot fi comandate de un teleruptor Merlin Gerin TL 16 și TL 32 A (alimentate la 230 V, tensiune monofazată)

Tipul de lampă	Puterea lămpii (W)	TL 16A	TL 32A
Incandescent standard	40	40	106
	60	25	66
	75	20	53
	100	16	42
	200	8	21
	Putere totală	1600 W	4260 W
Halogen incandescent	300	5	13
	500	3	8
	1000	1	4
	1500	1	2
	Putere totală	1500 W	4000 W
Halogen la foarte joasă tensiune	20	70	180
	50	28	74
	75	19	50
	100	14	37
	Putere totală	1400 W	3700 W
Tub fluorescent necompensat	18	70	186
	36	35	73
	58	21	55
	Putere totală	1300 W	3400 W
Tub fluorescent compensat	18	50	133
	36	25	66
	58	16	42
	Putere totală	930 W	2400 W
Lampă fluorescentă dublă compensată	2x18	56	148
	2x36	28	74
	2x58	17	45
	Putere totală	2000 W	5300 W
Lampă fluorescentă cu balast electronic	16	80	212
	32	40	106
	50	26	69
	Putere totală	1300 W	3400 W
Lampă fluorescentă dublă cu balast electronic	2x16	40	106
	2x32	20	53
	2x50	13	34
	Putere totală	1300 W	3400 W
Sodiu de joasă presiune	55	24	63
	90	15	40
	135	10	26
	180	7	18
	Putere totală	1300 W	3400 W
Sodiu înaltă presiune, Halogenuri metalice	250	5	13
	400	3	8
	1000	1	3
	Putere totală	1300 W	3400 W

Tab. N51: Numărul maxim de lămpi controlate de către dispozitive Merlin Gerin TL 16 A și TL 32 A.

4 Circuite de iluminat

Numărul maxim de lămpi care pot fi comandate de către contactoare Telemecanique GC și Merlin Gerin CT (alimentate la 230 V, tensiune monofazată)

Tipul de	Puterea lămpii (W)	GC16A CT16A	GC25A CT25A	GC40A CT40A	GC63A CT63A
Incandescent standard	40	38	57	115	172
	60	30	45	85	125
	75	25	38	70	100
	100	19	28	50	73
	150	12	18	35	50
	200	10	14	26	37
Halogen incandescent	300	7	10	18	25
	500	4	6	10	15
	1000	2	3	6	8
Halogen la foarte joasă tensiune	20	15	23	42	63
	50	10	15	27	42
	75	8	12	23	35
	100	6	9	18	27
Tub fluorescent necompensat	18	22	30	70	100
	36	20	28	60	90
	58	13	17	35	56
Tub fluorescent compensat	18	15	20	40	60
	36	15	20	40	60
	58	10	15	30	43
Lampă fluorescentă dublă compensată	2x18	30	46	80	123
	2x36	17	25	43	67
	2x58	10	16	27	42
Lampă fluorescentă cu balast electronic	18	74	111	222	333
	36	38	58	117	176
	58	25	37	74	111
Lampă fluorescentă dublă cu balast electronic	2x18	36	55	111	166
	2x36	20	30	60	90
	2x58	12	19	38	57
Sodiu de joasă presiune	18	14	21	40	60
	35	3	5	10	15
	55	3	5	10	15
	90	2	4	8	11
	135	1	2	5	7
	180	1	2	4	6
Sodiu înaltă presiune, Halogenuri metalice	70	6	9	18	25
	150	6	9	18	25
	250	2	4	8	12
	400	2	3	6	9
	1000	1	2	4	6

Tab. N52: Numărul maxim de lămpi comandate de contactoare Telemecanique GC și Merlin Gerin CT.

Numărul maxim de balasturi protejate de întreruptoare Merlin Gerin C60N / C120 N (numărul de corpuri de iluminat pe fază alimentate la 230/400 V)

Datele următoare (vezi **Tab. N53**) sunt date considerând curba D de declanșare a întreruptorului (pragul magnetic reglat între 10 și 14 I_n), ceea ce permite conectarea unui număr maxim de corpuri de iluminat, asigurând o protecție termică sigură și eliminând riscurile de declanșare intempestivă la punerea sub tensiune.

Echipament	Puterea tubului (W)	Curentul nominal al întreruptorului automat (A)													
		1	2	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Balast magnetic necompensat	18	4	9	14	29	49	78	98	122	157	196				
	36	2	4	7	14	24	39	49	61	78	98				
	58	1	3	4	9	15	24	30	38	48	60				
Balast magnetic compensat	18	7	14	21	42	70	112	140	175	225	281	351	443	562	703
	36	3	7	10	21	35	56	70	87	112	140	175	221	281	351
	58	2	4	6	13	21	34	43	54	69	87	109	137	174	218
	2x18	3	7	10	21	35	58	70	87	112	140	175	221	281	351
	2x36	1	3	5	10	17	26	35	43	56	70	87	110	140	175
	2x58	1	2	3	6	10	17	21	27	34	43	54	68	87	109
Balast electronic	18	5	11	17	35	58	93	117	146	186	230	290	366		
	36	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	284		
	58	2	5	10	20	33	58	68	85	109	136	171	215		
	2x18	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	184		
	2x36	2	5	8	15	26	44	55	69	88	110	137	173		
	2x58	1	5	5	11	18	30	38	47	61	76	95	120		

Tab. N53: Numărul maxim de balasturi care pot fi conectate pe un circuit protejat de întreruptor Merlin Gerin tip C60N / C120N.

Suprasarcina pe conductorul neutru

Riscuri

Într-o instalație care cuprinde, de exemplu, numeroase tuburi fluorescente cu balast electronic alimentate între o fază și neutru, armonicile de ordin 3 și multiplu de 3 pot determina suprasarcină pe conductorul neutru.

Tabelul N54 de mai jos prezintă valorile procentuale ale armonicii 3, din valoarea fundamentalei de curent, create de iluminat.

Tipul lămpii	Puterea tipică	Modul de funcționare	Val. tipică a armonicii 3
Lampă cu incandescență cu dimmer	100 W	Variația nivelului de iluminare (dimmer)	5 la 45%
Lampă cu incandescență la foarte joasă tensiune	25 W	Transformator electronic de foarte joasă tensiune	5%
Tub fluorescent	100 W	Balast magnetic	10%
	< 25 W	Balast electronic	85%
	> 25 W	+ compensare	30%
Lampă cu descărcare	100 W	Balast magnetic	10%
		Balast electronic	30%

Tab. N54: Valori ale armonicii 3 create de iluminat.

Soluție

În primul rând, utilizarea unui conductor de neutru cu secțiunea jumătate din secțiunea conductorului de fază este interzisă, așa cum este indicat în Standardul de Instalare CEI 60364, secțiunea 523-5-3.

În ceea ce privește dispozitivele de protecție, este necesar să se utilizeze dispozitive tetrapolare cu protecție pe nul (cu excepția sistemelor TN-C în care conductorul PEN, îndeplinind și funcția de conductor de protecție, nu poate fi întrerupt). Acest tip de dispozitiv poate fi utilizat pentru întreruperea tuturor polilor în cazul apariției unui defect, fenomen necesar când se alimentează corpuri de iluminat la tensiunea dintre faze.

Dispozitivul de întrerupere a circuitului trebuie, prin urmare, să întrerupă faza și nulul, în același timp.

Curenții de scurgere către pământ

Riscuri

La conectare, capacitățile către pământ ale balasturilor electronice pot duce la producerea unor vârfuri de curent rezidual care la rândul lor pot determina declanșări intempestive ale dispozitivelor de protecție.

Două soluții

Utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual care asigură protecție împotriva acestor impulsuri de curent este recomandată, chiar esențială, atunci când se echipează o instalație existentă. (vezi **Fig. N55**).

Pentru o instalație nouă, pot fi utilizate dispozitive de control electronice sau hibride (contactoare, teleruptoare) care reduc aceste impulsuri de curent (cuplarea se face în momentul trecerii prin zero a tensiunii).

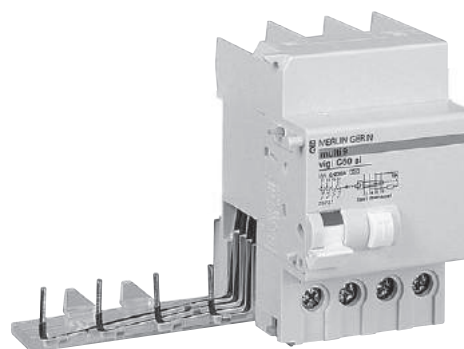


Fig. N55: Dispozitive de protecție împotriva curentului rezidual care asigură imunitate împotriva impulsurilor de curent (marcă Merlin Gerin).

Supratensiuni

Riscuri

Așa cum s-a arătat într-o secțiune anterioară, conectarea circuitelor de iluminat determină un regim tranzitoriu care se caracterizează printr-un supracurent important. Acest supracurent duce la o fluctuație importantă a tensiunii aplicate la bornele sarcinii conectate pe același circuit.

Aceste fluctuații pot influența funcționarea corectă a sarcinilor sensibile (calculatoare, controllere de temperatură, etc.).

Soluția

Este recomandabil să se separe sursa de alimentare pentru aceste sarcini sensibile de sursa de alimentare a circuitelor de iluminat.

Sensibilitatea dispozitivelor de iluminat la perturbațiile de tensiune

Înterruperile scurte

■ Riscuri

În cazul întreruperii tensiunii de alimentare, lămpile cu descărcare au nevoie de un timp de reaprindere de câteva minute.

■ Soluția

Poate fi realizat un iluminat parțial, utilizând lămpi cu reaprindere instantanee (lămpi cu incandescență sau tuburi fluorescente, lămpi cu descărcare cu “reaprire caldă”), dacă cerințele de siguranță o impun. Circuitul său de alimentare va fi, în funcție de norme, distinct de cel care alimentează sistemul principal de iluminat.

Fluctuațiile de tensiune

■ Riscuri

Majoritatea dispozitivelor de iluminat (cu excepția lămpilor alimentate cu balasturi electronice) sunt sensibile la fluctuațiile rapide de tensiune. Aceste fluctuații determină fenomenul de flicker care este neplăcut pentru utilizatori și poate cauza probleme importante. Aceste probleme depind atât de frecvența fluctuațiilor cât și de amplitudinea acestora.

Standardul CEI 61000-2-2 (Nivelele de compatibilitate pentru perturbații de joasă frecvență) specifică amplitudinea maximă admisă a variațiilor de tensiune în funcție de numărul de variații pe secundă sau pe minut.

Aceste fluctuații de tensiune sunt determinate, în principal, de fluctuațiile sarcinilor de puteri mari (cupatoare cu arc, mașini de sudură, porniri de motoare).

■ Soluție

Pot fi utilizate metode speciale pentru reducerea fluctuațiilor de tensiune. Nemaivorbind de faptul că, este recomandabil, acolo unde este posibil să se alimenteze circuitele de iluminat printr-o sursă independentă. Pentru anumite aplicații, este recomandată utilizarea lămpilor cu balasturi electronice (spitale, camere curate, săli de inspecție, săli de calculatoare, etc.).

Dezvoltări în echipamentele de comandă și protecție

Utilizarea variatoarelor de iluminat (dimmer-elor) este din ce în ce mai des întâlnită. Cerințele legate de amorsare sunt reduse iar declasarea echipamentelor de control și protecție este mai puțin importantă. Au fost introduse noi dispozitive de protecție adaptate condițiilor impuse de către circuitele de iluminat, de exemplu, întreruptoarele Merlin Gerin și dispozitivele modulare de protecție împotriva curentului rezidual cu imunitate specială, cum sunt întreruptoarele ID și tipul s.i. de întreruptoare Vigi. Cum echipamentele de comandă și protecție evoluează, anumiți producători pot prezenta o ofertă nouă referitoare la teleruptoare, dispozitive de management 24 ore, dispozitive pentru comanda iluminatului, reducerea consumului de energie, etc.

4.4 Sisteme de iluminat în spații publice**Iluminatul normal**

Reglementările care stipulează cerințele minime de îndeplinit pentru clădirile publice, în majoritatea țărilor Europene sunt următoarele:

- sistemele de iluminat amplasate în zone accesibile publicului trebuie să fie comandate și protejate independent față de sistemele de iluminat dedicate altor spații;
- pierderea alimentării unui circuit de iluminat final (de ex.: funcționarea fuzibilelor sau declanșarea întreruptorului) nu trebuie să conducă la lipsa completă a iluminării în zone destinate să primească mai mult de 50 de persoane;
- protecția prin dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD) trebuie să fie realizată de mai multe astfel de dispozitive (trebuie utilizat mai mult decât un singur dispozitiv).

Iluminatul de siguranță

Acest subiect include iluminatul semnelor și direcțiilor de ieșire de siguranță și, de asemenea, iluminatul de siguranță ambiental.

Marcarea ieșirilor de siguranță

În zonele în care pot exista mai mult de 50 de persoane, trebuie să existe indicatoare luminoase ale direcțiilor de deplasare pentru ieșirile de siguranță.

Iluminatul general de siguranță

Iluminatul general este obligatoriu în zone care pot primi mai mult de 100 de persoane (sau mai mult de 50 de persoane în zone de subsol).

Un defect pe un circuit de iluminat nu trebuie să afecteze nici un alt circuit:

- selectivitatea releelor de protecție la supracurenți și la curenți reziduali trebuie să fie totală, astfel încât va fi întrerupt doar circuitul cu defect;
- instalația trebuie să aibă sistemul IT sau trebuie să fie în clasă II, adică dublu izolată.

Surse de alimentare pentru iluminatul de siguranță

Sursele de alimentare pentru sistemele de iluminat de siguranță trebuie să fie capabile să mențină alimentarea tuturor lămpilor în cazul cel mai defavorabil care s-ar putea întâmpla, care, pentru o perioadă stabilită, să asigure evacuarea totală din zona respectivă, dar minimum o oră.

Compatibilitatea între iluminatul de siguranță și alte părți ale instalației

Sursele de iluminat de siguranță trebuie să alimenteze, exclusiv circuitele instalate pentru funcționare în situații de urgență.

Sistemele de iluminat standby funcționează pentru a menține iluminatul în cazul întreruperii circuitelor de iluminat normal (în general, în situații care nu sunt de urgență). Totuși, întreruperea iluminatului normal trebuie, în mod automat, să determine intrarea în funcțiune a iluminatului de siguranță.

Sursele centralizate pot fi, de asemenea, utilizate pentru alimentarea de siguranță dacă următoarele condiții sunt simultan îndeplinite:

- acolo unde există mai multe surse, căderea uneia trebuie să permită, totuși, existența unei capacități de alimentare suficiente pentru menținerea alimentării tuturor sistemelor de siguranță, eventual prin deconectarea consumatorilor neprioritari (dacă este necesar);
- căderea unei surse sau a unui echipament care vizează siguranța nu trebuie să afecteze celelalte surse și echipamente de siguranță;
- orice echipament de siguranță trebuie să primească alimentare de la orice sursă.

Clasificarea iluminatului de siguranță

Multe țări au reglementări statutare referitoare la siguranța în clădiri și în zone cu aglomerări de persoane.

Clasificarea acestor zone conduce la determinarea unor tipuri de soluții adecvate și autorizează utilizarea schemelor de iluminat de siguranță pentru diferite spații. Clasificarea următoare este tipică:

Tip A

În prezența publicului, lămpile sunt alimentate permanent și în totalitate de la o sursă centrală de alimentare (baterie sau grup electrogen). Aceste circuite trebuie să fie independente de oricare altele⁽¹⁾.

Tip B

În prezența publicului, lămpile sunt alimentate permanent fie:

- prin baterii la care lămpile sunt permanent conectate și care se alimentează permanent de la o sursă normală de alimentare, fie
- printr-un grup electrogen ale cărui caracteristici asigură alimentarea sarcinilor prioritare, într-o secundă (din momentul în care generatorul funcționează și alimentează iluminatul de siguranță), în eventualitatea căderii sursei normale, fie
- unități autonome aprinse, în mod normal, permanent, care sunt alimentate de la sursa normală de alimentare și rămân aprinse (cel puțin pentru o oră) la pierderea alimentării normale, datorită bateriilor proprii încorporate. Aceste baterii se încarcă în timpul funcționării normale. Astfel de unități autonome sunt, în general, echipate cu tuburi fluorescente pentru iluminatul permanent de siguranță și lămpi fluorescente sau cu incandescență pentru marcarea semnelor de EXIT și a direcțiilor de deplasare în caz de urgență. Circuitele pentru toate lămpile de siguranță trebuie să fie independente față de alte circuite⁽¹⁾.

Tip C

Lămpile pot fi alimentate sau nu în condiții normale, iar dacă sunt alimentate sursa de alimentare poate fi sursă de alimentare a iluminatului normal sau sursă de alimentare a iluminatului de siguranță.

- Bateriile iluminatului de siguranță trebuie să fie menținute încărcate de la sursa normală printr-un sistem automat de încărcare, asigurând astfel o capacitate minimă de alimentare pentru întreg sistemul de iluminat de siguranță de cel puțin o oră.
- Grupul-generator trebuie să fie capabil să alimenteze întregul sistem de iluminat de siguranță în mai puțin de 15 secunde de la căderea sursei de alimentare normale. Puterea necesară pornirii motorului este asigurată de baterii, capabile să facă față la 6 încercări de pornire, sau de un sistem de aer comprimat. O rezervă minimă de energie în cele două sisteme trebuie să fie menținută automat.
- Căderea sursei de alimentare de siguranță trebuie să fie detectată dintr-un număr suficient de puncte ale instalației și semnalizată corespunzător personalului de întreținere
- Unitățile autonome pot fi pentru iluminat permanent sau nepermanent. Circuitele tuturor lămpilor de siguranță trebuie să fie independente de oricare alte circuite⁽²⁾.

Tip D

Acest tip de iluminat de siguranță se referă la corpuri de iluminat cu baterii, portabile, puse la dispoziția personalului de întreținere sau a publicului.

Notă:

În România, se vor respecta reglementările referitoare la iluminatul de siguranță cuprinse în normativul NP-I7/2002, capitolul 7.13.

(1) În cazul unei surse centrale de alimentare de siguranță circuitele aferente tipurilor A și B trebuie să fie rezistente la foc. Tuburile, dozele de derivație, etc. trebuie să satisfacă standardele naționale și testele de încălzire sau, circuitele trebuie amplasate în astfel de tuburi de protecție, etc. capabile să asigure performanțe satisfăcătoare în eventualitatea unui incendiu, pentru cel puțin o oră.

(2) Conductoarele circuitelor aferente tipului C nu trebuie să îndeplinească condițiile stipulate la (1).

Motorul asincron (cu inducție) este robust, fiabil și foarte larg utilizat. 95% din motoarele instalate în întreaga lume sunt asincrone. Protecția acestor motoare este, în consecință, un subiect de mare importanță în numeroase aplicații.

Consecințele unei protecții incorecte a unui motor pot include următoarele aspecte nedorite:

- pentru persoane:
 - asfixierea datorită blocării unui motor de ventilație,
 - electrocutarea datorită defectelor de izolație în motor,
 - accidente datorate neopririi motorului în cazul defectării circuitelor sale de comandă în cazul unei protecții incorecte la supracurenți;
- pentru mecanismul acționat de motor și pentru procesul respectiv:
 - deteriorări ale cuplajelor, axului, etc, datorită funcționării motorului cu rotorul calat,
 - pierderi de producție,
 - întârzierea termenelor de fabricație;
- pentru motor:
 - arderea înfășurărilor motorului în cazul calării rotorului,
 - costuri pentru reparație,
 - costuri pentru înlocuirea sau demontarea și remontarea motorului.

Prin urmare, siguranța persoanelor și a bunurilor ca și gradul de fiabilitate și de disponibilitate al instalației sunt criterii importante care influențează alegerea dispozitivelor de protecție.

Economic vorbind, trebuie luat în considerare costul total al unei defectuni a motorului; pierderile sunt cu atât mai mari cu cât motorul este mai mare și cu cât accesul la el este mai dificil. Pierderea producției este, fără îndoială un alt factor foarte important de luat în considerare.

Caracteristicile specifice ale performanțelor motorului influențează stabilirea circuitului de alimentare, în scopul unei funcționări corecte a acestuia.

Un circuit de alimentare al unui motor respectă anumite condiții care nu se întâlnesc, în mod obișnuit în cazul altor circuite de distribuție și care țin de caracteristicile particulare specifice motorului, precum:

- curentul de pornire mare (vezi **Fig. N56**) care este în mare măsură reactiv și care determină o cădere de tensiune importantă;
- numărul și frecvența pornirilor;
- curentul de pornire ridicat înseamnă de fapt că dispozitivul de protecție la suprasarcină trebuie să aibă astfel de caracteristici încât să nu declanșeze pe perioada de pornire a motorului.

5.1 Funcțiile necesare unui circuit de motor

Funcțiile asigurate de un circuit de motor sunt :

- Funcții de bază care includ:
 - posibilitatea de separare,
 - comanda motorului (locală sau de la distanță),
 - protecția împotriva scurtcircuitului,
 - protecția împotriva suprasarcinii;
- Protecții complementare, care includ:
 - protecția termică prin măsurarea directă a temperaturii înfășurărilor,
 - protecția termică prin determinarea indirectă a temperaturii înfășurărilor,
 - controlul permanent al rezistenței de izolație,
 - funcții de protecție specifice ansamblului motor-mecanism acționat;
- Echipamente specifice de comandă incluzând:
 - sisteme electromecanice de pornire a motorului,
 - dispozitive de protecție și comandă (CPS),
 - soft-startere,
 - variatoare de viteză.

Funcții de bază

Posibilități de separare

Pentru siguranța personalului de exploatare în timpul acțiunilor de întreținere este necesară separarea circuitelor, parțial sau total, de la sursa lor de alimentare. Funcția de "separare" este realizată de către separatoare. Această funcție poate fi realizată și de alte dispozitive proiectate pentru a asigura separarea, precum întreruptoare automate cu aptitudine de separare.

Comanda motorului

Funcția de comandă a motorului este cea care realizează pornirea și frânarea motorului. În cazul comenzilor manuale, această funcție poate fi îndeplinită de întreruptoare speciale pentru motor sau separatoare.

În cazul comenzii de la distanță această funcție poate fi îndeplinită de contactoare, soft-startere (CPS).

Funcția de comandă poate fi inițiată, de asemenea, și prin alte mijloace:

- protecția la suprasarcină;
- protecții complementare;
- declanșatoare la minimă tensiune (necesare în cazul multor mașini).

Funcția de comandă poate fi, de asemenea, realizată de către echipamente de comandă specifice.

N42

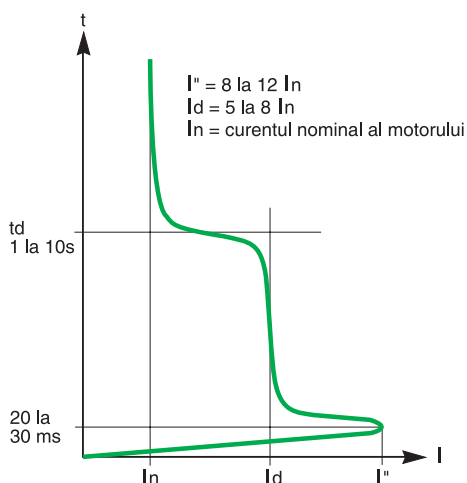


Fig. N56: Caracteristica de curent în cazul pornirii directe pentru un motor asincron.

Protecția împotriva scurtcircuitelor

■ Scurtcircuitul bifazat

Acest tip de defect în interiorul motorului este foarte rar. El se datorează, în general, unor defecte mecanice ale cablului de alimentare al motorului.

■ Scurtcircuit fază/pământ

Cauza principală pentru acest defect este deteriorarea izolației înfășurărilor. Curentul de defect care rezultă depinde de sistemul de tratare al neutrului. În sistemele TN, curentul de defect este foarte mare și, în majoritatea cazurilor, motorul va fi deteriorat. În cazul altor sisteme, protecția motorului se poate realiza utilizând dispozitive de protecție împotriva punerilor la pământ.

Pentru protecția la scurtcircuit este recomandabil să se acorde o atenție specială evitării declanșărilor intempestive în timpul perioadei de pornire a motorului. Curenții de pornire în cazul motoarelor standard sunt de cca. 6 - 8 ori curentul nominal dar, în cazul unui defect, curentul poate atinge de 15 ori valoarea curentului nominal. Deci curentul de pornire nu trebuie să fie privit ca un curent de defect de către protecție. În plus, un defect care se produce pe circuitul motorului nu trebuie să afecteze circuitele din amonte. În consecință, condițiile protecțiilor magnetice de selectivitate și sensibilitate cu toate părțile instalației trebuie să îndeplinească.

Protecția la suprasarcină

Suprasarcinile mecanice ale sarcinii motorului sunt cauza principală de suprasarcină în cazul aplicațiilor de tip motor. Acestea determină supracurenți de sarcină și supraîncălzirea motorului. Durata de viață a motorului poate fi micșorată și, uneori, motorul poate fi deteriorat. Prin urmare, este necesar să se detecteze suprasarcinile motorului. Această protecție poate fi realizată de către:

- relee termice de suprasarcină specifice;
- întreruptoare termo-magnetice speciale, numite în mod uzual "întreruptoare motor";
- protecții complementare (a se vedea mai jos) ca: relee electronice multifuncționale sau senzori de temperatură;
- soft-startere electronice sau variatoare de viteză (a se vedea mai jos).

Protecții complementare

■ Protecția termică prin măsurarea directă a temperaturii înfășurărilor. Realizată de către senzori termici (termorezistențe) încorporați în înfășurările motorului ce lucrează împreună cu relee asociate.

■ Protecția termică prin determinarea indirectă a temperaturii înfășurărilor.

Realizată de către relee multifuncționale prin măsurări de curent și ținând cont de caracteristicile motorului.

■ Controlul permanent al rezistenței de izolație cu ajutorul releelor speciale sau a releelor de curent diferențial rezidual. Aceste echipamente realizează detectarea și protecția împotriva scurgerilor de curent către pământ și a scurtcircuitului cu pământul, permițând astfel intervenții de întreținere înainte de distrugerea motorului.

■ Funcții specifice de protecție a motorului, cum ar fi protecția împotriva unei durate de pornire prea lungi sau împotriva calării rotorului, protecția împotriva dezechilibrului fazelor, a pierderii unei faze, protecția împotriva punerii la pământ, protecția la mersul în gol, protecția împotriva blocării rotorului (în timpul pornirii sau după); prealarme pentru semnalizarea supraîncălzirii, comunicație, pot fi realizate de către relee multifuncționale.

Echipamente specifice de comandă

■ Echipamente electromecanice pentru pornire (stea-triunghi, autotransformator, starter reostatic rotor, etc.). Ele sunt utilizate, în general, pentru aplicații care pe perioada pornirii nu prezintă sarcini mecanice (pompe, ventilatoare, mașini-unelte, etc.).

□ avantaje

Raport bun cuplu/curent; reducere importantă a curentului la pornire.

□ dezavantaje

Cuplu mic pe perioada pornirii; nici o posibilitate de modificare; puterea este întreruptă în timpul fenomenelor tranzitorii; pentru conectare sunt necesare 6 conductoare.

■ Dispozitive de comandă și protecție (CPS)

Ele realizează toate funcțiile de bază menționate anterior într-un singur dispozitiv, inclusiv anumite funcții complementare și de comunicație. Aceste dispozitive realizează, de asemenea, continuitatea serviciilor în caz de scurtcircuit.

■ Demaroare soft-starter

Utilizate pentru aplicații cu pompe, ventilatoare, compresoare, benzi transportoare.

□ avantaje

Limitarea vârfului de curent, a căderii de tensiune, a limitărilor mecanice în timpul pornirii motorului, protecție termică încorporată, dispozitive de dimensiuni mici, posibilități de comunicație.

□ dezavantaje

Cuplu redus pe perioada pornirii, disipare mare de căldură.

■ Variatoare de viteză

Sunt utilizate pentru aplicații cu pompe, ventiloatoare, compresoare, benzi transportoare, mașini având cuplu de sarcină mare, mașini cu inerție mare.

□ avantaje

Variație în mod continuu a turației motorului (de la 2 la 130% din turația nominală), posibilitate de depășire a turației maxime; reglajul precis al accelerării și decelerării; cuplu ridicat pe perioadele de pornire și oprire; curent de pornire mic, protecție termică încorporată, posibilități de comunicație.

□ dezavantaje

Disipare de căldură, volum, cost.

5.2 Standarde

Protecția și comanda motorului se pot realiza în diverse feluri:

■ utilizând o asociere de dispozitive de protecție la scurtcircuit (SCPD) și dispozitive electromecanice precum:

□ starter electromecanic, în conformitate cu CEI 60947-4-1,

□ starter electronic, în conformitate cu CEI 60947-4-2,

□ variator de viteză, în conformitate cu seriile CEI 61800;

■ utilizând un CPS, un singur dispozitiv care realizează toate funcțiile de bază, în conformitate cu CEI 60947-6-2.

În descrierile de mai jos s-au analizat doar circuitele de motor care includ dispozitive electromecanice precum: startere și protecții împotriva scurtcircuitului. Dispozitivele în conformitate cu CEI 60947-6-2, starterele electronice și variatoarele de viteză sunt considerate doar ca informare.

Un circuit de motor îndeplinește condițiile din CEI 60947-4-1 și în principal:

■ coordonarea între dispozitivele de protecție și comandă ale circuitului motor;

■ clasa de declanșare a releelor termice;

■ categoria de utilizare a contactoarelor;

■ coordonarea izolației.

Notă: Prima și ultima condiție sunt satisfăcute în mod inerent de către dispozitive care sunt în conformitate cu CEI 60947-6-2 deoarece acestea asigură continuitatea funcționării.

Standardizarea asocierii întreruptor + contactor + releu termic

Categoria de utilizare a contactoarelor

Standardul CEI 60947-4-1 prezintă categoriile de utilizare care ușurează considerabil alegerea contactorului potrivit pentru o aplicație dată. Categoriile de utilizare se referă la:

■ o gamă de funcții pentru care contactorul trebuie adaptat;

■ curentul de rupere necesar și capacitatea de închidere;

■ valorile standard de sarcină pentru testele de durabilitate, în conformitate cu categoria de utilizare.

Tabelul N57 prezintă câteva exemple tipice de categorii de utilizare.

Categoria de utilizare	Caracteristicile aplicației
AC-1	Sarcini neinductive (sau slab inductive): $\cos \varphi \geq 0,95$ (încălzire, distribuție)
AC-2	Pornirea sau frânarea motoarelor cu inele
AC-3	Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit: pornirea sau oprirea motorului
AC-4	Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit: pornire, mers în impulsuri, schimbare de sens

Tab. N57: Categoriile de utilizare pentru contactoare.

Notă: Aceste categorii de utilizare sunt adaptate dispozitivelor care sunt în conformitate cu alte standarde. De exemplu, categoria AC-3 devine AC-53 pentru startere electronice (CEI 60947-4-2) și devine AC-43 pentru CPS (CEI 60947-6-2).

Tipuri de coordonare

Pentru fiecare asociere de dispozitive este menționat un anumit tip de coordonare, în funcție de starea în care se vor găsi părțile componente în urma unei declanșări datorate unui defect sau a deconectării unui contactor din motive de suprasarcină. Standardul CEI 60947-4-1 definește două tipuri de coordonări, tipul 1 și tipul 2, care stabilesc limitele maxime admisibile de deteriorare a dispozitivelor în caz de scurtcircuit.

Oricare ar fi tipul de coordonare, este obligatoriu ca ansamblul dispozitivelor utilizate pentru pornirea motorului sau contactorul să nu creeze niciodată un pericol pentru personalul de exploatare și pentru instalație. Particularitățile celor două tipuri de coordonare sunt:

■ Tip 1

Deteriorarea ansamblului dispozitivelor utilizate pentru pornirea motorului este acceptabilă după un scurtcircuit, astfel încât acesta poate funcționa din nou în urma unor reparații sau înlocuiri parțiale.

■ Tip 2

Arderea și riscul sudării contactelor contactorului sunt singurele riscuri admise.

Ce tip de coordonare se alege ?

Alegerea tipului de coordonare depinde de parametrii de exploatare și trebuie ales pentru a satisface (în mod optim) nevoile utilizatorului și costurile instalației.

■ Tipul 1

- ☐ personal calificat de întreținere,
- ☐ volum și cost reduse pentru dispozitivele de comutație,
- ☐ nu pot fi utilizate ulterior unui scurtcircuit fără operațiuni de reparații sau înlocuire.

■ Tipul 2

- ☐ pentru utilizare după un scurtcircuit sunt necesare doar măsuri ușoare de întreținere

5.3 Aplicații

Comanda și protecția unui motor se pot realiza cu unul, două, trei sau patru aparate diferite care să îndeplinească diferite funcțiuni.

În cazul utilizării mai multor dispozitive este esențială coordonarea între acestea, pentru a obține o protecție optimă a motorului.

Pentru a proteja un circuit motor, trebuie luați în considerare mai mulți parametri, în funcție de:

- aplicație (tipul mecanismului, siguranța funcționării, numărul de operații, etc.);
- necesitatea continuității funcționării impuse de aplicație;
- standardele utilizate pentru a se asigura siguranța și securitatea.

Funcțiile electrice de realizat sunt diferite:

- pornirea, funcționarea normală și oprirea fără declanșări intempestive atât timp cât întreținerea se face în conformitate cu cerințele impuse, numărul de operații, cerințele de durabilitate și siguranță (oprirea de urgență), ca și protecția circuitului și a motorului, deconectarea (separarea) în scop de asigurare a protecției personalului în timpul operațiunilor de întreținere.

Dintre diferitele metode de protecție a unui motor, asocierea întreruptor + contactor + releu termic⁽¹⁾ are cele mai multe avantaje.

Schema protecției de bază: întreruptor + contactor + releu termic

Avantaje

Combinția de dispozitive ușurează activitatea de instalare ca și operațiunile de întreținere și exploatare prin:

- reducerea sarcinii operațiunii de întreținere: utilizarea întreruptorului în loc de fuzibile elimină necesitatea de a înlocui, în caz de defect, fuzibilele și, de asemenea, necesitatea de a deține un stoc de fuzibile (de diferite tipuri și mărimi);
- performanțe mai bune în ceea ce privește continuitatea serviciilor: instalația poate fi pusă imediat sub tensiune după eliminarea defectului și după verificarea stării ansamblului care asigură pornirea motorului;
- dispozitive suplimentare complementare necesare, uneori, unui circuit motor pot fi cu ușurință adaptate;
- întreruperea celor trei faze este totdeauna asigurată (prin urmare, se evită posibilitatea funcționării în două faze);
- posibilitatea de a întrerupe curentul nominal (cu ajutorul întreruptorului) în cazul unei defecțiuni la contactor, de exemplu, sudura contactelor;
- posibilități de interblocaj;
- diverse comenzi și semnalizări la distanță.

⁽¹⁾ Combinția unui contactor cu un releu termic este uzual cunoscută sub numele de "discontactor".

- mai bună protecție a ansamblului care asigură pornirea motorului în caz de supracurent și, în particular, pentru scurtcircuitul impendat⁽¹⁾ corespunzător unui curent de cca. 30 de ori curentul nominal al motorului I_n (vezi Fig. N58);
- posibilități de utilizare a dispozitivelor de curent diferențial rezidual:
 - pentru prevenirea riscului de incendiu (sensibilitatea ≤ 500 mA),
 - pentru prevenirea deteriorării motorului (scurtcircuit la tolele laminate) prin detectarea la timp a curentului rezidual (sensibilitate de la 300 mA la 30 A).

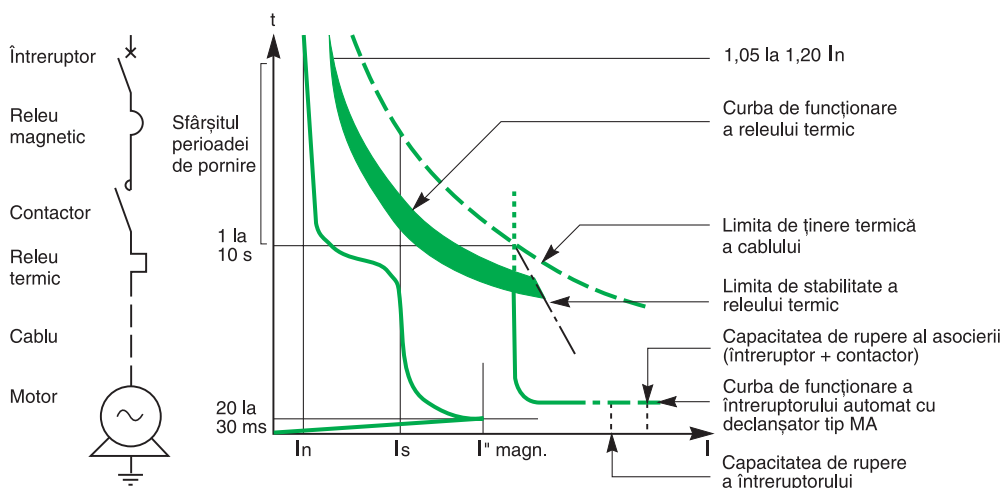


Fig. N58: Caracteristicile de declanșare a asocierii întreruptor + contactor + releu termic⁽¹⁾.

Concluzii

Asocierea întreruptor + contactor + releu termic pentru comanda și protecția circuitelor de motor sunt adecvate atunci când:

- serviciul de întreținere pentru instalație este redus, ceea ce este, în general, cazul întreprinderilor industriale mici și mijlocii și al aplicațiilor din domeniul terțiar;
- specificațiile funcționării impun și alte funcții;
- există o cerință funcțională legată de ușurința întreruperii alimentării în eventualitatea unei operațiuni de întreținere.

Puncte cheie în succesul asocierii unui întreruptor cu un discontactor

Standardele definesc în mod precis elementele care trebuie luate în considerare pentru a realiza o corectă coordonare de tip 2:

- compatibilitatea absolută între releul termic al discontactorului și declanșatorul magnetic al întreruptorului. În Fig. N59 releul termic este protejat dacă limita sa de ținere termică este plasată la dreapta curbei de declanșare magnetică a întreruptorului. În cazul unui "întreruptor-motor" care încorporează ambele rele de protecție (magnetic și termic), coordonarea este realizată încă din faza de construcție a întreruptorului;

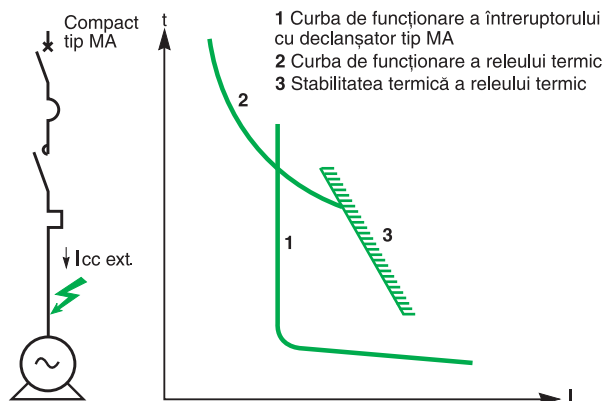


Fig. N59: Stabilitatea termică a releului termic trebuie să se situeze în dreapta caracteristicii de declanșare magnetică a întreruptorului.

(1) În majoritatea cazurilor, defectele de scurtcircuit se produc la nivelul motorului, de aceea curentul este limitat de cablu și de cablajul ansamblului de pornire al motorului și este denumit curent de scurtcircuit impendat.

Nu este posibilă stabilirea capacității de rupere al unei asocieri întreruptor + contactor. Doar teste de laborator ale producătorului permit aceasta. Prin urmare, Schneider Electric prezintă tabele referitoare la asocierea unui întreruptor Multi 9 sau Compact tip MA, cu diferite tipuri de dispozitive de pornire a motoarelor.

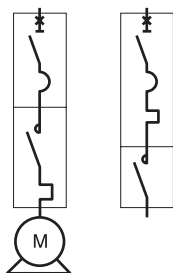


Fig. N60: Întreruptor și contactor montate în același compartiment.

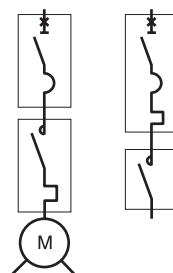


Fig. N61: Întreruptor și contactor montate separat.

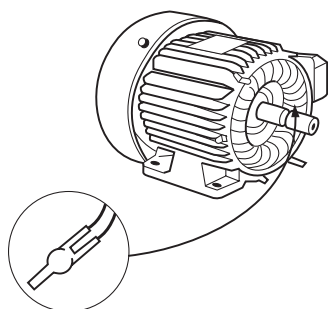


Fig. N62: Protecția la supraîncălzire cu senzori termici.

- capacitatea de rupere a contactorului trebuie să fie mai mare decât curentul corespunzător reglajului releului magnetic al întreruptorului automat;
- când suportă un scurtcircuit, comportamentul contactorului și al releului termic trebuie să fie în conformitate cu cerințele specificate de respectivul tip de coordonare.

Capacitatea de rupere în cazul asocierii unui întreruptor cu un contactor sau al unui ansamblu de pornire al motorului

În studii, capacitatea de rupere care trebuie comparată cu valoarea curentului de scurtcircuit prezumat este:

- fie cea a asocierii întreruptor + contactor, dacă întreruptorul și contactorul sunt, din punct de vedere fizic, apropiate (vezi **Fig. N60**) (același compartiment în dulapul de protecție a motorului). Un scurtcircuit în aval de această asociere va fi limitat de către impedanțele contactorului și releului termic. Această asociere poate fi, prin urmare, utilizată pe un circuit la care nivelul curentului prezumat depășește capacitatea de rupere a întreruptorului. Această caracteristică prezintă deseori avantaje economice semnificative.
- sau, numai cea a întreruptorului, caz în care contactorul este amplasat separat de întreruptor (vezi **Fig. N61**), cu riscul unui scurtcircuit între ansamblul de pornire al motorului și întreruptor.

Alegerea releului magnetic instantaneu al întreruptorului

În cazul acestui releu, pragul de funcționare nu trebuie să fie niciodată mai mic decât $12 I_n$, pentru a se evita declanșările intempestive datorate vârfului de curent din momentul pornirii.

Protecții complementare

Protecțiile complementare sunt:

- senzori termici în motor (la nivelul înfășurărilor, țevilor de răcire, suporturilor, etc.);
- protecțiile multifuncționale (asocieri de funcții);
- dispozitive pentru detectarea defectelor de izolație la motorul în funcțiune sau în repaus.

Senzori termici

Senzorii termici sunt utilizați pentru a detecta creșteri de temperaturi anormale în motor, prin măsurări directe. Senzorii termici sunt, în general, incluși în înfășurarea statorică (în cazul motoarelor de joasă tensiune), semnalul fiind procesat de un dispozitiv de control asociat care acționează contactorul sau întreruptorul în sensul deconectării (vezi **Fig. N62**).

Relee multifuncționale pentru protecția motorului

Releele multifuncționale, asociate cu senzori și module de semnalizare realizează protecția motorului și, de asemenea, anumite funcții precum:

- protecția la suprasarcină;
- rotor cald sau perioadă de pornire prea lungă;
- protecția împotriva supraîncălzirii;
- protecția împotriva dezechilibrului fazelor, a pierderii unei faze, sau a inversării sensului de rotație;
- protecția împotriva defectului la pământ (cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual);
- protecția împotriva funcționării în gol, a blocării rotorului la pornire.

Avantajele sunt esențiale:

- o protecție completă, realizând funcții de monitorizare și comandă permanente, sigure și de înaltă performanță;
- monitorizarea eficientă a tuturor momentelor de funcționare ale motorului
- alarme și semnalizări;
- posibilități de comunicație prin bus-uri de comunicație.

Exemplu: Releul Telemecanique LT6 cu funcții de comandă și monitorizare permanente și cu comunicația via bus de comunicație, sau unitatea de comandă multifuncțională LUCM cu modulul de comunicație pentru Tesys modelul U.

Protecția preventivă a motoarelor în repaus

Această protecție se referă la monitorizarea nivelului rezistenței de izolație a unui motor în repaus, evitându-se astfel consecințele nedorite ale existenței unui defect de izolație în timpul funcționării motorului, și anume:

- ratări ale pornirii sau funcționarea incorectă a motoarelor utilizate în sistemele de siguranță;
- pierderi de producție.

Acest tip de protecție este indispensabil în cazul proceselor vitale și a sistemelor de siguranță, în special atunci când acestea sunt instalate în locații umede sau/și cu praf. Astfel de protecții evită distrugerea motorului în cazul scurtcircuitului cu pământul produs pe perioada pornirii (unul dintre cele mai des întâlnite defecte) prin semnalizări de prevenire asupra faptului că sunt necesare operațiuni de întreținere asupra motorului, în scopul asigurării condițiilor optime de funcționare.

Exemplu de aplicație:

Sistem de protecție împotriva incendiului cu "sprinklere", pompe pentru irigații pentru utilizare sezonieră, etc.

Sistemul Vigilohm SM21 (Merlin Gerin) monitorizează izolația motorului și semnalizează auditiv și vizual orice reducere anormală a nivelului rezistenței de izolație. Mai mult, acest releu poate împiedica, la nevoie, orice încercare de a porni motorul (vezi **Fig. N63**).

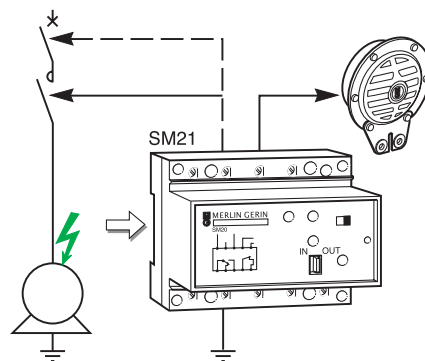


Fig. N63: Protecție preventivă a motoarelor în repaus.

Protecții limitatoare

Dispozitivele de curent diferențial rezidual pot fi foarte sensibile și pot detecta valori scăzute pentru scurgerile de curent care se produc atunci când apar deteriorări de izolație (de natură fizică, contaminare, umiditate excesivă, etc.). Anumite game de dispozitive de curent diferențial rezidual, cu contacte uscate, special proiectate pentru astfel de aplicații realizează următoarele:

- evitarea distrugerii motorului (prin perforarea sau scurtcircuitarea tolelor magnetice ale statorului) determinată de eventuale arcuri electrice către pământ. Această protecție poate detecta condițiile de defect din faza incipientă prin funcționarea în cazul scurgerilor de curent, în gama de la 300 mA la 30 A, în funcție de mărirea motorului (sensibilitate aproximativă: 5% I_n);
 - reducerea riscului de incendiu: sensibilitate ≤ 500 mA.
- De exemplu, releul RH99M (Merlin Gerin) (vezi **Fig. N64**) asigură:
- 5 nivele de sensibilitate (0,3; 1; 3; 10 și 30 A);
 - posibilități de realizare a selectivității protecțiilor prin utilizarea unor posibilități de funcționare particulare, în virtutea a trei posibile temporizări (0; 90 și 250 ms);
 - funcționarea automată dacă circuitul cuprins între transformatorul de curent și releu este întrerupt;
 - protecția împotriva funcționării în caz de defect;
 - izolația componentelor circuitului de c.c. clasa A.

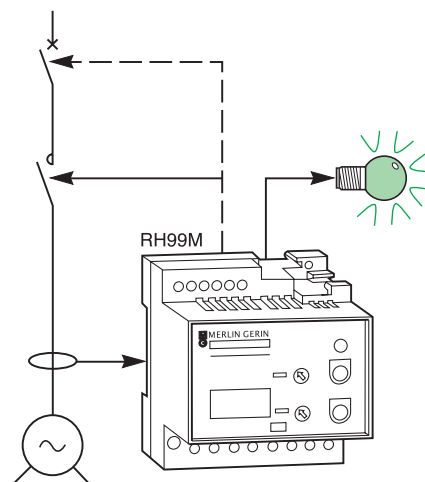


Fig. N64: Exemplu utilizând releul RH99M.

5 Motoare asincrone

Importanța limitării căderii de tensiune la motor pe perioada pornirii

Pentru ca un motor să pornească și să accelereze la turația normală într-un timp corect, cuplul motorului trebuie să depășească cuplul de sarcină cu cel puțin 70%. Totuși, curentul de pornire este mult mai mare decât curentul nominal al motorului. Ca rezultat, în cazul în care căderea de tensiune este foarte mare, cuplul motorului va fi redus în mod semnificativ (fiind proporțional cu U^2) și, prin urmare, la extrem, pornirea este ratată.

Exemplu:

■ la o tensiune menținută de 400 V la bornele motorului, cuplul sau ar fi de 2,1 ori cuplul de sarcină;

■ în cazul unei căderi de tensiune de 10% pe perioada pornirii, cuplul motorului ar fi $2,1 \times 0,9^2 = 1,7$ ori cuplul de sarcină, prin urmare, motorul va accelera până la turația sa nominală în mod normal;

■ în cazul unei căderi de tensiune de 15% pe perioada pornirii, cuplul motorului ar fi $2,1 \times 0,85^2 = 1,5$ ori cuplul de sarcină, astfel încât, timpul de pornire va fi mai lung decât cel normal.

În general, în timpul perioadei de pornire a motorului, este recomandată o cădere maximă de tensiune de 10% U_n .

5.4 Puteri nominale maxime ale motoarelor asincrone alimentate la joasă tensiune

Perturbațiile determinate în rețelele de distribuție de joasă tensiune în timpul pornirii directe a unor motoare de puteri mari pot avea, ocazional, influențe negative importante asupra consumatorilor vecini, astfel încât, autoritățile furnizoare au reguli stricte în vederea aducerii acestor perturbații la nivele acceptabile. Nivelul de perturbații creat de un motor depinde de puterea rețelei, adică de valoarea curentului de scurtcircuit în punctul respectiv. Cu cât aceasta este mai mare, cu atât mai puternică este rețeaua și influențele sunt mai scăzute (în special căderea de tensiune) asupra consumatorilor vecini. Pentru rețelele de distribuție din multe țări, valorile tipice admisibile pentru curenții de pornire și, corespunzător, puterile nominale maxime admisibile pentru motoare cu pornire directă sunt indicate în **Tabelele N65 și N66** de mai jos.

Tipul de motor	Amplasare	Curentul maxim de pornire (A)	
		Rețea aeriană	Rețea subterană
Monofazat	Locuințe	45	45
	Altele	100	200
Trifazat	Locuințe	60	60
	Altele	125	250

Tab. N65: Valorile maxime admisibile pentru curenții de pornire în cazul motoarelor cu pornire directă alimentate la joasă tensiune (230/400 V).

Amplasare	Tipul de motor		
	Monofazat 230 V (kW)	Trifazat 400 V	
		Pornire directă la sarcină nominală (kW)	Alte metode de pornire ameliorată (kW)
Locuințe	1,4	5,5	11
Altele	Rețea aeriană	3	11
	Rețea subterană	5,5	22
			45

Tab. N66: Puterile nominale maxim admisibile pentru motoarele cu pornire directă alimentate la joasă tensiune.

Totuși, chiar în zonele alimentate de un singur furnizor, există porțiuni slabe și porțiuni puternice ale rețelei și, de aceea, este recomandabil ca, înainte de achiziționarea unui motor pentru un proiect nou, să se solicite acceptul furnizorului de electricitate.

Există și alte metode (în general, mai costisitoare) pentru pornirea motoarelor care generează curenți de pornire de valori sensibil mai mici; de exemplu, stea-triunghi, motoare cu inele, dispozitive electronice de pornire tip soft-starter, etc.

5.5 Compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere)

Metodele pentru compensarea energiei reactive sunt indicate în capitolul L.

Capitolul P

Zone rezidențiale și alte spații speciale

Cuprins		
1	Zone de locuit și similare	P2
	1.1 General	P2
	1.2 Componentele tablourilor de distribuție	P2
	1.3 Protecția persoanelor	P4
	1.4 Circuite	P6
	1.5 Protecția împotriva supratensiunilor și loviturilor de trăsnet	P7
2	Camere de baie și dușuri	P8
	2.1 Clasificarea zonelor	P8
	2.2 Legătura echipotențială	P11
	2.3 Cerințe pentru fiecare zonă	P11
3	Recomandări aplicabile instalațiilor și locațiilor speciale	P12

1 Zone de locuit și similare

Instalațiile electrice pentru zonele de locuit necesită un standard ridicat de siguranță și fiabilitate.

Autoritatea de distribuție a energiei electrice leagă punctul neutru de JT al transformatorului MT/JT la pământ. În consecință, toate instalațiile de JT trebuie protejate prin dispozitive RCD⁽¹⁾. Toate masele care, accidental pot fi puse sub tensiune, trebuie conectate împreună și la priza de pământ. **(1) RCD (Residual Current Device - Dispozitiv de curent diferențial rezidual).**

Calitatea echipamentului electric utilizat în locuințe se asigură printr-o marcă de conformitate situată pe placa frontală a fiecărui obiect.

1.1 General

Standarde de referință

Cele mai multe țări au reglementări și standarde naționale care cer respectarea strictă a regulamentelor privind proiectarea și realizarea instalațiilor electrice pentru zonele de locuințe sau similare. Standardul internațional în acest sens este publicația CEI 60364.

Rețeaua de alimentare

În majoritatea cazurilor, furnizorii de energie electrică leagă punctul de neutru pe partea de JT al transformatorului de distribuție MT/JT la pământ. Protecția la șocul electric al persoanelor depinde, în acest caz, de principiile enunțate în capitolul F. Măsurile de protecție necesare depind de tipul schemei de tratare a neutrlui aleasă, respectiv TT, TN sau IT.

Pentru instalațiile în scheme TT sau IT sunt esențiale utilizarea dispozitivelor RCD, în timp ce pentru întreruperea punerilor la pământ în schemele TN, sunt utilizate dispozitive ultrarapide. În orice caz, în situații deosebite sunt recomandate releele RCD pentru instalațiile alimentate în schema TN, fiind singurul mijloc de protecție la șocuri electrice, atunci când dintr-o priză se alimentează conductoare foarte lungi, de secțiune redusă.

1.2 Componentele tablourilor de distribuție (vezi Fig. P1)

Tablourile de distribuție (în general, unul singur în zonele de locuit) includ de obicei aparatul (aparatele) de măsură și, în unele cazuri (îndeosebi acolo unde autoritățile impun schema TT și/sau condiții de tarification care limitează consumul de curent la o valoare maximă permisă) un întreruptor automat cu protecție diferențială, care include un declanșator de supracurent. Acest întreruptor automat este accesibil pentru manevre și consumatorului.

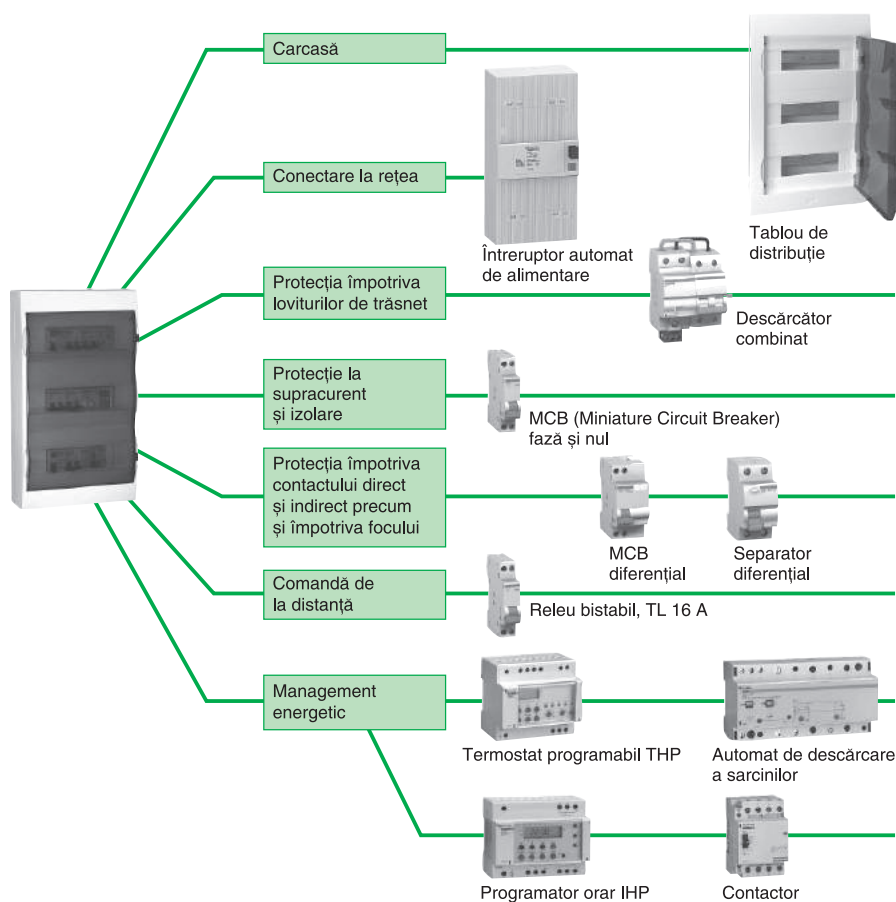


Fig. P1: Prezentarea componentelor unui tablou de distribuție.

1 Zone de locuit și similare



Fig. P3: Înterruptor automat sosire (de branșament).



Fig. P4: Tablou electric de distribuție și control.

Dacă, într-o schemă TT, valoarea corespunzătoare a 80Ω pentru rezistența de dispersie a prizei de pământ nu poate fi atinsă, atunci un RCD de 30 mA trebuie instalat pentru a prelua funcția de protecție împotriva punerii la pământ de la întreruptorul automat de alimentare.

La instalațiile cu legare la pământ în schema TN autoritățile protejează în mod obișnuit instalația printr-o siguranță sigilată, care este montată imediat în amonte de aparatele de măsură (vezi Fig. P2). Consumatorul nu are acces la aceste siguranțe.

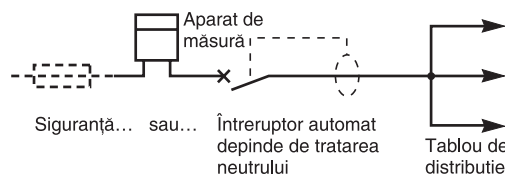


Fig. P2: Componente ale unui tablou electric de distribuție și control.

Înterruptorul automat principal sosire (de branșament) (vezi Fig. P3)

Consumatorului îi este permis, ca în caz de necesitate, să acționeze acest întreruptor (de exemplu pentru reanclanșare atunci când consumul de curent a depășit limita autorizată; pentru deconectare în caz de urgență sau în scopul realizării separației).

Declanșatorul diferențial al întreruptorului automat (de intrare) de alimentare trebuie reglat la 300 mA.

Dacă instalația este TT, priza de pământ trebuie să aibă rezistența de dispersie mai mică decât $R = \frac{50 \text{ V}}{300 \text{ mA}} = 166 \Omega$. În practică rezistența de dispersie a unei instalații

noi trebuie să fie mai mică decât $80 \Omega \left(\frac{R}{2} \right)$.

Tablou de distribuție și control (la consumator) (vezi Fig. P4)

Acest tablou cuprinde:

- un panou de comandă pe care este montat, acolo unde este cazul, întreruptorul automat sosire (de alimentare) și auxiliarele necesare;
- un panou de distribuție care conține 1, 2 sau 3 rânduri (pentru 24 module de Multi9) sau unități similare de întreruptoare automate sau siguranțe fuzibile, etc.;
- accesorii pentru fixarea conductoarelor și șinelor pentru montarea întreruptoarelor automate, soclurilor de siguranțe, barei de neutru și barei de legare la pământ, etc.;
- canale sau tuburi de protecție pentru cablurile de serviciu, montate aparent sau în canale de cablu încastate în perete.

Notă: pentru a facilita modificări ulterioare în instalație se recomandă păstrarea tuturor documentelor relevante (fotografii, scheme, caracteristici, etc.) într-un loc corespunzător din apropierea tabloului de distribuție.

Tabloul va fi instalat la o astfel de înălțime, încât butoanele de operare, cadranele indicatoare ale aparatelor de măsură să se situeze între 1 m și 1,80 m față de pardoseală (sau 1,30 m în situațiile care privesc persoane handicapate sau în vârstă).

Descărcătoare

Instalarea descărcătoarelor într-o instalație electrică de JT este recomandată în mod deosebit pentru acele instalații care conțin consumatori sensibili (ex. electronice). Aceste dispozitive trebuie să se autodeconecteze singure în mod automat în caz de defect, sau trebuie protejate de un MCB. În cazul instalațiilor din locuințe, utilizarea pe sosire a unui întreruptor automat cu diferențial de 300 mA, tip S (ușor temporizat) va furniza în mod efectiv protecția de punere la pământ și, în același timp, nu va declanșa de fiecare dată când descărcătorul va descărca un curent (sau o supratensiune tranzitorie) la pământ.

Rezistența de dispersie a prizei de pământ.

În cazul în care rezistența de dispersie a prizei de pământ depășește 80Ω , unul sau mai multe RCD-uri de 30 mA trebuie utilizate în locul protecției de punere la pământ a întreruptorului automat de sosire.

În schemele de alimentare cu energie electrică de tip TT se impune prin standard, pentru protecția persoanelor, utilizarea dispozitivelor RCD.

1.3 Protecția persoanelor

În schema de tratare a neutrlui TT protecția persoanelor este asigurată prin următoarele măsuri:

- Protecție contra atingerii indirecte prin RCD (vezi **Fig. P5**) de sensibilitate medie (300 mA), montate la intrarea instalației (încorporate în întreruptorul automat de intrare în tablou sau la intrarea alimentării în tabloul de distribuție). Această măsură se asociază cu instalarea unei prize de pământ la consumator la care se vor conecta conductoarele de protecție (PE) de la părțile conductoare expuse ale tuturor echipamentelor cu izolație de clasă I, precum și cele ale contactelor de legare la pământ ale tuturor prizelor;
- Atunci când întreruptorul automat de la intrarea instalației nu este prevăzut cu protecție RCD, protecția persoanelor va fi asigurată printr-un nivel de izolație clasă II, în toate circuitele situate în amonte de primele dispozitive RCD. În cazul în care tabloul de distribuție este metalic trebuie avut grijă ca toate părțile active să fie dublu izolate (distanțe de izolație sau izolații suplimentare, utilizarea capacelor, etc.) și cablurile să fie fixate în mod corespunzător;
- Protecția obligatorie prin dispozitive RCD sensibile (30 mA) a circuitelor de priză a circuitelor de alimentare a băilor, spălătoriilor, etc. (detalii în acest sens în tabelul de la subcapitolul 3 din acest capitol).

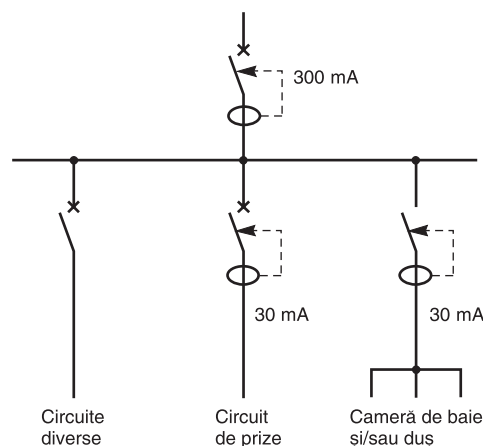


Fig. P5: Instalație cu întreruptorul automat de intrare echipat cu protecție diferențială instantanee.

Intreruptor automat de sosire prevăzut cu releu diferențial instantaneu

În acest caz:

- un defect de izolație la pământ poate duce la scoaterea din funcțiune a întregii instalații;
- acolo unde sunt instalate descărcătoare, funcționarea acestora (descărcarea unui întreruptor automat spre pământ) poate apărea pentru RCD ca o punere la pământ, având drept urmare scoaterea din funcțiune a instalației.

Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin

- întreruptor automat principal de sosire în tablou de 300 mA și
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, întreruptor automat diferențial 1P+N, tip DPNA Vigi) pe circuitele care alimentează prize de racord;
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, separator diferențial de sarcină tip RCCB-ID) pe circuitele aferente băilor, camerelor de duș, spălătorii, etc.) pentru circuitele de lumină, încălzire, prize de racord.

Întreruptor automat de sosire tip S cu releu diferențial temporizat (de bransament)

Acest tip de întreruptor automat oferă protecție la defectele de izolație față de pământ, însă datorită unei temporizări cu durată redusă, asigură un grad de selectivitate față de releul de curent rezidual (RCD) instantaneu din aval. Declanșarea întreruptorului de intrare în tablou și consecințele acesteia (asupra congelatoarelor, de exemplu) devine prin aceasta mai puțin probabilă în cazul unui trăsnet sau supratensiuni de altă natură. În acest fel, amorsarea la pământ a curentului datorat supratensiunii prin descărcător nu va afecta întreruptorul.

Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin (vezi Fig. P6)

- întreruptor automat principal de sosire în tablou (de bransament) de 300 mA cu diferențial de tip S și
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, întreruptor automat diferențial 1P+N, tip DPNA Vigi) pe circuitele care alimentează mașini de spălat rufe și mașini de spălat vase;
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, separator diferențial de sarcină tip RCCB-ID) pe circuitele aferente băilor, camerelor de duș, spălătorii, etc.) pentru circuitele de lumină, încălzire, prize de racord.

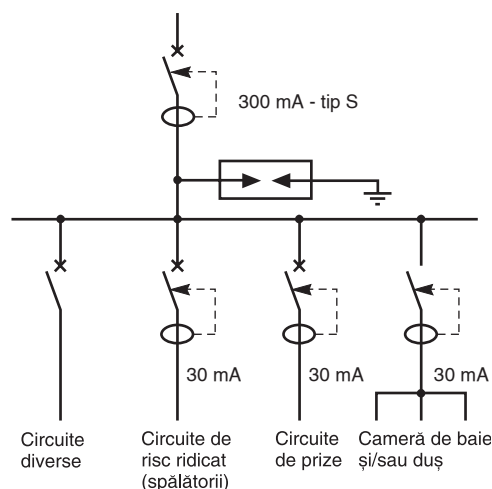


Fig. P6: Instalație cu întreruptorul automat de sosire cu protecție diferențială de tip S, cu temporizare redusă.

Întreruptor principal de intrare fără protecție diferențială

În acest caz, protecția persoanelor trebuie asigurată prin:

- nivel de izolație clasă II, până la bornele din aval ale dispozitivelor RCD;
- toate circuitele de plecare din tabloul de distribuție trebuie să fie protejate prin dispozitive RCD de 30 mA sau 300 mA, în conformitate cu tipul circuitului respectiv, așa cum s-a aratat în capitolul F. Acolo unde este instalat un descărcător, în amonte de tabloul de distribuție, pentru a proteja echipament electronic (ca: microprocesoare, înregistratoare video, televizoare, aparate de marcat, etc.) este imperativ ca dispozitivul să se deconecteze automat de la instalație în urma unei defectări (rară, dar întotdeauna posibilă). Unele dispozitive de acest tip utilizează elemente de înlocuire fuzibile, totuși metoda recomandată este de a utiliza un întreruptor automat (vezi Fig. P7).

Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin

În Fig. P7 se prezintă următoarele componente:

- 1 Întreruptor principal de intrare tablou, fără protecție diferențială.
- 2 Dispozitiv de deconectare automată (dacă este instalat un descărcător).
- 3 RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu întreruptor diferențial P+N, tip DPNA-Vigi) pe fiecare circuit care alimentează unul sau mai multe circuite tip priză.
- 4 RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu: separator diferențial de sarcină, tip ID) pe circuitele aferente băilor, camerelor de duș, etc. (iluminat, încălzire, prize de racord) sau câte un întreruptor diferențial de 30 mA pentru fiecare circuit.
- 5 RCD de tipul DDR-HS 300 mA (de exemplu separator diferențial de sarcină) pe toate celelalte circuite.

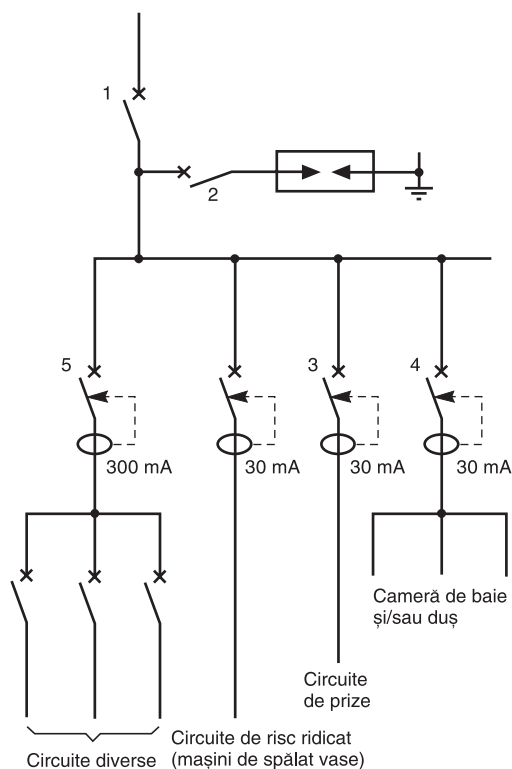


Fig. P7: Instalație cu întreruptorul automat de sosire fără protecție diferențială.

Ramificarea și separarea circuitelor asigură o exploatare comodă și facilitează o localizare rapidă a avariilor.

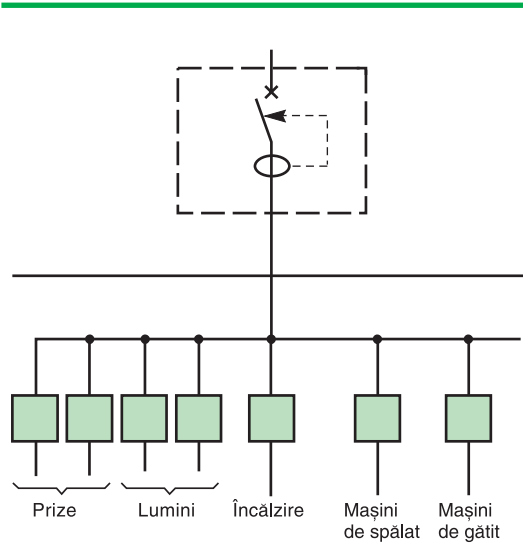


Fig. P8: Separarea circuitelor în funcție de utilizare.

Instalarea în toate circuitele (în special de forță) a unui conductor de protecție, este cerută de CEI și de multe standarde naționale.



Fig. P10: Întreruptor automat Fază + Nul, gabarit 2 x 9 mm.

1.4 Circuite

Subdivizarea circuitelor

În mod frecvent standardele naționale recomandă subdivizarea circuitelor în conformitate cu categoriile de utilizare din instalația respectivă (vezi Fig. P7):

- cel puțin 1 circuit pentru iluminat. Fiecare circuit alimentează maxim 8 locuri de lampă;
- cel puțin 1 circuit pentru prize racord de 10/16 A. Fiecare circuit alimentează maxim 8 prize de racord. Prizele pot fi elemente simple sau duble (un element dublu reunește două socluri de 10/16A montate pe un postament comun într-o cutie încastrată, identică cu cea a unui element simplu);
- 1 circuit pentru fiecare echipament electric (încălzitor electric de apă, mașină de spălat rufe, mașină de spălat vase, mașină electrică de gătit, frigider, etc.). În tabelul de mai jos sunt indicate numărul recomandat de prize de racord de 10/16 A (sau simple) și numărul de locuri de lampă, în funcție de utilitățile diferitelor camere din locuința avută în vedere.

Destinația încăperii	Numărul minim de locuri de lampă	Numărul minim de prize de racord 10/16 A
Living, sufragerie	1	5
Dormitor, hol, birou, loc de luat masa	1	3
Bucătărie	2	4 ⁽¹⁾
Camera de baie/duș	2	1 sau 2
Hol intrare, garderoba	1	1
WC, spații de depozitare	1	-
Spălătorie	-	1

(1) Din care 2 deasupra suprafețelor de lucru și 1 pentru un circuit specializat; în plus, o priză independentă de 16 A sau 20 A pentru mașina electrică de gătit și o cutie de jonctiune sau o priză pentru un circuit special de 32 A.

Tab. P9: Numărul minim de locuri de lampă și prize în aplicațiile casnice.

Conductoare de protecție

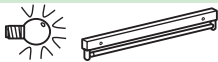






CEI și cele mai multe standarde naționale cer ca fiecare circuit să includă un conductor de protecție. Această uzanță este recomandată cu precădere acolo unde sunt instalate echipamente și aparate electrocasnice izolate de clasă I, care reprezintă cazul general. Conductoarele de protecție trebuie să fie conectate la contactul de legare la pământ a fiecărei prize de racord, iar bornele de legare la pământ ale echipamentului izolat de clasă I, la borna principală de legare la pământ a instalației. În plus, prizele de racord de 10/16A (sau de valori similare) trebuie prevăzute cu orificii de contact obturabile (cu clapetă).

Secțiunea conductoarelor (vezi Fig. P10)

Secțiunea conductoarelor și curentul nominal al dispozitivului de protecție asociat, depind de mărimea curentului din circuit, de temperatura mediului, de genul instalației și de influența circuitelor din apropiere (menționate în capitolul G). În plus, conductoarele de fază, de neutru și de protecție aferente unui circuit, trebuie să fie de aceeași secțiune (presupunând că se utilizează același material conductor, adică cupru sau aluminiu).

1 Zone de locuit și similare

Tabelul P11 indică secțiunea necesară pentru aparatele electrocasnice de uz general. Dispozitivele de protecție pentru Fază + Nul de dimensiune 2 x 9 mm, satisfac cerințele pentru izolație precum și pentru marcarea curentului nominal al circuitului și a dimensiunilor conductorului.

Circuit monofazat 230 V, F + N sau F + N + P		Secțiunea conductorilor	Puterea maximă	Dispozitiv de protecție
Loc de lampă fix		1,5 mm ² (2,5 mm ²)	2.300 W	Întreruptor automat 16 A Fuzibil 10 A
10/16 A		2,5 mm ² (4 mm ²)	4.600 W	Întreruptor automat 25 A Fuzibil 20 A
Circuite cu sarcini individuale, 10/16 A				
Boiler		2,5 mm ² (4 mm ²)	4.600 W	Întreruptor automat 25 A Fuzibil 20 A
Mașină de spălat vase		2,5 mm ² (4 mm ²)	4.600 W	Întreruptor automat 25 A Fuzibil 20 A
Mașină electrică de gătit		2,5 mm ² (4 mm ²)	4.600 W	Întreruptor automat 25 A Fuzibil 20 A
Cuptor sau mașină electrică de gătit ⁽¹⁾		6 mm ² (10 mm ²)	7.300 W	Întreruptor automat 40 A Fuzibil 32 A
Aparat de încălzit electric		1,5 mm ² (2,5 mm ²)	2.300 W	Întreruptor automat 16 A Fuzibil 10 A

(1) Pentru un circuit trifazic 230/400 V, secțiunea conductorilor este de 4 mm² pentru cupru și 6 mm² pentru aluminiu, iar pentru protecție se utilizează întreruptor automat 32 A sau fuzibili de 25 A.

Tab. P11: Secțiunea conductorilor și curentul nominal al dispozitivelor de protecție în instalațiile casnice (secțiunea conductorilor de aluminiu este arătată în paranteze).

1.5 Protecția împotriva supratensiunilor și loviturilor de trăsnet

Alegerea descărcătoarelor este arătată în capitolul J.

Reguli de instalare

În acest sens, trebuie respectate trei reguli de instalare:

1 Este absolut necesar ca fiecare din cele trei lungimi de conductoare utilizate pentru instalarea descărcătorului să fie mai mică de 50 cm, adică:

- conductoarele sub tensiune conectate la separatorul de izolare;
- conductorul de la separatorul de izolare la descărcător;
- conductorul de la descărcător spre priza de pământ a tabloului de distribuție principal (TP) (a nu se confunda cu conductorul de protecție principal (PE) sau cu borna prizei principale de pământ, aferentă instalației). Bara de legare la pământ a tabloului de distribuție principal și descărcătorul trebuie să fie localizate în același panou.

2 Este necesară utilizarea unui separator de izolare de tipul recomandat de fabricantul descărcătorului în vederea unei bune continuități a alimentării.

3 Se recomandă ca întreruptorul de putere ce protejează descărcătorul să fie de tipul temporizat sau selectiv.

2 Camere de baie și dușuri

Camerele de baie și cele de dușuri sunt zone de risc înalt, din cauza rezistenței foarte mici a corpului uman, atunci când este umed sau cufundat în apă. În consecință, precauțiile care trebuie luate sunt riguroase, iar reglementările sunt mult mai severe decât acelea pentru alte amplasamente.

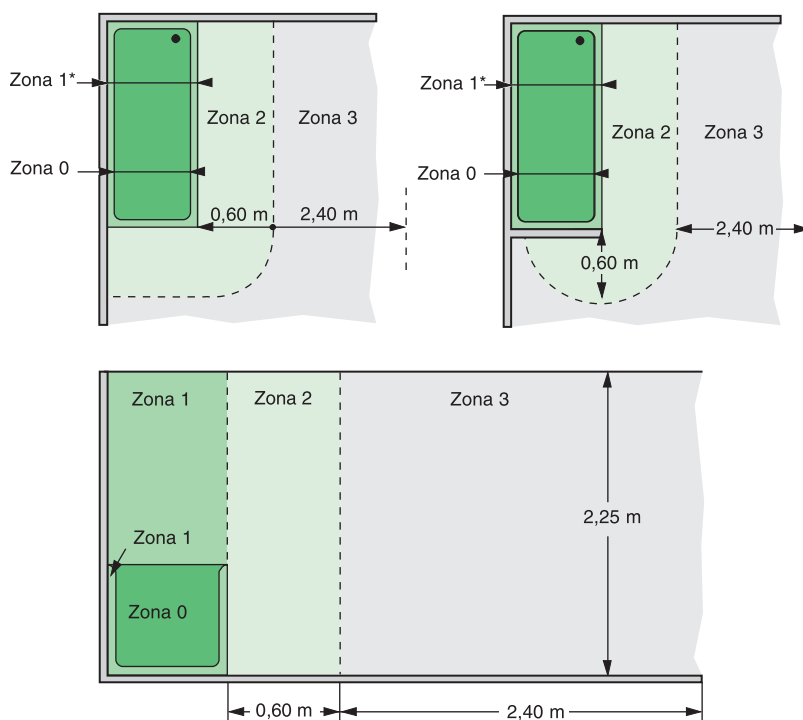
Standardul relevant în acest domeniu este CEI 60364-7-701.

Precauțiile de respectat se bazează pe trei aspecte:

- definirea zonelor, numerotate 0, 1, 2 și 3 în care plasarea (sau excluderea) oricărui aparat electric este strict limitată sau interzisă și, acolo unde este permisă, este obligatorie protecția electrică și mecanică;
- stabilirea unei legături echipotențiale între toate părțile metalice expuse și cele exterioare din zona respectivă;
- stricta respectare a cerințelor permise pentru fiecare zonă specifică, așa cum rezultă din tabelul de la subcapitolul 3.

2.1 Clasificarea zonelor

Subcapitolul 701.32 al CEI 60364-7-701 definește zonele 0, 1, 2 și 3 așa cum este indicat în schițele următoare (vezi **Fig. P12** până la **Fig. P18**).



(*) Zona 1 este deasupra căzii așa cum este arătat în secțiunea verticală.

Fig. P12: Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unei căzi de baie.

2 Camere de baie și dușuri

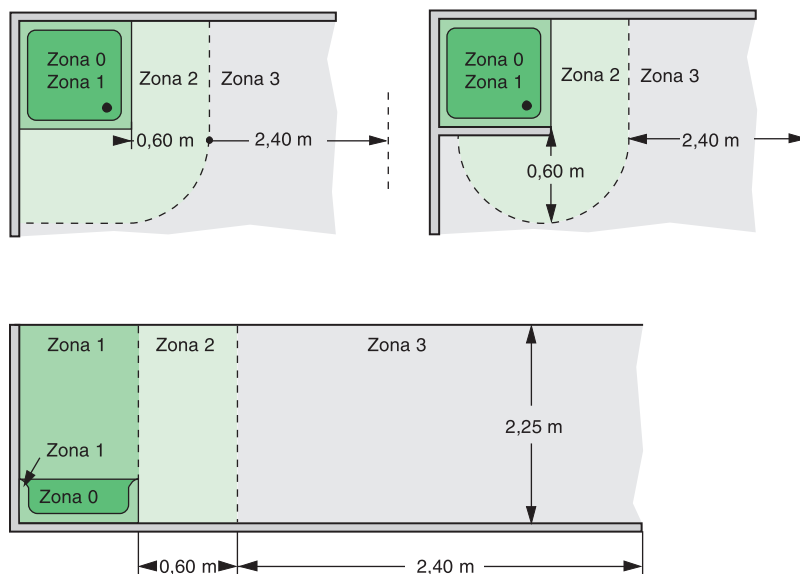
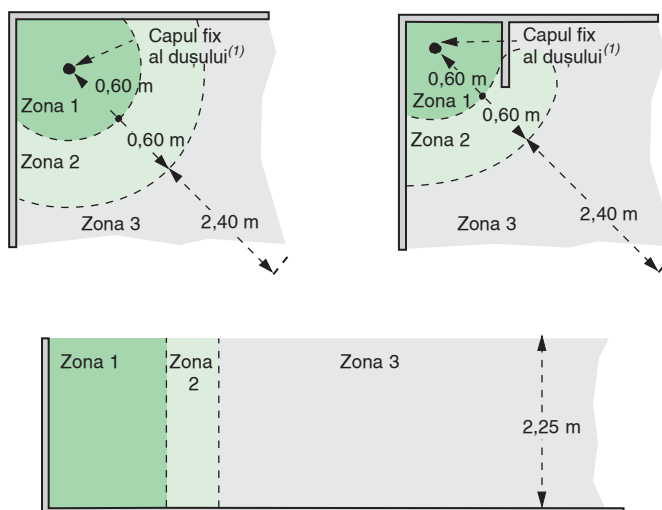


Fig. P13: Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unui duș cu cădiță.



(1) Când capul fix al dușului este la capătul unui tub flexibil, axa centrală verticală trece prin capătul fix al tubului flexibil.

Fig. P14: Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unui duș fără cădiță.

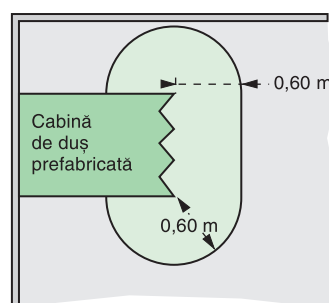


Fig. P15: Nici o priză sau întrerupător nu sunt permise la 60 de cm de ușa unei cabine de duș prefabricate.

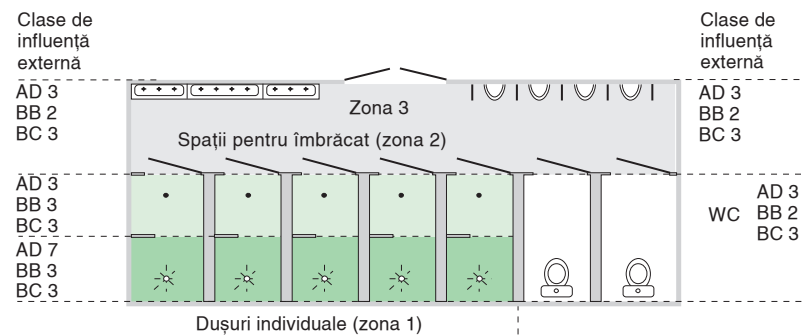


Fig. P16: Dușuri comune cu spații pentru îmbrăcat comune.

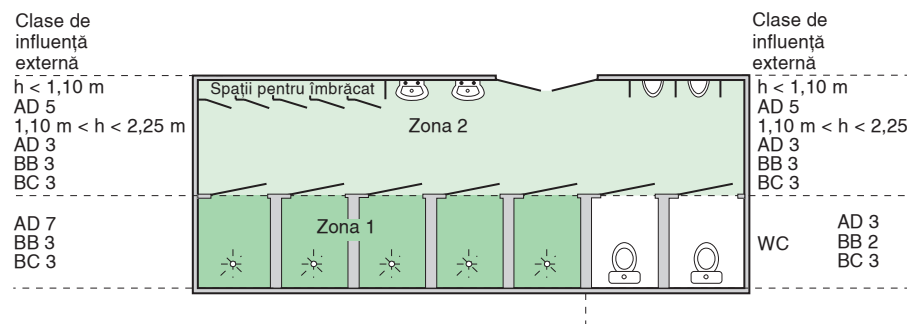


Fig. P17: Dușuri individuale cu spații separate pentru îmbrăcat.

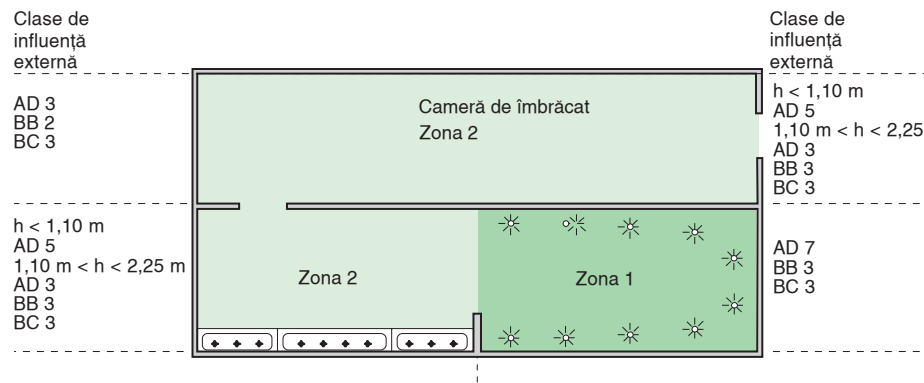


Fig. P18: Dușuri comune cu spații pentru îmbrăcat comune.

Notă: Pentru clasele de influență externă vezi Fig. E46.

2.2 Legătura echipotențială (vezi Fig. P19)

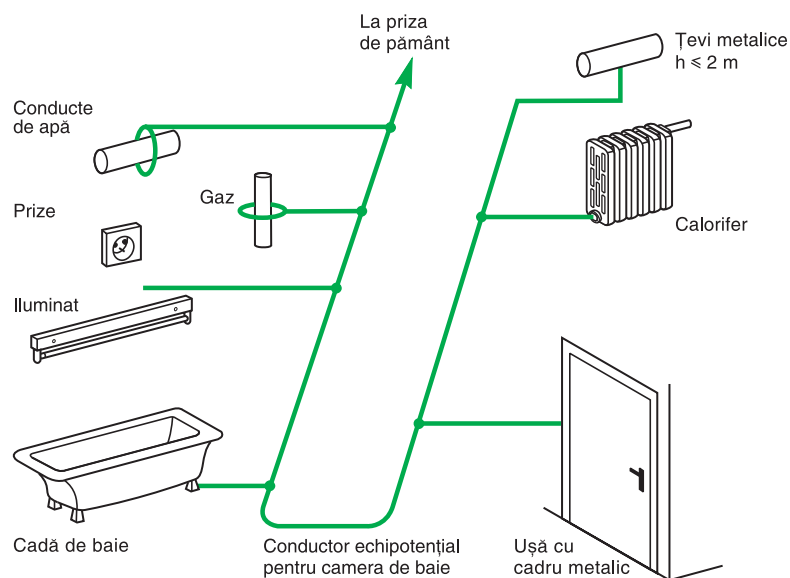


Fig. P19: Centura suplimentară echipotențială într-o cameră de baie.

2.3 Cerințe pentru fiecare zonă

Tabelul de la capitolul 3 descrie aplicarea principiilor menționate mai sus.

3 Recomandări aplicabile instalațiilor și locațiilor speciale

Tabelul P20 de mai jos sintetizează principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale.

Notă: Secțiunile în paranteze se referă la secțiuni ale standardului CEI 60364-7.

Locația	Principiul protecției	Nivel IP	Cablaj și conductoare	Aparataj de comutație	Circuit de prize	Materiale de instalații
Spații de locuit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sistem TT sau TN-S ■ Protecție diferențială □ 300 mA dacă rezistența de dispersie a prizei de pământ este $\leq 80 \Omega$ sau temporizată de tip S □ 30 mA dacă rezistența de dispersie a prizei de pământ este $\geq 500 \Omega$ ■ Descărcători în amonte instalației dacă: <ul style="list-style-type: none"> □ alimentarea este printr-o rețea aeriană cu conductoare clasice □ indicele keraunic > 25 ■ Conductor de protecție (PE) pentru toate circuitele 	20		Manete de operare ale aparatelor de comutație, precum și dispozitive similare montate în tabloul electric între 1 m și 1,8 m deasupra solului	Protecție prin RCD de 30 mA	
Camere de baie sau dușuri (secțiunea 701)	Centură suplimentară echipotențială în zonele 0, 1, 2 și 3					
Zona 0	Numai TFJS 12 V	27	Clasă II strict limitată			Aplicații speciale
Zona 1	TFJS 12 V	25	Clasă II strict limitată			Aplicații speciale Încălzirea apei
Zona 2	TFJS 12 V sau RCD 30 mA	24	Clasă II strict limitată			Aplicații speciale Încălzirea apei Corpuri de iluminat clasă II
Zona 3		21		Numai prize protejate de: <ul style="list-style-type: none"> ■ RCD 30 mA sau ■ Separație electrică, sau ■ TFJS 50 V 		
Spații pentru inot (secțiunea 702)	Centură suplimentară echipotențială în zonele 0, 1 și 2					
Zona 0	TFJS 12 V	28	Clasă II strict limitată			Aplicații speciale
Zona 1		25	Clasă II strict limitată			Aplicații speciale
Zona 2		22 (înauntru) 24 (afară)		Numai prize protejate de: <ul style="list-style-type: none"> ■ RCD 30 mA sau ■ Separație electrică, sau ■ TFJS 50 V 		
Saună (secțiunea 703)		24	Clasă II			Adaptate temperaturii
Ateliere (secțiunea 704)	Tensiunea U_L redusă la 25 V	44	Protejate mecanic		Protecție prin RCD de 30 mA	
Agricultură, horticultură (secțiunea 705)	Tensiunea U_L redusă la 25 V Protecție antiincendiu cu RCD, 500 mA	35			Protecție prin RCD de 30 mA	
Locații constructive (secțiunea 706)		2x				Protecția: <ul style="list-style-type: none"> ■ Uneltelor portabile: <ul style="list-style-type: none"> □ TFJS sau □ separație electrică ■ Lămpilor portabile: <ul style="list-style-type: none"> □ TFJS ■ Echipamentelor fixe: <ul style="list-style-type: none"> □ TFJS □ separație electrică □ RCD de 30 mA □ centură suplimentară echipotențială

Notă: TFJS - Tensiune Foarte Joasă de Siguranță.

Tab. P20: Principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale (continuare pe pagina următoare).

3 Recomandări aplicabile instalațiilor și locațiilor speciale

Locația	Principiul protecției	Nivel IP	Cablaj și conductoare	Aparataj de comutație	Circuit de prize	Materiale de instalații
Fântâni (secțiunea 702)	Protejate prin RCD 30 mA și centură echipotențială pentru părțile expuse și conductoare					
Procesare date (secțiunea 707)	Sistem TN-S recomandat Sistem TT dacă curentul de scurgere este limitat. Conductor de protecție min. 10 mm ² (aluminiiu). Mărimile mai mici (cupru) trebuie dublate					
Parcări (secțiunea 708)		55	Cabluri flexibile de 25 m lungime		Prizele trebuie plasate la înălțimi cuprinse între 0,8 și 1,50 m de sol Protecție prin RCD de 30 mA (unul pentru 6 locuri de priză)	
Ambarcațiuni și vase de plăcere (secțiunea 709)	Lungimea cablurilor pentru alimentarea acestora nu trebuie să depășească 25 m				Protecție prin RCD de 30 mA (unul pentru 6 locuri de priză)	
Spații medicale (secțiunea 710)	Sistem medical IT Centură echipotențială				Protecție prin RCD 30 mA	
Expoziții, standuri (secțiunea 711)	Sistem TT sau TN-S	4x			Protecție prin RCD de 30 mA	
Balneoterapie (tratamente)	Individuală: vezi secțiunea 701 (volumele 0 și 1) Colectivă: vezi secțiunea 702 (volumele 0 și 1)					
Stații alimentare cu carburant	Riscuri de explozie		Limitată la minim necesar			
Motoare de vehicule	Protejate prin RCD sau separare electrică					
Instalații de iluminat exterior (secțiunea 714)		23			Protecție prin RCD de 30 mA	
Unități mobile sau transportabile (secțiunea 717)	Utilizarea sistemului TN-C nu este permisă în aceste unități				Protecție prin RCD de 30 mA pentru prizele alimentând echipamentul exterior acestora	

Tab. P20: Principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale (sfârșit).

Capitolul Q

Ghid pentru Compatibilitate Electromagnetică (EMC)

Cuprins

1	Distribuție electrică	Q2
2	Principiile și structura sistemelor de legare la pământ	Q3
3	Implementare	Q5
	3.1 Legături echipotențiale în interiorul și în exteriorul clădirilor	Q5
	3.2 Îmbunătățirea condițiilor de echipotențialitate	Q5
	3.3 Separarea cablurilor	Q7
	3.4 Pardoseli false	Q7
	3.5 Instalarea (pozarea) cablurilor	Q8
	3.6 Instalarea cablurilor ecranate	Q11
	3.7 Rețele de comunicație	Q11
	3.8 Instalarea descărcătoarelor	Q12
	3.9 Cablarea tabloului electric	Q13
	3.10 Standarde	Q13
4	Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare	Q14
	4.1 Generalități	Q14
	4.2 Cuplajul impedant de mod comun	Q15
	4.3 Cuplajul capacitiv	Q16
	4.4 Cuplajul inductiv	Q17
	4.5 Cuplajul radiant	Q18
5	Recomandări pentru realizarea cablării	Q20
	5.1 Clase de semnal	Q20
	5.2 Recomandări pentru realizarea cablării	Q20

Sistemul de tratare a neutrului trebuie ales astfel încât să se asigure siguranța persoanelor și a bunurilor. Comportarea acestor tipuri de sisteme din punct de vedere al compatibilității electromagnetice (EMC) trebuie de asemenea luată în considerare. **Tabelul Q1** prezintă o recapitulare a caracteristicilor lor principale. Standardele europene (a se vedea EN 50174-2 § 6.4 și EN 50310 § 6.3) recomandă sistemul TN-S care prezintă cele mai mici probleme din punct de vedere al EMC pentru instalații care conțin echipamente de tehnica informației (inclusiv echipamente de telefonie).

	TT	TN-S	IT	TN-C
Siguranța persoanelor	Bună Dispozitive de curent diferențial rezidual	Bună Continuitatea conductorului de protecție, PE, trebuie asigurată în întreaga instalație		
Siguranța bunurilor	Bună Curenți de defect de valori medii (< câțiva zeci de amperi)	Slabă Curenți de defect mari (cca. 1 kA)	Bună Curenți de defect mici în cazul primului defect (< câțiva zeci de miliamperi), dar mari în cazul celui de-al doilea defect	Slabă Curenți de defect mari (cca. 1 kA)
Continuitatea în furnizarea energiei	Bună	Bună	Excelentă	Bună
Comportarea din punct de vedere al compatibilității electromagnetice	Bună ■ Risc de supratensiuni ■ Probleme de echipotențialitate ■ Necesită utilizarea dispozitivelor cu curenți mari de scurgere la pământ	Excelent ■ Puține probleme de echipotențialitate ■ Necesită utilizarea dispozitivelor cu curenți mari de scurgere la pământ ■ Curenți de defect de valori mari (perturbații tranzitorii)	Slabă (de evitat) ■ Risc de supratensiuni ■ Pentru tensiuni fază-fază trebuie utilizate filtre de mod comun și descărcătoare ■ Dispozitivele de curent diferențial rezidual pot declanșa intempestiv în cazul existenței unor condensatoare cuplate în mod comun ■ Echivalent cu sistemul TN în cazul celui de-al doilea defect	Slabă (nu ar trebui utilizată niciodată) ■ Nulul de lucru și cel de protecție sunt unul și același ■ Circulația curenților armonici din părțile conductoare active ale instalației (radiații mari ale câmpului magnetic) ■ Curenți de defect de valori mari (perturbații tranzitorii)

Tab. Q1: Principalele caracteristici ale diferitelor sisteme de tratare a neutrului.

În cazul în care o instalație cuprinde echipamente de puteri mari (motoare, aparate pentru aer condiționat, lifturi, electronică de putere, etc.) este bine să se instaleze unul sau mai multe transformatoare, special pentru aceste echipamente. Distribuția electrică trebuie organizată în sistemul de conexiune stea, iar toate circuitele de plecare trebuie să fie alimentate din tabloul general de joasă tensiune (TGJT). Sistemele electronice (de comandă/monitorizare, reglare, instrumente de măsurare, etc.) trebuie alimentate cu ajutorul unui transformator dedicat, în sistemul TN-S. **Figura Q2** de mai jos prezintă aceste recomandări.

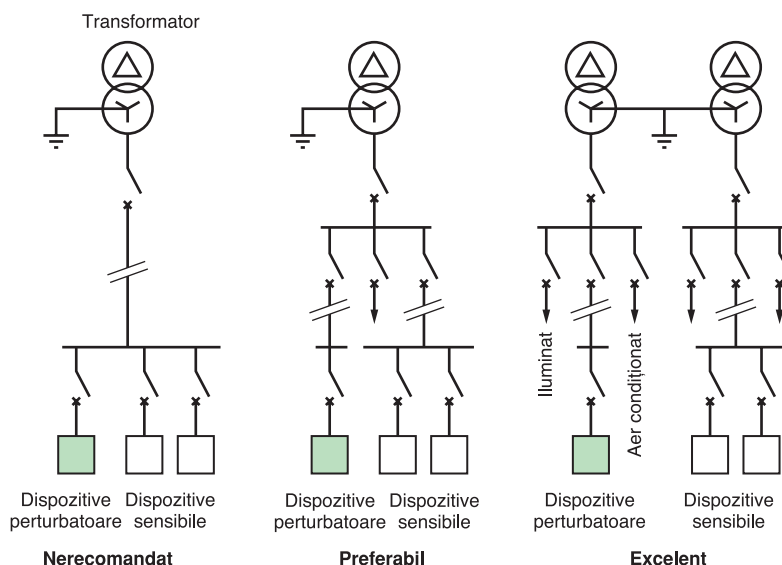


Fig. Q2: Recomandări referitoare la separarea distribuției.

2 Principiile și structura sistemelor de legare la pământ

Această secțiune se referă la sistemul de legare la pământ și la legăturile echipotențiale ale dispozitivelor de tehnică a informației și a altor dispozitive similare care impun interconectări în scop de semnalizare.

Rețelele de legare la pământ sunt proiectate să îndeplinească un număr de funcțiuni. Ele pot fi independente sau pot funcționa împreună pentru a realiza una sau mai multe din următoarele:

- siguranța persoanelor din punct de vedere al accidentelor de natură electrică;
- protecția echipamentelor din punct de vedere al accidentelor de natură electrică;
- o valoare sigură de referință pentru semnale de înaltă calitate;
- performanțe satisfăcătoare din punct de vedere al EMC.

Sistemul de tratare al neutrului este în general proiectat și realizat în vederea obținerii unei impedențe scăzute în fața diversilor curenți de defect și ai curenților de scurgere de înaltă frecvență ai dispozitivelor și sistemelor electronice. Există diferite tipuri de sisteme de tratare a neutrului, însă, unele dintre acestea impun condiții speciale de îndeplinit. Aceste condiții nu sunt totdeauna îndeplinite în instalațiile tipice. Recomandările prezentate în această secțiune se referă la astfel de instalații.

În cazul instalațiilor profesionale și industriale, poate fi necesară o rețea comună de echipotențialitate (CBN) pentru a se asigura performanțe mai bune din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, cu referire la următoarele puncte:

- sisteme digitale și tehnologii noi;
- conformitatea cu cerințele de compatibilitate electromagnetică ale EEC 89/336 (emisie și imunitate);
- o gamă largă de aplicații;
- un nivel ridicat de siguranță, securitate, încredere și/sau disponibilitate.

În cazul aplicațiilor casnice totuși, acolo unde utilizarea dispozitivelor electrice este limitată, o rețea de echipotențialitate izolată (IBN) sau, mai bine, o rețea de echipotențialitate izolată în formă de plasă poate fi o soluție.

Este de acum recunoscut faptul că, prizele de pământ independente, dedicate, realizate fiecare pentru câte un sistem de legare la pământ separat sunt o soluție de neacceptat din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, și reprezintă de asemenea un risc serios privind siguranța. În anumite țări, reglementările naționale în construcții interzic astfel de sisteme.

Utilizarea unei rețele de legare la pământ "curate" pentru echipamentele electronice și a uneia "poluată" pentru scopuri pur electrice nu este de recomandat în vederea obținerii unei compatibilități electromagnetice corecte, chiar dacă este utilizată doar o singură priză de pământ (vezi **Fig. Q3** și **Fig. Q4**). În eventualitate unei lovituri de trăsnet, prin instalație pot circula curenți de defect sau perturbații de înaltă frecvență sub forma unor curenți tranzitorii. În consecință, pot apărea tensiuni tranzitorii care să genereze căderi sau deteriorări ale instalației. Dacă exploatarea și întreținerea instalației sunt realizate adecvat, această soluție poate fi acceptabilă, dar în general nu este potrivită din punct de vedere al compatibilității electromagnetice și nu este recomandată pentru uz general.

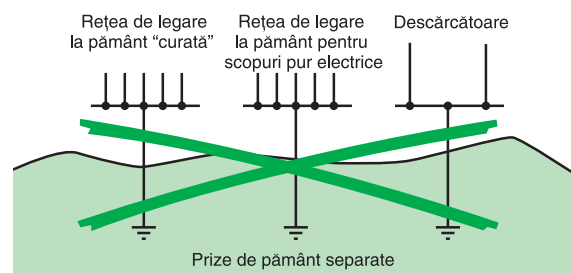


Fig. Q3: Prize de pământ independente, o soluție în general neacceptată din motive de siguranță și de compatibilitate electromagnetică.

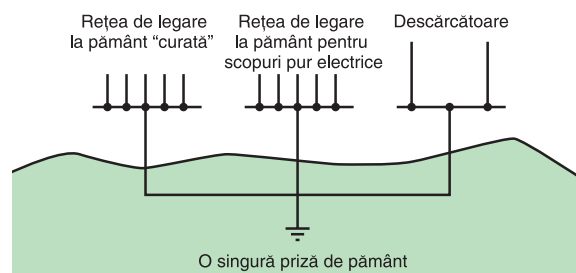


Fig. Q4: Instalație cu o singură priză de pământ.

2 Principiile și structura sistemelor de legare la pământ

Configurațiile recomandate pentru rețelele de legare la pământ și pentru prizele de pământ sunt două sau trei (vezi **Fig. Q5**). Această abordare este recomandabilă pentru uz general, atât din punct de vedere al siguranței cât și al compatibilității electromagnetice. Aceasta nu exclude, însă, alte configurații speciale care, corect întreținute, pot fi, de asemenea, adecvate.

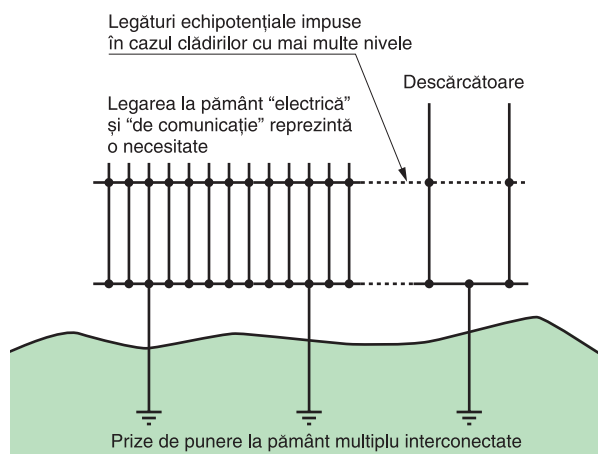


Fig. Q5: Instalație cu prize de pământ multiple.

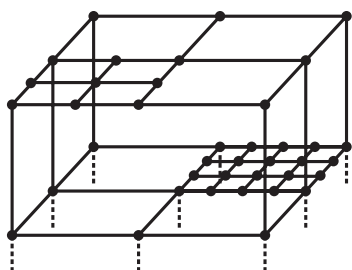


Fig. Q6: Fiecare nivel are o plasă iar plasele sunt interconectate în câteva puncte între nivele. Anumite plase de la parter sunt întărite pentru a îndeplini cerințele din diferite zone.

În cazul instalațiilor tipice pentru clădiri cu mai multe nivele, fiecare nivel ar trebui să aibă propria sa rețea de legare la pământ (în general din plasă), iar toate aceste rețele trebuie să fie deopotrivă interconectate și conectate la priza de pământ. Se impun cel puțin două conectări (construite în redundanță) pentru a se asigura faptul că, dacă unul din conductoare se întrerupe, nici o parte a instalației nu va rămâne izolată.

Practic vorbind, pentru a se obține o simetrie mai bună în ceea ce privește circulația de curenți sunt realizate mai mult de două conectări, reducându-se astfel diferențele în tensiune și în impedanța totală între diferitele nivele ale clădirii.

Mai multe căi paralele au frecvențe de rezonanță diferite. Dacă una dintre căi are o impedanță de valoare mai mare, aceasta va fi, probabil șuntată de cealaltă cale având o frecvență diferită de rezonanță. Prin urmare, considerând un spectru larg de frecvențe (zeci de Hz până la MHz), un număr mare de căi determină un sistem de impedanță scăzută (vezi **Fig. Q6**).

Fiecare cameră din clădire trebuie să aibă conductoare de legare la pământ pentru legăturile echipotențiale ale dispozitivelor sau sistemelor, canalelor de cabluri, sistemelor de bare și structură. Acest sistem poate fi întărit prin conectarea de tuburi din metal, de jgheaburi, de suporti, schelete metalice, etc. În cazuri speciale precum cele ale camerelor de comandă sau a calculatoarelor instalate pe pardoseli false pot fi utilizate suprafețe plane de referință sau benzi de legare la pământ pentru îmbunătățirea legării la pământ a dispozitivelor sensibile și a cablurilor de protecție interconectate.

3 Implementare

3.1 Legături echipotențiale în interiorul și în exteriorul clădirilor

Scopurile fundamentale ale legării la pământ și ale legăturilor echipotențiale constau în următoarele:

- Siguranță

Prin limitarea tensiunii de atingere și prin crearea traseului de întoarcere a curenților de defect.

- Compatibilitate electromagnetică (EMC)

Prin evitarea diferențelor de potențial și crearea efectului de ecranare.

Curenții vagabonzi se propagă în mod inevitabil prin rețeaua de împământare. Pe de altă parte, este imposibil să se elimine toate sursele generatoare de perturbații dintr-o rețea. Buclele de punere la pământ sunt, de asemenea, inevitabile. Când un câmp magnetic afectează o zonă de rețea, de exemplu, un câmp creat de loviturile de trăsnet, diferențele de potențial apar în bucle create de către diferite conductoare, iar curenții circulă prin întregul sistem de legare la pământ. În consecință rețeaua de legare la pământ este direct afectată de către măsura luată în exteriorul clădirii. Atât timp cât curenții circulă prin rețeaua de legare la pământ și nu prin circuitele electronice, aceștia nu produc nici o pagubă. Totuși, atunci când rețelele de legare la pământ nu sunt echipotențiale, de exemplu, atunci când ele sunt conectate în stea către priza de pământ, curenții vagabonzi de înaltă frecvență vor circula peste tot unde este posibil, inclusiv prin conductoarele de comandă. Echipamentele pot fi perturbate, afectate sau chiar distruse.

Singurul mijloc mai puțin costisitor de a micșora curenții prin sistemul de legare la pământ și de a menține caracteristici satisfăcătoare de echipotențialitate este de a interconecta rețelele de legare la pământ. Aceasta contribuie la realizarea unor legături echipotențiale mai bune în sistemul de legare la pământ, dar nu elimină necesitatea unor conductoare de protecție. Pentru a îndeplini cerințele legale referitoare la siguranța persoanelor, între fiecare echipament și borna de împământare trebuie să existe conductoare de protecție ușor identificabile și corect dimensionate. Suplimentar, cu excepția clădirilor cu structură metalică, un număr mare de conductoare de la descărcătoare sau de la rețele de protecție împotriva loviturilor de trăsnet trebuie să fie conectate direct la priza de pământ.

Diferența fundamentală dintre un conductor de protecție (PE) și conductorul de coborâre al descărcătoarelor este aceea că primul conduce curenții interni către neutrul transformatorului MT/JT în timp ce al doilea conduce curenți externi (din afara instalației) către priza de pământ.

Într-o clădire, este recomandabil să se conecteze sistemul de legare la pământ la toate structurile conductoare accesibile, și anume: benzi metalice, rame de uși, țevi, etc. În general, este suficient să se conecteze barele metalice capsulate, canalele de cabluri, țevile, tubulatura de ventilație, etc. în cât mai multe puncte posibile. În locurile în care există o cantitate mare de echipamente iar dimensiunea plasei rețelei de legare la pământ este mai mare de patru metri, trebuie adăugat un conductor de echipotențialitate. Dimensiunea și tipul conductorului nu sunt de importanță majoră. Este imperativ necesar să se conecteze rețelele de legare la pământ în cazul clădirilor care au conexiuni de cabluri. Interconectarea rețelelor de legare la pământ trebuie să se realizeze cu ajutorul unui număr de conductoare și a tuturor structurilor metalice interne ale clădirilor sau al celor care leagă clădirile (cu condiția să asigure continuitatea electrică).

Într-o clădire dată, diferitele rețele de legare la pământ (electronice, de calculatoare, de telecomunicație, etc.) trebuie să fie interconectate pentru a alcătui o singură rețea echipotențială de legare la pământ.

Această rețea de legare la pământ trebuie să aibă cât mai multe bucle. Dacă rețeaua de împământare este echipotențială diferențele de potențial între dispozitivele de comunicație vor fi scăzute, iar un număr mare de probleme de compatibilitate electromagnetică vor dispărea. Diferențele de potențial sunt, de asemenea, reduse în eventualitatea unui defect de izolație sau a unei supratensiuni de origine atmosferică.

Dacă condițiile de echipotențialitate dintre clădiri nu pot fi îndeplinite sau dacă distanța dintre clădiri este mai mare de 10 m, pentru legăturile de comunicație este recomandat să se utilizeze fibră optică, iar pentru măsurări și sisteme de comunicație, izolatori galvanici.

Aceste măsuri sunt obligatorii dacă furnizorul de electricitate utilizează sistemele de tratare a neutrului IT sau TN-C.

3.2 Îmbunătățirea condițiilor de echipotențialitate

Rețele de echipotențialitate

Chiar și în cazul unei rețele de echipotențialitate ideale realizate din foi sau plase metalice experiența arată faptul că, pentru majoritatea perturbațiilor, o plasă de cca. 3 metri este suficientă pentru realizarea unei rețele de echipotențialitate.

Exemple de diferite rețele de echipotențialitate sunt prezentate în **Figura Q7**.

Structura minimă recomandată cuprinde un conductor (de exemplu un cablu sau o bandă de cupru) care înconjoară camera.

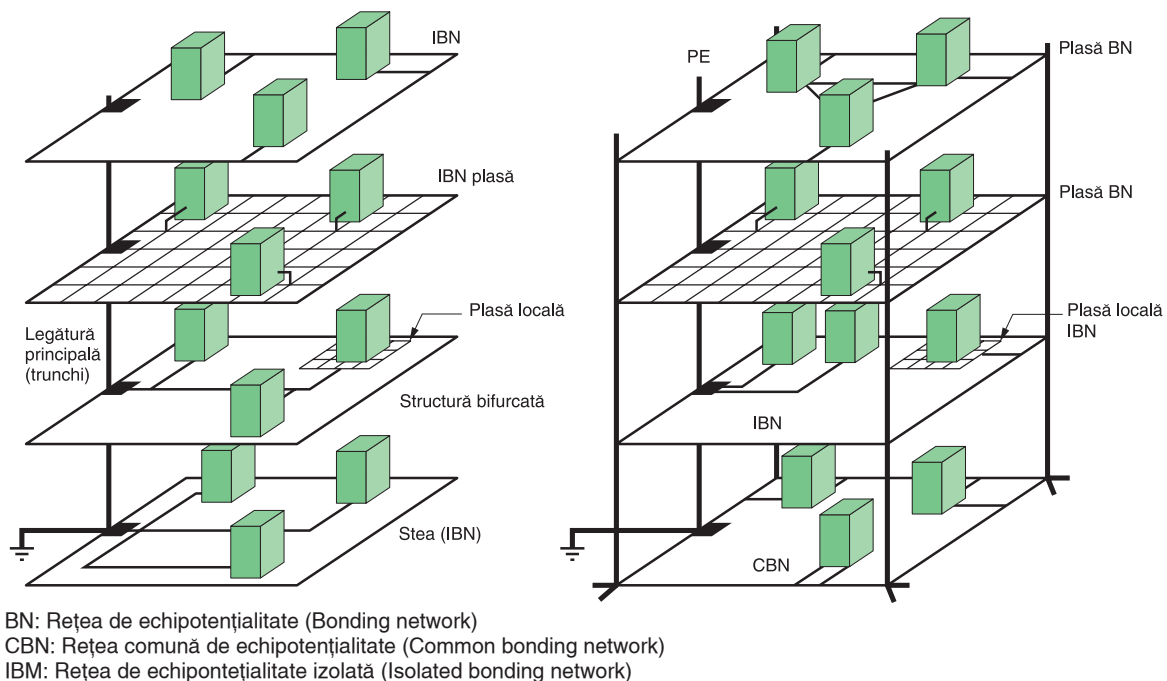


Fig. Q7: Exemple de rețele de echipotențialitate.

Lungimea conexiunilor dintre un element de structură și rețeaua de echipotențialitate nu trebuie să depășească 50 cm și o conexiune suplimentară trebuie instalată în paralel la o anumită distanță de prima. Inductanța conexiunii dintre bara de împământare a tabloului electric aferent unui set de echipamente și rețeaua de echipotențialitate (a se vedea mai jos) va fi mai mică de $1 \mu\text{H}$ ($0,5 \mu\text{H}$, dacă este posibil). De exemplu, este posibil să se utilizeze un singur conductor de 50 cm sau două conductoare în paralel de 1 metru lungime, instalate la o distanță minimă unul de celălalt (de cel puțin 50 cm) pentru reducerea inductanței mutuale dintre cele două conductoare.

Acolo unde este posibil, conectarea la rețeaua de echipotențialitate trebuie să se realizeze la o intersecție în scopul divizării curenților de înaltă frecvență la patru, fără lungirea conexiunilor. Profilul conductoarelor de legare la pământ nu este important, însă ar fi preferabil un profil plat. Conductorul trebuie să fie cât mai scurt posibil.

Conductoare paralele de legare la pământ

Scopul conductoarelor paralele de legare la pământ este acela de a reduce curentul de mod comun care circulă în conductoare care, de asemenea, conduc semnale de mod diferențial (impedanța de mod comun și suprafața buclei sunt reduse).

Conductoarele paralele de legare la pământ sunt utilizate pentru protecția împotriva supratensiunilor de origine atmosferică sau pentru curenți de defect mari. Când pentru conductoarele paralele de legare la pământ este utilizat ecranul cablului, acesta nu poate accepta astfel de curenți de valori mari, și prin urmare soluția este de a instala un cablu suplimentar de-a lungul elementelor metalice ale structurii sau a canalului de cabluri, care funcționează ca un alt conductor paralel de legare la pământ pentru întregul cablu.

O altă posibilitate este de a utiliza cablul ecranat alături de un conductor de legare la pământ de secțiune mare, ambele conectate la capete la borna de împământare a echipamentului sau dispozitivului.

Pentru distanțe foarte lungi pentru conductoarele paralele de legare la pământ sunt recomandate conexiuni suplimentare la rețeaua de împământare, la distanțe neregulate între dispozitive. Aceste conexiuni suplimentare formează o cale de întoarcere mai scurtă pentru curenții perturbatori care circulă prin conductorul paralel de legare la pământ.

Pentru canale de cabluri în formă de "U", ecrane și tuburi conexiunile suplimentare trebuie să fie exterioare pentru a menține separarea cu interiorul (efect de ecranare).

Conductoare de echipotențialitate

Conductoarele de echipotențialitate pot fi benzi metalice, împletituri plate sau conductoare de secțiune circulară. În cazul sistemelor de frecvență înaltă, sunt preferabile platbandele metalice sau împletiturile plate (efect pelicular) deoarece un conductor de secțiune circulară are o impedanță mai mare decât cea a unui conductor plat cu aceeași secțiune. Acolo unde este posibil raportul lungime/lățime nu va depăși valoarea 5.

3.3 Separarea cablurilor

Separarea fizică a cablurilor de curenți tari și slabi este foarte importantă din punct de vedere al EMC, în mod deosebit dacă cablurile de curenți slabi nu sunt ecranate sau dacă ecranul acestora nu este conectat la părțile conductoare accesibile. Sensibilitatea echipamentelor electronice este în mare măsură determinată de sistemul de cabluri care le conectează.

Dacă nu există nici o separare (diferite tipuri de cabluri instalate în canale de cabluri separate, distanțe minime între cablurile de curenți tari și slabi, tipuri de canale de cabluri, etc.), influența electromagnetică este la valoarea maximă. În aceste condiții, echipamentele electronice sunt sensibile la perturbațiile electromagnetice prin cablurile respective.

Utilizarea sistemelor de bare capsulate precum Canalis sau a ghenelor de cabluri în cazul puterilor mari este puternic recomandată. Nivelul câmpului magnetic radiant, utilizând aceste tipuri de sisteme de transport este de cca. 10 - 20 de ori mai mic decât în cazul cablurilor sau conductoarelor standard.

Recomandările din secțiunile "instalarea cablurilor" și "recomandări de conexiuni" trebuie luate în considerare.

3.4 Pardoseli false

Includerea pardoselilor în structura plasei contribuie la echipotențialitatea zonei și, în consecință, la o distribuție și diminuare a curenților perturbatori de joasă frecvență. Efectul de ecranare al unei pardoseli false depinde de echipotențialitatea sa.

Dacă contactul dintre dalele pardoselii este slab (joncțiuni antistatice de cauciuc, de exemplu) sau dacă contactul dintre suportii metalici este fragil (poluare, coroziune, mușcări, etc, sau nu există suportii) este necesar să se adauge plase de echipotențialitate. În acest caz, este suficient să se asigure conexiunea electrică efectivă între suportii metalici ai coloanelor. Pe piață sunt disponibile elemente de fixare cu arc pentru a conecta coloanele metalice la plasa de echipotențialitate. În mod ideal ar trebui conectată fiecare coloană, dar este adesea suficient să se conecteze fiecare coloană cu cea apropiată, în fiecare direcție. O plasă cu ochiuri de la 1,5 până la 2 metri este adecvată în majoritatea cazurilor. Secțiunea recomandată pentru cupru este de 10 mm² sau mai mult. În general, este utilizată o împletitură plată. Pentru a reduce efectele de coroziune este recomandat să se utilizeze cupru plat cositorit (vezi Fig. Q8).

Plăcile perforate de pardoseală falsă se comportă ca o pardoseală normală atunci când au o structură metalică celulară.

O dată la cca. 5 ani sunt necesare măsuri de întreținere preventivă pentru plăcile de pardoseală falsă (în funcție de tipul de pardoseală și de mediu, adică de umiditate, praf și coroziune). Joncțiunile antistatice de cauciuc sau din polimeri trebuie să fie întreținute similar cu suprafața pardoselii false (curățate cu produse adecvate).

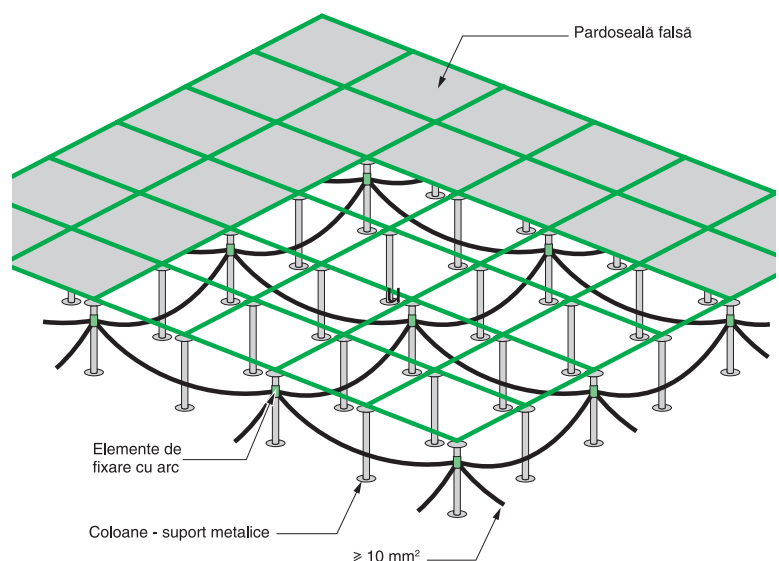


Fig. Q8: Implementarea pardoselii false.

3.5 Instalarea (pozarea) cablurilor

Alegerea materialului și a formei depinde de următoarele criterii:

- severitatea mediului ambiant din punct de vedere al compatibilității electromagnetice de-a lungul cablului (vecinătatea cu surse de perturbații electromagnetice radiante sau de conducție);
- nivelul permis al emisiilor radiante sau de conducție;
- tipul de cablu (ecranat, torsadat, fibră optică);
- capacitatea de ținere la emisii electromagnetice a echipamentului conectat la sistemul de cablare;
- alte cerințe de mediu (chimice, mecanice, climatice, foc, etc.);
- extinderi viitoare planificate pentru sistemul de cablare.

Canalele nemetalice pentru cabluri sunt adecvate în următoarele situații:

- în medii cu emisii electromagnetice continue de nivel scăzut;
- în cazul sistemelor de cablare cu un nivel scăzut de emisii;
- în cazurile în care canalele metalice de cabluri trebuie evitate (medii chimice);
- în cazul sistemelor utilizând fibre optice.

Pentru canalele metalice de cabluri caracteristicile de impedanță sunt determinate mai curând de forma lor (plată, în forma de "U", tubular, etc.) decât de secțiune.

Formele închise sunt mai potrivite decât cele deschise deoarece acestea reduc influențele în mod comun. Canalele (paturile) de cabluri prezintă deseori decupări pentru fixarea cablurilor. Cu cât sunt mai mici, cu atât este mai bine. Tipurile de decupări care aduc cele mai mici probleme sunt cele situate în paralel cu cablurile și la o oarecare distanță de acestea. Decupările perpendiculare pe cabluri nu sunt recomandate (vezi Fig. Q9).

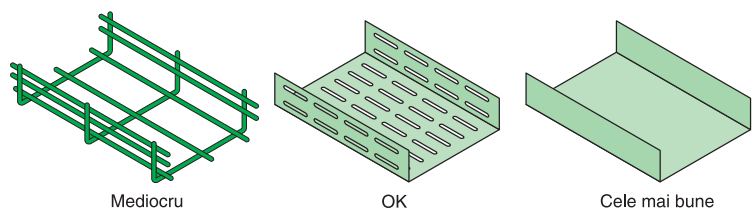


Fig. Q9: Influențele electromagnetice ale diferitelor tipuri de paturi metalice de cabluri.

În anumite situații, un canal de cabluri nesatisfăcător din punctul de vedere al compatibilității electromagnetice poate fi acceptat, dacă emisiile electromagnetice ale mediului sunt reduse datorită utilizării unor cabluri ecranate, dacă este utilizată fibră optică sau dacă sunt utilizate canale de cabluri separate pentru diferite tipuri de cabluri (de putere, de date, etc.).

Este o idee bună să existe o rezervă în interiorul unui canal de cabluri pentru un anumit număr de cabluri viitoare. Înălțimea cablurilor trebuie să fie mai mică decât înălțimea canalului de cabluri, așa cum este indicat mai jos. Capacele îmbunătățesc performanțele în ceea ce privește compatibilitatea electromagnetică a canalelor de cabluri.

În cazul canalului de cabluri în formă de "U" câmpul magnetic descrește către cele două colțuri. Aceasta explică de ce sunt preferate canalele de cabluri mai adânci.

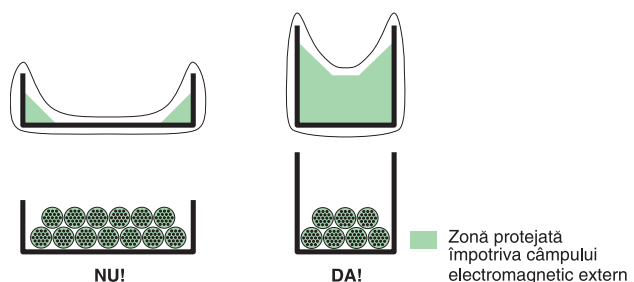


Fig. Q10: Instalarea diferitelor tipuri de cabluri.

Diferite tipuri de cabluri (de putere, de curenți slabi) nu trebuie instalate în același loc sau pe același canal de cabluri. Canalele de cabluri nu trebuie niciodată să fie umplute mai mult de jumătate din capacitate.

3 Implementare

Este recomandabilă separarea din punct de vedere electromagnetic al grupurilor, unul de celălalt, fie utilizând ecrane de protecție fie prin instalarea cablurilor pe canale de cabluri diferite. Calitatea ecranării determină distanța dintre grupuri. În cazul în care nu există ecranare, amplasarea trebuie să se facă la o distanță corespunzătoare (vezi **Fig. Q11**).

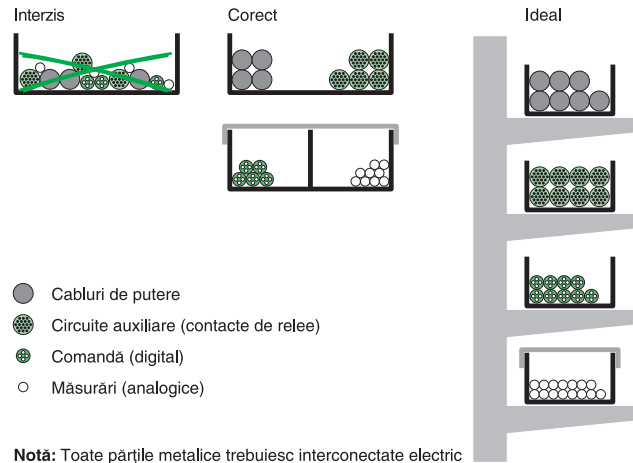


Fig. Q11: Recomandări privind instalarea grupurilor de cabluri pe canale metalice de cabluri.

Componentele metalice ale clădirilor pot fi folosite ca suport pentru cabluri, în scopuri de compatibilitate electromagnetică. Grinzile de oțel (în formă de L, H, U sau T) alcătuiesc deseori o structură neîntreruptă legată la pământ cu secțiuni transversale mari și suprafețe cu numeroase conectări intermediare la pământ. Cablurile trebuie, dacă este posibil, să fie instalate de-a lungul acestor grinzi. Pozarea cablurilor în interiorul colțurilor este mai potrivită decât pozarea pe suprafețele exterioare (vezi **Fig. Q12**).

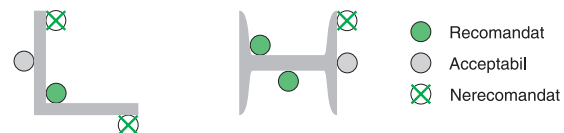


Fig. Q12: Recomandări privind instalarea cablurilor în interiorul grinzelor de oțel.

Ambele capete ale canalului de cabluri trebuie, întotdeauna, să fie conectate la prize de pământ locale. Pentru canale de cabluri foarte lungi, sunt recomandate conectări suplimentare la sistemul de legare la pământ, între dispozitivele conectate. Acolo unde este posibil, distanțele dintre aceste conectări la sistemul de legare la pământ trebuie să fie neregulate (în cazul sistemelor de cablare simetrice) pentru evitarea rezonanței la frecvențe identice. Toate conectările la sistemul de legare la pământ trebuie să fie scurte.

Sunt disponibile canale de cabluri metalice și nemetalice. Soluțiile metalice oferă caracteristici mai bune din punct de vedere al EMC. Un canal de cabluri (pat de cablu, tuburi, console, etc.) trebuie să reprezinte o structură metalică continuă de la început până la sfârșit. Un canal de cabluri din aluminiu are o rezistență în curent continuu mai mică decât un canal de cabluri din oțel de aceeași dimensiune, dar impedanța de transfer (Z_t) a oțelului scade la frecvența mai joasă, în mod special în cazul în care oțelul are o permeabilitate relativă (μ) mare. Trebuie avut grijă atunci când se utilizează diferite tipuri de metale deoarece conectarea electrică directă nu este permisă în anumite cazuri, în scopul evitării coroziunii. Acesta poate fi un dezavantaj din punct de vedere al EMC.

Când dispozitivele conectate prin cabluri neecranate nu sunt afectate de perturbațiile de joasă frecvență, compatibilitatea electromagnetică a canalelor nemetalice de cabluri poate fi îmbunătățită prin adăugarea unui conductor paralel de legare la pământ în interiorul canalului de cabluri. Ambele capete trebuie să fie conectate la sistemul local de legare la pământ. Conectarea trebuie realizată la o parte metalică de mică impedanță (de ex.: partea metalică a tabloului electric). Conductorul paralel de legare la pământ trebuie să fie proiectat pentru a face față curenților de defect mari și curenților în mod comun.

Instalarea

Când un canal de cabluri este realizat dintr-un număr de bucăți trebuie avută în vedere realizarea continuității prin conectarea corectă a diferitelor părți. Este preferabil ca bucățile să fie sudate de-a lungul tuturor marginilor. Nituirea, conectarea cu buloane sau cu șuruburi sunt acceptabile atâta timp cât suprafețele de contact conduc curentul (fără vopsire sau acoperiri izolante) și sunt protejate împotriva coroziunii. Cuplul de strângere trebuie să fie corespunzător, în scopul realizării unei bune presiuni pe suprafața de contact electric dintre două părți. Când este aleasă o anumită formă pentru canalul de cabluri, aceasta trebuie utilizată pe întreaga lungime. Toate interconectările trebuie să fie de mică impedanță. O singură conectare cu fire între două părți ale unui canal de cabluri determină o impedanță locală mare care anulează performanțele din punct de vedere al EMC. Pornind de la câțiva MHz o conectare de 10 centimetri între două părți ale unui canal de cabluri reduce factorul de atenuare de mai mult de 10 ori (vezi **Fig. Q13**).

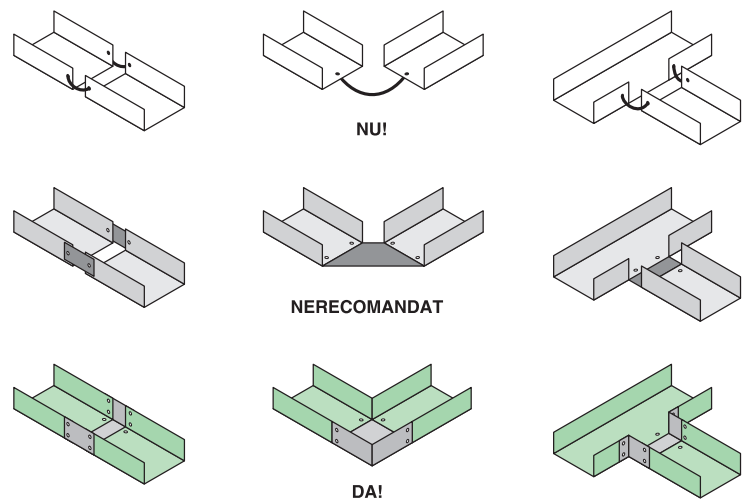


Fig. Q13: Asamblări de canale metalice de cabluri.

De fiecare dată când se produce o modificare sau o extensie, este foarte important să se asigure că aceasta este realizată în conformitate cu regulile privind compatibilitatea electromagnetică (de ex.: a nu se înlocui niciodată un canal metalic de cabluri cu unul din plastic!).

Capacele pentru canalele de cabluri trebuie să îndeplinească aceleași cerințe ca și cele care se aplică la canalul de cabluri. Un capac trebuie să aibă un număr mare de puncte de contact de-a lungul întregii lungimi a canalului de cabluri. Dacă aceasta nu este posibil, capacul trebuie conectat la canalul de cabluri cel puțin la cele două capete ale sale utilizând elemente de conectare scurte (de ex. elemente de conectare împletite sau tip plasă).

Când canalul de cabluri trebuie să fie întrerupt pentru a trece printr-un perete (de ex. pereți antifoc) între cele două părți trebuie utilizate elemente de conectare de impedanță mică (vezi **Fig. Q14**).

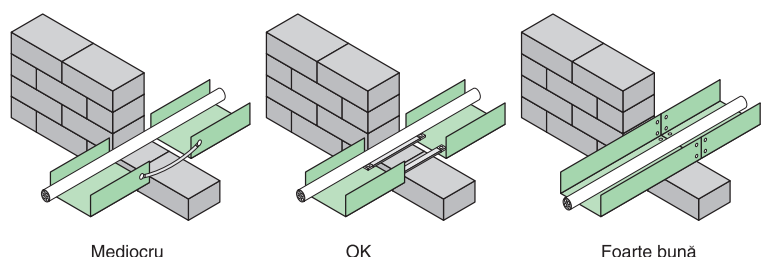


Fig. Q14: Recomandări pentru trecerea printr-un perete a canalului de cabluri.

3.6 Instalarea cablurilor ecranate

Când se hotărăște utilizarea cablurilor ecranate, este necesar să se determine cum pot fi conectate la pământ ecranele (tipul de legare la pământ, conectori, intrarea cablului, etc.), altfel avantajele sunt considerabil reduse. Efectiv, ecranele trebuie legate pe 360°. **Figura Q15** de mai jos arată diferite moduri de legare la pământ a cablurilor ecranate.

În cazul echipamentelor de calcul și a legăturilor digitale ecranele trebuie conectate la fiecare capăt al cablului.

Conectarea ecranelor este foarte importantă din punct de vedere al EMC și trebuie urmărite considerentele de mai jos.

Dacă cablul ecranat conectează echipamente amplasate pe aceeași zonă a rețelei de legare la pământ, ecranul trebuie conectat la părțile active conductoare la ambele capete.

Dacă echipamentele conectate nu sunt amplasate pe aceeași zonă a rețelei de legare la pământ, sunt mai multe posibilități:

- Conectarea unui singur capăt la sistemul de legare la pământ este periculoasă. La apariția unui defect de izolație, tensiunea la nivelul ecranului poate fi fatală pentru personalul de exploatare sau poate distruge echipamentul. Mai mult, la frecvențe înalte ecranul nu este eficient;

- Conectarea ambelor capete ale ecranului la sistemul de legare la pământ poate fi periculoasă la producerea unui defect de izolație. În acest caz, un curent de valoare mare va circula prin ecran și îl va putea distruge. Pentru a limita acest risc, un conductor paralel de legare la pământ poate fi amplasat alături de cablul ecranat. Dimensiunea acestui conductor paralel de legare la pământ depinde de curentul de scurtcircuit din acel punct al instalației.

Este evident faptul că, dacă instalația are o rețea de legare la pământ de tip plasă această problemă nu mai apare.

Toate conectările de legare la pământ trebuie să fie realizate către bare metalice neizolate

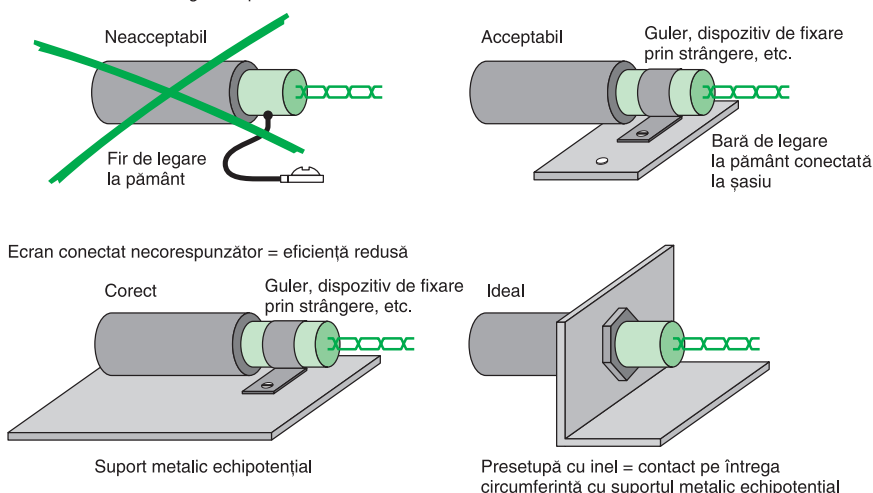


Fig. Q15: Instalarea cablurilor ecranate.

3.7 Rețele de comunicație

Rețelele de comunicație acoperă distanțe mari și interconectează echipamente instalate în încăperi care pot avea sisteme de distribuție având diferite sisteme de tratare a neutrilor. În plus, dacă diferite zone nu sunt echipotențiale, între diverse echipamente conectate în rețea pot apărea curenți tranzitorii de valori mari și importante diferențe de potențial. Așa cum s-a menționat anterior, acesta este cazul apariției defectelor de izolație sau descărcărilor electrice atmosferice. Capacitatea de ținere dielectrică (între conductoarele active și părțile active accesibile) a cartelelor de comunicație instalate în computere sau automate programabile nu depășește, în general, 500 V. În cel mai bun caz, capacitatea de ținere poate atinge 1,5 kV. În instalațiile în buclă cu sistemul TN-S și cu rețele de comunicație relativ mici, acest nivel al capacității de ținere este acceptabil. Totuși, în toate cazurile este recomandată protecția împotriva descărcărilor electrice (în mod comun sau diferențial).

Tipul de cablu de comunicație utilizat este un parametru important. Acesta trebuie să fie adecvat tipului de transmisie. Pentru a crea o legătură de transmisie solidă, trebuie urmărit următorii parametri:

- impedanța caracteristică;
- perechi torsadate sau de alt tip;
- rezistența și capacitatea pe unitatea de lungime;
- atenuarea semnalului pe unitatea de lungime;
- tipul (tipurile) de ecranare utilizat(e).

Mai mult, este important să se utilizeze legături de transmisie simetrice (diferențiale) deoarece acestea oferă performanțe superioare din punct de vedere al EMC.

Totuși, în medii cu condiții severe privind compatibilitatea electromagnetică sau în cazul rețelelor de comunicație extinse, între instalații în care nu există echipotențialitate sau unde acesta este foarte slabă, coroborat cu sistemele IT, TT sau TN-C, este recomandabil să se utilizeze legături cu fibră optică.

Din motive de siguranță, fibra optică nu trebuie să aibă părți metalice (risc de șoc electric în cazul în care fibra optică conectează două zone cu potențiale diferite).

3.8 Instalarea descărcătoarelor

Conectarea descărcătoarelor este la fel de importantă ca și însăși alegerea lor.

Figurile Q16 și Q17a de mai jos indică faptul că, pentru a se asigura măsuri efective de protecție, cablurile de legătură ale descărcătorului și întreruptorului său nu trebuie să depășească 50 cm.

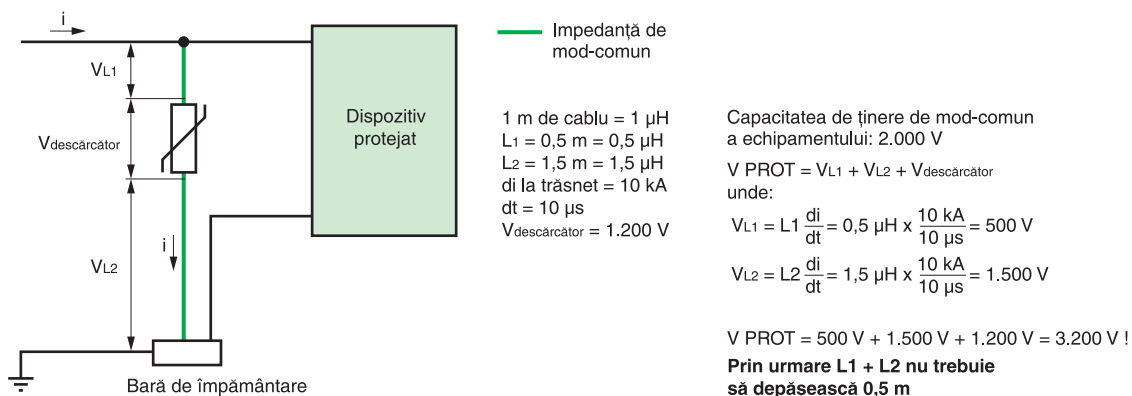


Fig. Q16: Dispozitivul protejat trebuie să fie conectat la bornele descărcătorului.

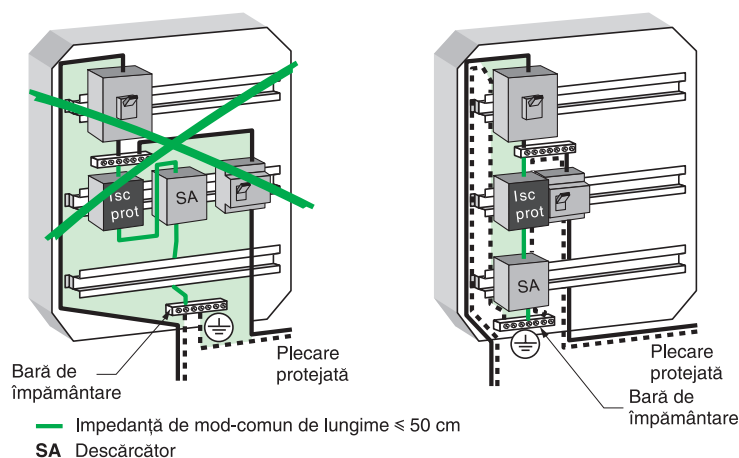


Fig. Q17a: Exemple de ansambluri cu descărcătoare (SA) și întreruptoare de deconectare pentru a reduce impedanțele de mod comun și suprafața buclei amonte-aval.

3 Implementare

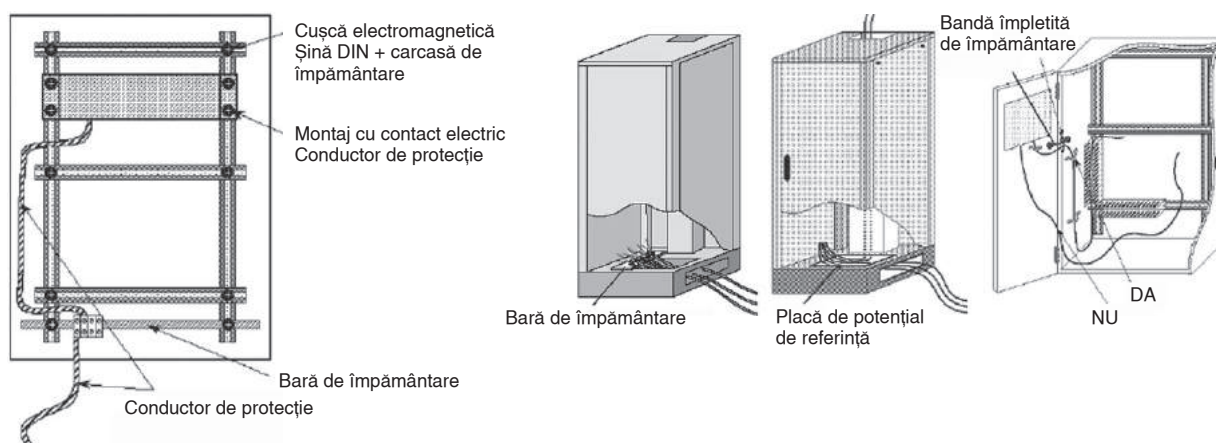
3.9 Cablarea tabloului electric

Fiecare tablou electric trebuie să fie echipat cu o bară sau o placă metalică de împământare.

Toate cablurile ecranate și circuitele de protecție externe trebuie să fie conectate în acest punct.

Oricare dintre plăcile metalice ale tabloului sau șinele DIN pot fi utilizate în scop de împământare.

Tablourile din material plastic nu sunt recomandate. În acest caz șina DIN trebuie utilizată ca bară de împământare.



Contactul electric trebuie stabilit pentru toate circuitele. A se îndepărta vopseala din punctul de contact.

Fig. Q17b: Dispozitivul protejat trebuie conectat la bornele descărcătorului.

3.10 Standarde

Este absolut necesar să se specifice standardele și recomandările care trebuie luate în considerare pentru realizarea instalațiilor.

Pot fi utilizate documentele enumerate mai jos:

- EN 50174-1 Tehnologia informației - Instalarea cablurilor. Partea 1: Specificații și asigurarea calității.
- EN 50174-2 Tehnologia informației - Instalarea cablurilor. Partea 2: Planul de instalare și metode în clădiri.

4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

4.1 Generalități

Fenomenul de interferență electromagnetică poate fi explicat ca în **Figura Q18** de mai jos.

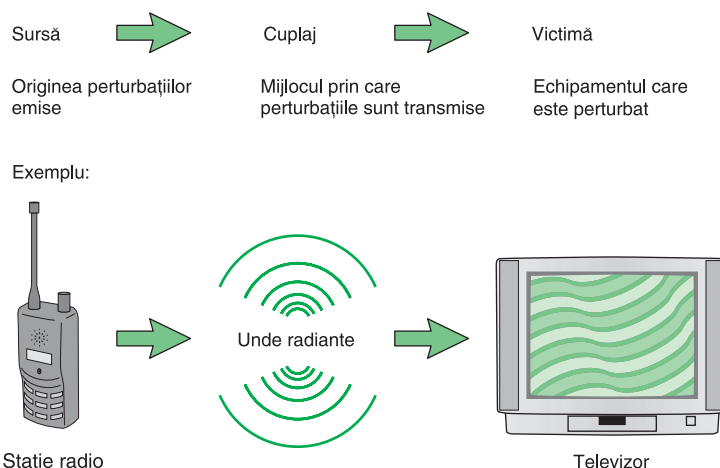


Fig. Q18: Fenomenul de interferență electromagnetică.

Diferitele surse de perturbații sunt:

- Emisiile de radio-frecvență:
 - sistemele de comunicație fără fir (radio, televizor, telefoane cu unde radio, telecomenzi),
 - radarele;
- Echipamentele electrice:
 - echipamentele industriale de mare putere (cuptoare cu inducție, mașini de sudură, sistemele de comandă statice),
 - echipamentele de birou (calculatoare și circuite electronice, mașini de copiat, monitoare mari),
 - lămpile cu descărcări (tuburi fluorescente, tuburi cu neon, flash, etc.),
 - componentele electromecanice (relee, contactoare, solenoizi, dispozitive de întrerupere a curentului);
- Sistemele de putere:
 - sistemele de transmisie de putere și de distribuție,
 - sistemele de transport de energie;
- Descărcările electrice (trăsnete);
- Descărcările electrostatice;
- Pulsurile nucleare electromagnetice.

Potențialele "victime" sunt:

- Receptoarele radio și TV, radarele, sistemele de comunicație fără fir;
- Sistemele analogice (senzori, sisteme de achiziție prin măsurări, amplificatoare, monitoare);
- Sisteme digitale (calculatoare, rețelele de comunicație date, echipamente periferice).

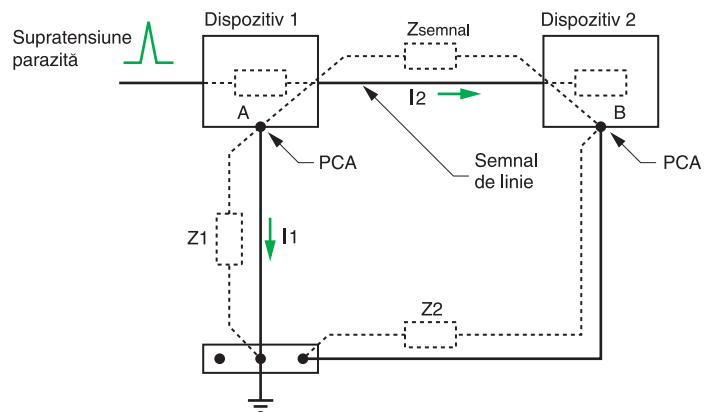
Diferitele tipuri de cuplaje sunt:

- Cuplaj impedant de mod comun (galvanic);
- Cuplaj capacitiv;
- Cuplaj inductiv;
- Cuplaj radiant (cablu cu cablu, câmp cu cablu, antenă cu antenă).

4.2 Cuplajul impedant de mod comun

Definiție

Două sau mai multe dispozitive sunt interconectate prin cabluri de alimentare și de comunicație (vezi **Fig. Q19**). Atunci când curenți externi (de descărcare atmosferică, curenți de defect, perturbații) circulă prin aceste impedanțe de mod comun, între punctele A și B care se presupun a fi echipotențiale, apare o tensiune nedorită. Această tensiune parazită poate perturba circuitele de tensiune foarte joasă sau circuitele electronice rapide. Toate cablurile, inclusiv conductoarele de protecție, au o impedanță, care devine importantă la frecvențe înalte.



Părțile conductoare accesibile (PCA) ale dispozitivelor 1 și 2 sunt conectate la o bornă de împământare comună prin conexiuni de impedanțe Z_1 și Z_2 . Supratensiunea parazită circulă către pământ prin Z_1 . Potențialul dispozitivului 1 crește la valoarea $Z_1 I_1$. Diferența de potențial față de dispozitivul 2 (de potențial inițial = 0) determină apariția curentului I_2 .

$$Z_1 I_1 = (Z_{\text{semnal}} + Z_2) I_2 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{Z_1}{(Z_{\text{semnal}} + Z_2)}$$

Curentul I_2 prezent pe linia de semnal perturbă dispozitivul 2.

Fig. Q19: Definiția cuplajului impedant de mod comun (galvanic).

Exemple (vezi Fig. Q20)

- Dispozitive conectate printr-un conductor comun de referință (adică PEN, PE) afectat de variații importante de curent (d_i/d_f) (curent de defect, descărcări atmosferice, scurtcircuit, variații de sarcină, circuite de chopare, curenți armonici, baterii de compensare a energiei reactive).
- Există o singură cale comună de curent pentru un număr de surse.

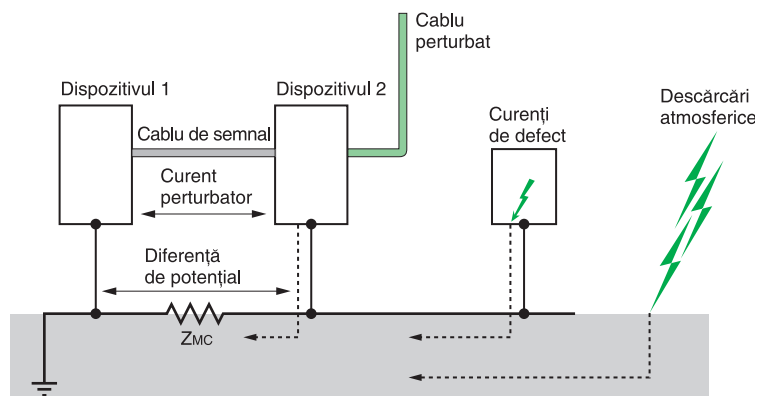
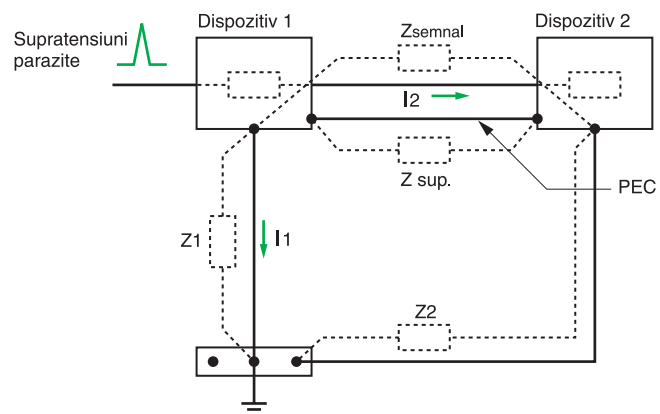


Fig. Q20: Exemplu de influență prin cuplaj impedant de mod comun (galvanic).

Măsuri de contracarare (vezi Fig. Q21)

Dacă nu pot fi eliminate, impedanțele de mod comun trebuie, cel puțin, să fie cât mai mici posibil. Pentru a reduce efectele impedențelor de mod comun este necesar:

- să se reducă valoarea acestor impedanțe;
- să se interconecteze referințele comune;
- să se utilizeze cabluri de lungimi mici sau plate, care la secțiune egală cu cablurile rotunde au o impedanță mai mică;
- să se instaleze legături echipotențiale funcționale între dispozitive;
- să se reducă nivelul curenților perturbatori prin adăugarea unor filtre de mod comun și a unor bobine de inducție în mod diferențial.



Dacă impedanța conductorului paralel de legare la pământ PEC (Z_{sup}) este foarte mică în comparație cu Z_{semmal} , cea mai mare parte a curenților perturbatori vor circula prin PEC, deci nu prin linia de semnal, ca în cazul precedent. Diferența de potențial între dispozitivele 1 și 2 devine foarte mică, iar perturbația acceptabilă.

Fig. Q21: Măsuri de contracarare pentru cuplajul impedanțelor de mod comun.

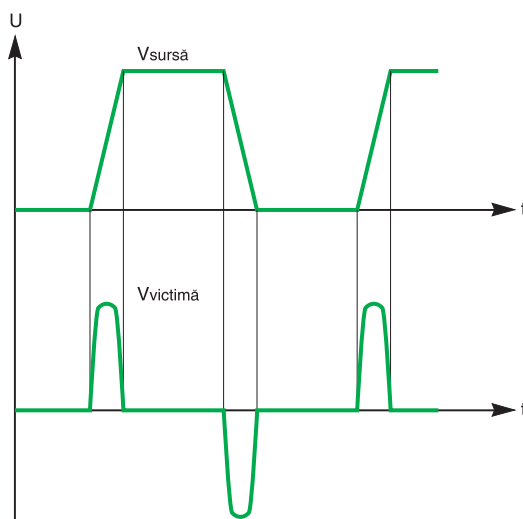


Fig. Q22: Rezultate tipice ale cuplajului capacitiv (cross-talk capacitiv).

4.3 Cuplajul capacitiv

Definiție

Nivelul perturbațiilor depinde de variația de tensiune (d_v/d_t) și de valoarea capacității de cuplaj dintre sursa de perturbații și "victima".

Cuplajul capacitiv crește cu:

- frecvența;
- gradul de apropiere a sursei de perturbații cu victima și cu lungimea cablurilor paralele;
- înălțimea cablurilor față de planul de referință al pământului;
- impedanța de intrare a circuitului "victima" (circuitul având o impedanță de intrare mare sunt mai vulnerabile);
- izolația cablului "victimei" (ϵ_r al izolației cablului), în mod special în cazul perechilor cuplate.

Figura Q22 indică rezultatele cuplajului capacitiv (cross-talk) dintre două cabluri.

Exemple (vezi Fig. Q23)

- Cabluri apropiate supuse unei variații rapide de tensiune (d_v/d_t);
- Aprinderea lămpilor fluorescente;
- Cuplarea/decuplarea alimentării echipamentelor (de tip fotocopiatoare, etc.);
- Capacități de cuplaj între înfășurările primară și secundară ale unui transformator;
- Cross-talk între cabluri.

4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

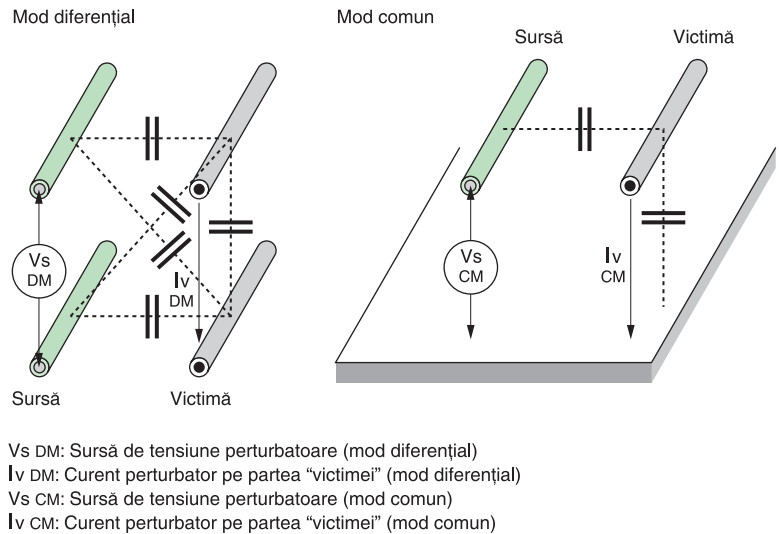


Fig. Q23: Exemplu de cuplaj capacitiv.

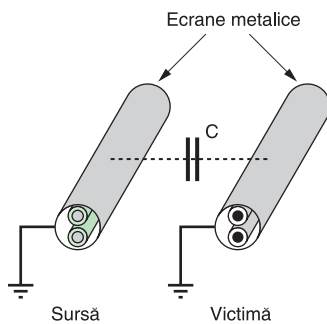


Fig. Q24 : Cablurile ecranate perforate reduc cuplajul capacitiv

Măsuri de contracarare (vezi Fig. Q24)

- Limitarea lungimii cablurilor paralele ale sursei de perturbații și ale "victimă" la strictul necesar;
- Creșterea distanței dintre sursa de perturbații și "victimă";
- În cazul conexiunii în două fire, apropierea celor două fire cât mai mult posibil;
- Poziționarea unui conductor de protecție paralel legat la borna de împământare la ambele capete, între sursa perturbatoare și "victimă";
- Utilizarea de preferință a cablurilor cu două sau patru conductoare în loc de conductoare individuale;
- Utilizarea sistemelor de transport simetrice pe sisteme de cablare simetrice corect instalate;
- Ecranarea cablurilor sursei perturbatoare, a cablurilor "victimă" sau a amândurora (ecranul trebuie legat la pământ);
- Reducerea d/d_1 a sursei perturbatoare prin mărirea duratei (d_1) de creștere a semnalului, dacă este posibil.

4.4 Cuplajul inductiv

Definiție

Sursa perturbatoare și "victimă" sunt cuplate printr-un câmp magnetic. Nivelul de perturbare depinde de variația de curent (d_i/d_1) și de inductanța mutuală de cuplaj. Cuplajul inductiv crește cu:

- frecvența;
- gradul de apropiere a sursei de perturbații cu victima și cu lungimea cablurilor paralele;
- înălțimea cablurilor față de planul de referință al pământului;
- impedanța sarcinii circuitului perturbator.

Exemple (vezi Fig. Q25)

- Cabluri apropiate supuse unei variații rapide de curent (d_i/d_1);
- Scurtcircuite;
- Curenți de defect;
- Descărcări atmosferice;
- Sistemele de comandă statice;
- Mașini de sudură;
- Motoare asincrone.

4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

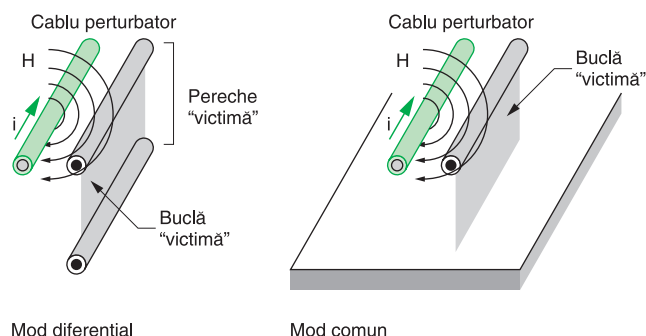


Fig. Q25: Exemplu de cuplaj inductiv.

Măsuri de contracarare

- Limitarea lungimii traseelor paralele ale cablurilor sursei perturbatoare și ale "victimelor" la minimum necesar;
- Creșterea distanței dintre sursa perturbatoare și "victimă";
- În cazul conexiunii cu două fire, apropierea celor două fire cât mai mult posibil;
- Utilizarea cablurilor multifilare sau a cablurilor unifilare care se ating, așezate, preferabil în formă de treflă;
- Poziționarea unui conductor de protecție paralel legat la borna de împământare la ambele capete, între sursa perturbatoare și "victimă";
- Utilizarea sistemelor de transport simetrice pe sisteme de cablare simetrice corect instalate;
- Ecranarea cablurilor sursei perturbatoare, a cablurilor "victimelor" sau a amândurora (ecranul trebuie legat la pământ);
- Reducerea d_v/d_t a sursei perturbatoare prin mărirea duratei (d_t) de creștere a semnalului, dacă este posibil (înserierea de rezistențe sau de rezistoare PTC pe cablul perturbator, inele de ferită pe cablul perturbator și/sau pe cablul "victimelor").

4.5 Cuplajul radiant

Definiție

Sursa perturbatoare și "victimă" sunt cuplate printr-un mediu (de exemplu: aerul). Nivelul de perturbație depinde de puterea sursei radiante și de eficacitatea antenelor de emisie și de recepție. Un câmp electromagnetic este alcătuit dintr-un câmp electric și un câmp magnetic. Cele două câmpuri sunt corelate. Este posibil să se analizeze separat cele două componente, electrică și magnetică. Câmpul electric (câmpul E) și câmpul magnetic (câmpul H) sunt cuplate în sistemele conectate prin conductoare și bucle (vezi Fig. Q 26).

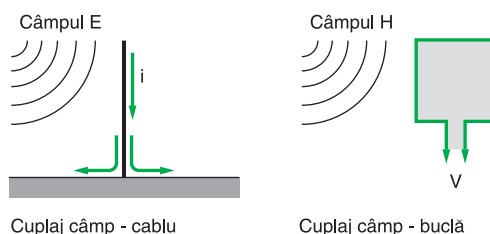


Fig. Q26: Definiția cuplajului radiant.

4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

Când un cablu este supus unui câmp electric variabil, prin el este generat un curent electric. Acest fenomen este numit cuplaj câmp - cablu.

În mod similar, când o buclă este parcursă de un câmp magnetic variabil, acesta crează o forță electromotoare care determină o tensiune între cele două capete ale buclei. Acest fenomen este numit cuplaj câmp - buclă.

Exemple (vezi Fig. Q27)

- Echipamente de radio - transmisie (stații radio, transmițătoare radio și TV, servicii telefonice mobile);
- Radare;
- Sistemul de pornire al automobilelor;
- Mașini de sudură cu arc;
- Cupatoare de inducție;
- Sisteme de comutație de putere;
- Descărcări electrostatice;
- Iluminat.

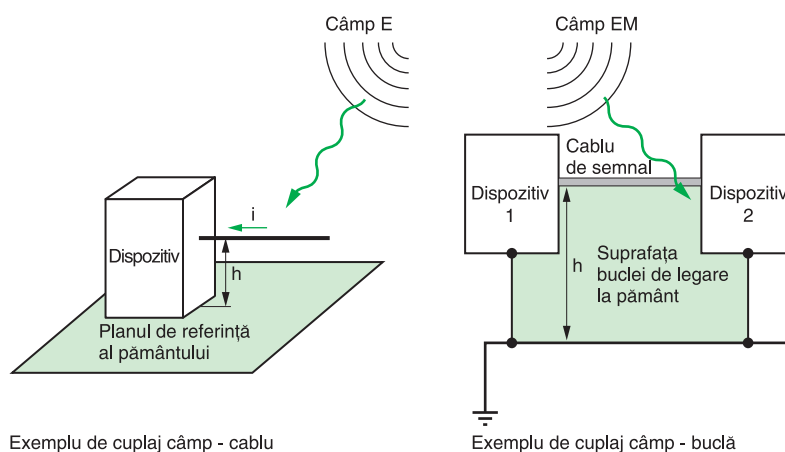


Fig. Q27: Exemple de cuplaj radiant.

Măsuri de contracarare

Pentru a minimiza efectele cuplajului radiant se impun măsurile menționate mai jos.

Pentru cuplajul câmp - cablu

- Reducerea efectului de antenă a "victimei" prin reducerea înălțimii (h) a cablului în raport cu planul de referință al pământului;
- Plasarea cablului în interiorul unei protecții metalice continue legată la pământ (tub, canal de cabluri, pat de cablu);
- Utilizarea cablurilor ecranate care sunt corect instalate și legate la pământ;
- Utilizarea de conductoare de protecție paralele;
- Amplasarea de filtre sau de inele de ferită pe cablul "victimă".

Pentru cuplajul câmp - buclă

- Reducerea suprafeței buclei "victimă" prin reducerea înălțimii (h) și a lungimii cablului. Utilizarea de soluții similare celor din cazul cuplajului câmp - cablu.

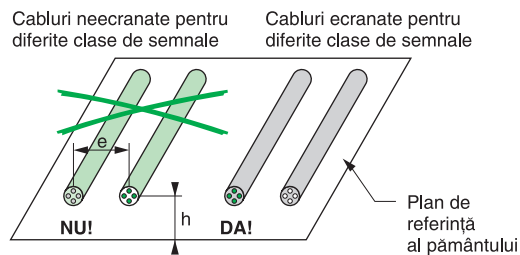
Utilizarea principiului cuștii lui Faraday

Cuplajul radiant poate fi eliminat utilizând principiul cuștii lui Faraday. O soluție posibilă este un cablu ecranat cu ambele capete ale ecranului conectate la carcasa metalică a dispozitivului. Pentru creșterea eficienței la frecvențe înalte, părțile conductoare accesibile trebuie să fie legate la pământ.

Cuplajul radiant scade odată cu distanța și, de asemenea, atunci când se utilizează legături de transmisie simetrice.

5 Recomandări pentru realizarea cablării

5.1 Clase de semnal (vezi Fig. Q28)



Risc de perturbare în mod comun dacă $e < 3h$

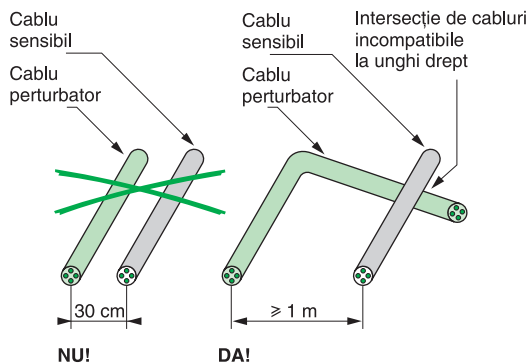


Fig. Q29: Recomandări de realizare a cablării pentru cabluri purtând semnale diferite.

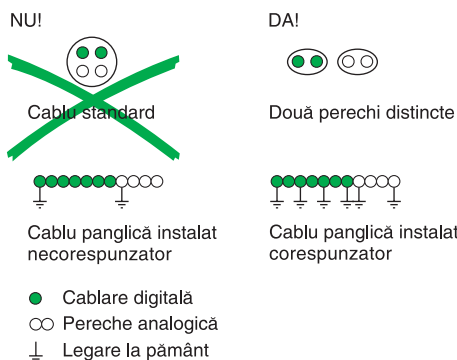


Fig. Q30: Utilizarea cablurilor și a cablurilor panglică.

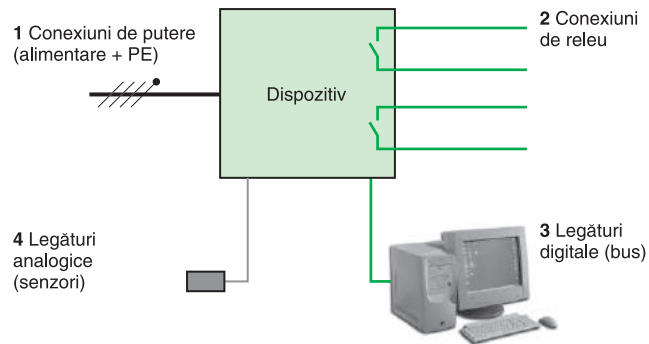


Fig. Q28 : Semnalele interne pot fi grupate în patru clase

Cele patru clase de semnal sunt:

■ Clasa 1

Alimentările electrice, circuite de putere cu variații d/d_i mari, convertizoare în modul de comutare, dispozitive de reglaj și comandă de putere. Această clasă nu este foarte sensibilă dar perturbă alte clase (în special în mod comun).

■ Clasa 2

Contacte de releu.

Această clasă nu este foarte sensibilă dar perturbă alte clase (comutații, arcuri electrice la deschiderea contactelor).

■ Clasa 3

Circuite digitale (comutații de înaltă frecvență)

Această clasă este sensibilă la pulsații și, de asemenea, perturbă alte clase.

■ Clasa 4

Circuite de intrare/ieșire analogice (măsurări de nivel redus, circuite de alimentare senzori activi). Această clasă este sensibilă.

O idee bună este să se utilizeze conductoare de culori diferite pentru fiecare clasă pentru a facilita identificarea și separarea acestora. Aceasta este utilă la proiectarea instalației și la depistarea problemelor apărute în timpul exploatarei.

5.2 Recomandări pentru realizarea cablării

Cablurile aferente diferitelor tipuri de semnale trebuie fizic separate (vezi Fig. Q29). Cablurile perturbatoare (clasa 1 și 2) trebuie să fie amplasate la distanță față de cablurile sensibile (clasa 3 și 4) (vezi Fig. Q30).

În general, o distanță de 10 cm între cablurile amplasate pe canale metalice de cabluri este suficientă (atât în mod comun cât și în mod diferențial). Dacă există spațiu suficient, este preferabilă o distanță de 30 cm. În cazul în care cablurile trebuie să se intersecteze, aceasta trebuie să se realizeze sub un unghi drept (90°) pentru evitarea cross-talk (chiar dacă se ating). Nu există recomandări în ceea ce privește distanța, în cazul în care cablurile sunt separate cu ajutorul unor despărțitori metalice echipotențiale la care sunt conectate părțile conductoare accesibile ale instalației.

Totuși, înălțimea despărțitorilor metalice trebuie să fie mai mare decât diametrul cablurilor.

5 Recomandări pentru realizarea cablării

Un cablu trebuie să transporte semnale ale unei singure clase (vezi Fig. Q31)

Dacă este necesar să se utilizeze un singur cablu pentru a transporta semnale ale unor clase diferite sunt necesare ecrane interne pentru a limita cross-talk (mod diferențial). În cazul claselor 1, 2 și 3, ecranarea este preferabil să fie realizată cu bandă împletită, și trebuie să fie legată la pământ la fiecare capăt.

Este recomandabilă supraecranarea cablurilor perturbatoare și sensibile (vezi Fig. Q32)

Supraecranarea acționează ca o protecție la înaltă frecvență (în mod comun și în mod diferențial) dacă este legată la pământ la fiecare capăt al cablului utilizând un conector circumferențial, un guler sau un dispozitiv de fixare prin strângere. Totuși o simplă legare la pământ nu este suficientă.

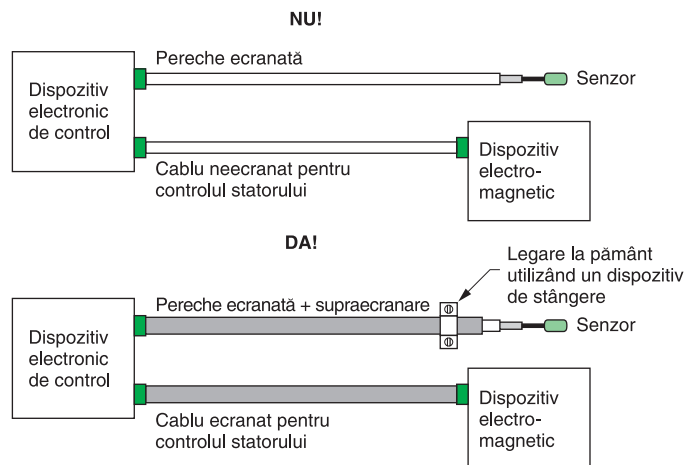


Fig. Q32: Ecranare și supraecranare pentru cablurile perturbatoare și/sau sensibile.

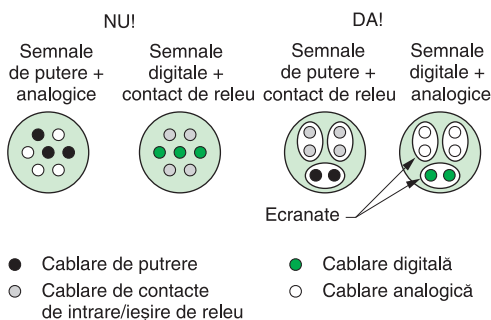


Fig. Q31: Semnale incompatibile = cabluri diferite.

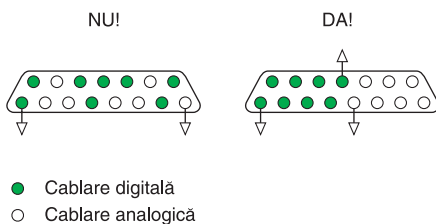


Fig. Q33: Separare aplicată și conectorilor.

A se evita utilizarea unui singur conector pentru diferite grupe (vezi Fig. Q33)

Cu excepția cazurilor unde este necesar pentru clasele 1 și 2 (mod diferențial). Dacă este utilizat un singur conector atât pentru semnalele analogice cât și pentru cele digitale, cele două clase trebuie separate cel puțin printr-un set de contacte conectate la 0 V, folosit ca o barieră.

Conductoarele libere (rezerve) trebuie întotdeauna să fie legate la pământ la ambele capete (vezi Fig. Q34)

Referitor la clasa 4 de semnale, aceste conexiuni nu sunt recomandate în cazul liniilor de foarte joasă tensiune și frecvență (risc de apariție a unor semnale de zgomot, prin inducție magnetică la frecvențele de transmitere).

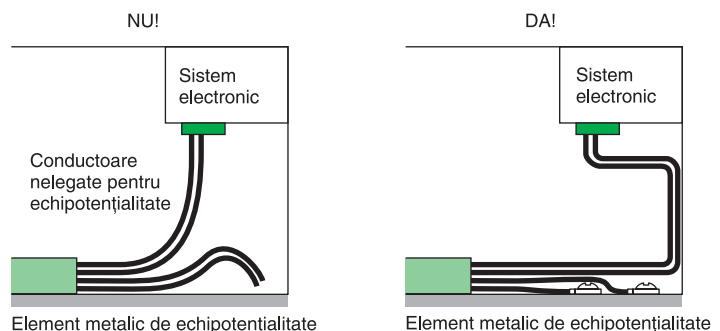


Fig. Q34: Conductoarele libere trebuie să fie conectate echipotențial.

5 Recomandări pentru realizarea cablării

Cele două conductoare trebuie să fie instalate cât mai aproape posibil (vezi Fig. Q35)

Aceasta este o particularitate importantă în cazul senzorilor de tensiune scăzută. Chiar pentru semnalele de releu, conductoarele active trebuie să fie însoțite de către cel puțin un conductor comun de legătură. În cazul semnalelor analogice și digitale, perechile torsadate sunt o cerință minimă. O pereche torsadată (mod diferențial) garantează faptul că, cele două conductoare rămân apropiate de-a lungul întregii lor lungimi.

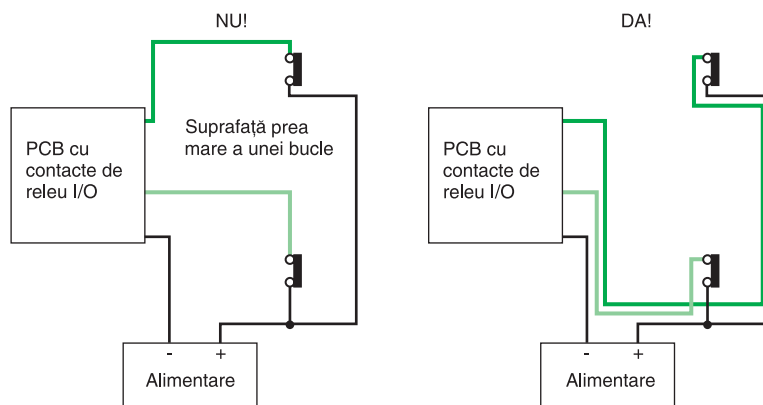


Fig. Q35: Cele două conductoare ale unei perechi trebuie să rămână totdeauna alăturate.

Cablurile din clasa 1 nu necesită ecranare dacă au filtre de radiație

Dar ele trebuie să fie alcătuite din perechi torsadate pentru a se asigura conformitatea cu cele menționate anterior.

Cablurile trebuie să fie poziționate întotdeauna alături, pe întreaga lungime, pe partea opusă părților metalice legate la pământ ale dispozitivelor (vezi Fig. Q36)

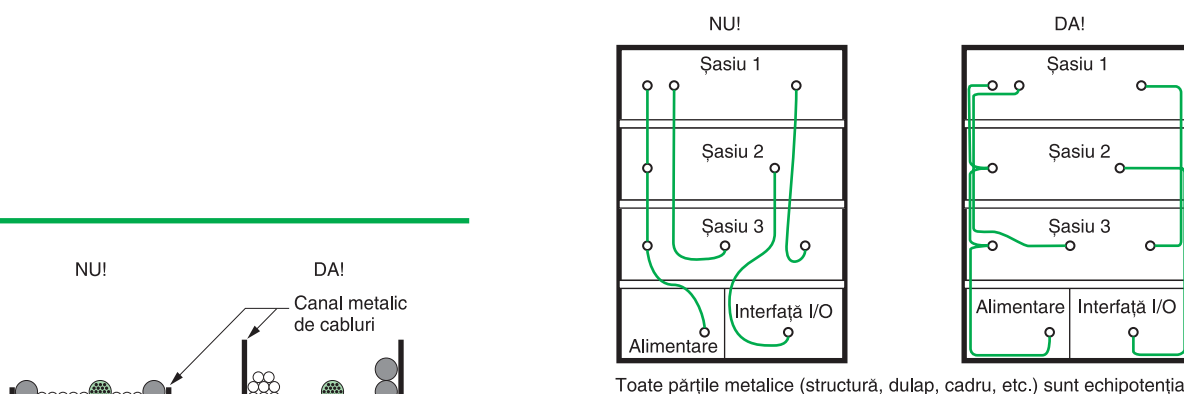


Fig. Q36: Conductoare sub tensiune, amplasate, pe întreaga lungime, pe partea opusă părților metalice legate la pământ.

Utilizarea unor canale metalice de cabluri, corect legate la pământ, îmbunătățește considerabil compatibilitatea electromagnetică internă (vezi Fig. Q37)

Fig. Q37: Distribuția de cabluri pe canalul de cabluri.

