

Șt. Drăgan

*Exploatarea  
și întreținerea  
transformatoarelor  
de măsură*

colecția  
electricianului



editura tehnică

Lucrarea prezintă, la un nivel accesibil, problemele legate de construcția, funcționarea și exploatarea transformatoarelor de curent și de tensiune folosite în schemele de măsură, protecție și automatizare. Sînt indicate metodele cele mai eficiente din punct de vedere tehnic și economic pentru verificarea și încercarea transformatoarelor, în vederea realizării și menținerii unor caracteristici tehnice corespunzătoare și a exploatării în condiții bune a instalațiilor.

Cartea se adresează electricienilor, maștrilor și tehnicienilor care lucrează în instalațiile electrice ale întreprinderilor de electricitate, ale secțiilor PRAM, ale întreprinderilor industriale, ale șantierelor etc.

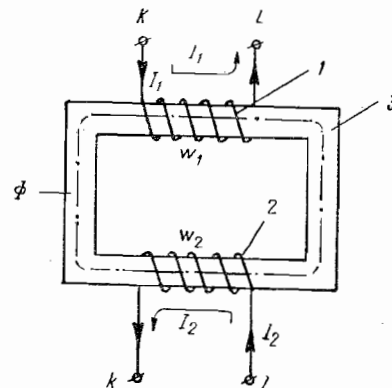
Control științific: ing. **MIRCEA SUPP**  
 Redactor: ing. **MARCEL CROITORU**  
 Tehnoredactor: **MARIA IONESCU**  
 Coperta: arh. **VALENTIN VIȘAN**

## 1. Principiile de funcționare ale transformatoarelor de măsură

### 1.1. Bazele teoretice ale funcționării transformatoarelor de măsură

Transformatorul de măsură este un aparat electromagnetic static, care transformă parametrii energiei în curent alternativ (tensiunea respectiv curentul), reducînd valoarea acestora de un anumit număr de ori. Funcționarea transformatoarelor de măsură se bazează pe inducția electromagnetică dintre două circuite (înfășurări)

Fig. 1.1. Principiul de funcționare al transformatorului de măsură:  
 1 — înfășurarea primară;  
 2 — înfășurarea secundară;  
 3 — miezul de fier.



electrice, cuplate electromagnetic. Curentul alternativ  $I_1$  ce parcurge înfășurarea primară 1 din fig. 1.1 creează un flux alternativ  $\Phi$  care, în cea mai mare parte, se închide prin circuitul magnetic 3, construit din tole de oțel electro-

tehnic. Fluxul alternativ  $\Phi$  întretaie spirele înfășurării secundare 2 și induce în acestea o tensiune electromotoare alternativă  $e_2$ , a cărei valoare instantanee se exprimă matematic prin relația

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1.1)$$

Relația ne arată că valoarea instantanee a tensiunii electromotoare (t.e.m.)  $e_2$  induse în înfășurarea secundară 2 este egală cu produsul dintre numărul de spire  $w_2$  ale înfășurării secundare și viteza cu care variază fluxul magnetic în timp ( $d\Phi/dt$ ), luată cu semn schimbat. Valoarea efectivă a t.e.m. induse (exprimată în volți) se determină cu relația

$$E_2 = 4,44 f w_2 \Phi, \quad (1.2)$$

în care:

- $f$  — este frecvența tensiunii de alimentare, în Hz;
- $w_2$  — numărul de spire ale înfășurării secundare;
- $\Phi$  — valoarea efectivă a fluxului magnetic, în Wb.

Dacă circuitul înfășurării secundare este conectat la receptoare exterioare (care în cazul transformatoarelor de măsură sînt aparatele de măsurat, releele etc.), în circuit apare un curent. Valoarea sarcinii determină încărcarea secundară a transformatoarelor, care se poate exprima prin produsul dintre curentul secundar  $I_2$  și tensiunea secundară  $U_2$ .

## 1.2. Rolul transformatoarelor de măsură și domeniul lor de utilizare

Transformatoarele de măsură au rolul de a transforma tensiunea, respectiv curentul, dintr-o instalație electrică (în mod obișnuit micșorînd valoarea acestora), în scopul:

- lărgirii domeniului de măsurare al unei serii de aparate de măsurat, de curent alternativ;
- alimentării circuitelor de protecție prin relee cu tensiuni, respectiv cu curenți, într-un anumit raport față de cele din circuitele primare, în vederea obținerii unor mă-

rimi secundare normale (de exemplu 1 A sau 5 A și tensiunea de 100 V);

- protejării instalațiilor circuitelor secundare, a releelor și a aparatelor de măsurat, împotriva străpungerii izolației acestora de către tensiunea înaltă a instalațiilor primare;

- protejării personalului de exploatare împotriva electrocutării, atunci cînd vine în contact cu instalațiile de măsurare și protecție.

Protejarea personalului de exploatare și a circuitelor secundare față de tensiunea înaltă a circuitelor primare se realizează atît prin izolația înfășurării secundare a transformatoarelor de măsură față de înfășurarea primară, cît și prin legarea la pămînt a uneia dintre bornele înfășurării secundare.

Transformatoarele de măsură se utilizează pentru scopurile arătate mai sus, atît în instalațiile electroenergetice de înaltă tensiune, cît și în cele de joasă tensiune (în acestea din urmă se folosesc mai ales transformatoarele de curent). În unele cazuri transformatoarele de măsură pot înlocui transformatoarele pentru încercări de laborator. Domeniul de utilizare al transformatoarelor de măsură și condițiile ce li se impun în ceea ce privește clasa de precizie rezultă din tabelul 5.11.

## 1.3. Clasificarea transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură se clasifică după mai multe criterii.

1. În funcție de parametrul a cărui valoare o reduc, există:

- transformatoare de curent, simbol TC, a căror înfășurare primară se conectează în serie cu circuitul primar, iar bobinajul secundar alimentează releele de curent, ampermetrele, bobinele de curent ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc. (fig. 1.2).

- transformatoare de tensiune, simbol TT, a căror înfășurare primară se conectează în paralel cu circuitul primar, iar înfășurarea secundară alimentează releele de ten-

*RM*

siune, voltmetrele, bobinele de tensiune ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc. (fig. 1.2).

2. În funcție de numărul de faze, transformatoarele de măsură pot fi:  
monofazate (de curent și de tensiune); bifazate (de tensiune) sau trifazate (de tensiune).

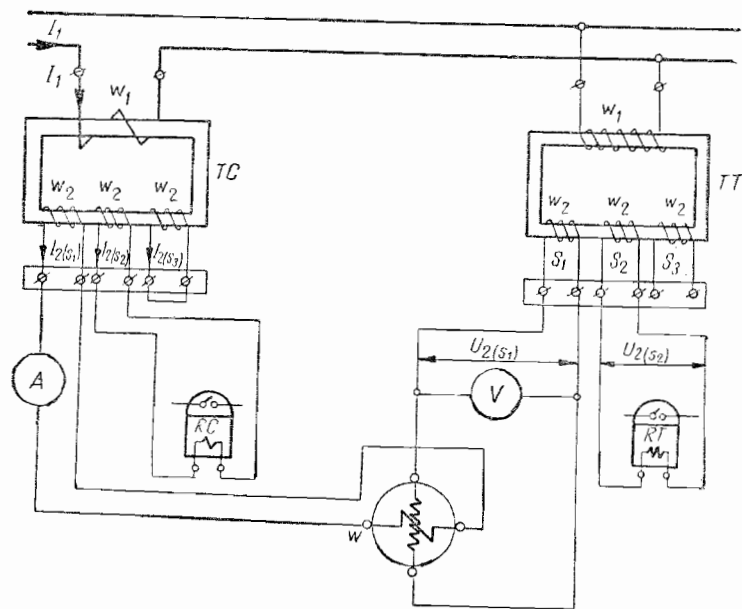


Fig. 1.2. Schema de conectare a transformatoarelor de măsură și modul de alimentare al aparatelor:

TC — transformator de curent; TT — transformator de tensiune;  $W_1$  — înfășurarea primară;  $W_2(S_1, S_2, S_3)$  — înfășurări secundare; A — ampermetru; RC — releu de curent; V — voltmetru; RT — releu de tensiune; W — wattmetru.

3. După numărul înfășurărilor secundare, transformatoarele de măsură pot fi:

- cu o singură înfășurare secundară;
- cu două sau cu mai multe înfășurări secundare.

4. După felul instalației în care sînt destinate a se monta și a funcționa, există:

- transformatoare de tip interior (simbol I);

- transformatoare de tip exterior (simbol E);
- transformatoare pentru instalații complexe (ce se montează în transformatoare de putere sau în întrerupătoare).

5. După modul în care se instalează, deosebim:

- transformatoare de trecere, simbol T (numai pentru cele de curent);
- transformatoare tip suport (simbol S).

6. După felul izolației dintre înfășurarea primară și cea secundară, deosebim:

- transformatoare cu aer sau uscate;
- transformatoare cu izolație în ulei (simbol U);
- transformatoare cu izolație de porțelan (simbol P);
- transformatoare cu izolație de rășini sintetice de turnare (simbol R).

7. În funcție de caracteristicile tehnice nominale (v. § 1.4.1 și 1.4.2).

8. În funcție de tensiunea înfășurării primare, deosebim:

- transformatoare de înaltă tensiune;
- transformatoare de joasă tensiune;
- transformatoare de tensiune în cascadă (utilizate în instalațiile de foarte înaltă tensiune (de la 220 kV în sus).

9. În funcție de destinație, deosebim:

- transformatoare montate în instalații electrice;
- transformatoare de laborator;
- transformatoare portative;
- transformatoare montate în scheme speciale.

## 1.4. Caracteristicile transformatoarelor de măsură

### 1.4.1. Caracteristicile transformatoarelor de tensiune

Caracteristicile tehnice principale ale transformatoarelor de tensiune, prevăzute de STAS 4324-62 și STAS 4323-62, sînt următoarele:

- tensiunea nominală primară  $U_{1n}$ ;
- tensiunea nominală secundară  $U_{2n}$ ;
- tensiunea maximă de lucru  $U_{max}$ , adică valoarea efectivă cea mai mare a tensiunii, în condiții normale de ex-

ploatare, la care transformatorul de tensiune poate funcționa în regim de lucru de lungă durată;

— tensiunea de încercare  $U_i$ , adică valoarea tensiunii de frecvență industrială sau de impuls la care se încearcă transformatorul de tensiune;

— raporturile de transformare, nominal  $k_n$  și efectiv sau real  $k_e$ ;

— eroarea de tensiune  $\Delta_u$  și de unghi  $\delta_u$ ;

— clasa de precizie;

— puterea nominală  $P_{2n}$  și puterea nominală maximă  $P_{max}$ ;

— frecvența nominală, adică frecvența tensiunii de alimentare pentru care este destinat a funcționa transformatorul și la care sînt îndeplinite condițiile clasei de precizie.

#### 1.4.2. Caracteristicile transformatoarelor de curent

Caracteristicile tehnice principale ale transformatoarelor de curent sînt următoarele:

— curentul nominal primar  $I_{1n}$  și curentul nominal secundar  $I_{2n}$ ;

— tensiunea nominală  $U_n$ , în kV, egală cu tensiunea nominală a rețelei electrice pentru care este dimensionat și construit transformatorul, care este înscrisă pe plăcuța lui indicatoare;

— tensiunea maximă de lucru sau de serviciu  $U_{max}$ ;

— tensiunea de încercare  $U_i$ , sinusoidală, cu frecvența de 50 Hz;

— raporturile de transformare, nominal  $k_n$  și efectiv sau real  $k_e$ ;

— curentul limită dinamic  $I_d$ , care reprezintă valoarea de vîrf, în kA, a primei alternanțe a curentului primar de scurtcircuit (curentul de șoc) pentru care stabilitatea dinamică a transformatorului este asigurată (fără a se deteriora sub acțiunea forțelor electrodinamice), înfășurarea secundară a acestuia fiind scurtcircuitată;

— curentul limită termic  $I_t$ , în kA, care reprezintă valoarea efectivă cea mai mare a curentului primar de scurtcircuit, pe care transformatorul de curent, avînd înfășu-

rările secundare scurtcircuitate, îl poate suporta timp de o secundă, fără a depăși limita de încălzire;

— eroarea de curent  $\Delta_i$  și de unghi  $\delta_i$ ;

— clasa de precizie;

— sarcina secundară  $Z_2$  și sarcina nominală secundară  $Z_{2n}$ ;

— puterea nominală  $P_n$ , în VA;

— curentul de magnetizare  $I_0$ ;

— curentul nominal primar de saturație  $I_{1sn}$ , curentul nominal secundar de saturație  $I_{2sn}$  și coeficientul de saturație  $n$ .

Definițiile caracteristicilor enumerate sînt precizate în lucrare la capitolele respective.

#### 1.5. Comportarea transformatoarelor de măsură în diferite regimuri de funcționare ale sistemului electroenergetic

Funcționarea corectă a instalațiilor de protecție și a celor de măsurare este determinată și de gradul de exactitate cu care transformatoarele de măsură pot reproduce în secundar tensiunea, respectiv curentul rețelei în care sînt montate. În regim normal de funcționare al sistemului, cînd parametrii rețelei au valori în jurul parametrilor nominali ai transformatoarelor de măsură, acestea reproduc în înfășurările secundare parametrii primari, cu o exactitate determinată de clasa lor de precizie. Prin urmare, aparatele de măsurat și releele de protecție vor fi alimentate cu un curent, respectiv cu o tensiune secundară, proporționale (în limitele clasei de precizie a transformatoarelor de măsură) cu curentul, respectiv cu tensiunea din primar. Unele regimuri anormale de funcționare, cum sînt regimurile tranzitorii, scurtcircuitele asimetrice etc., care apar în exploatarea sistemelor electroenergetice, fac ca transformatoarele de măsură să nu mai reproducă cu fidelitate valorile mărimilor primare, datorită unor fenomene relativ complexe ce au loc în timpul acestor regimuri. Acest lucru influențează în special funcționarea protecțiilor, care au rolul de a sesiza cît mai real și mai

rapid regimurile anormale, pentru a acționa în consecință. Privită problema din acest punct de vedere, în ultimii ani s-au efectuat și sînt în curs o serie de studii, cercetări și experimentări asupra modului de comportare a transformatoarelor de măsură în timpul regimurilor tranzitorii. Toate acestea se efectuează în scopul stabilirii unor metode de calcul și de dimensionare a transformatoarelor de măsură, metode care să țină cont de particularitățile de funcționare ale acestora în regimurile tranzitorii și pe baza cărora transformatoarele să se construiască de așa manieră încît ele să asigure corecta alimentare a instalațiilor de protecție. De asemenea, se urmărește stabilirea unor metode de măsurare a erorii transformatoarelor de măsură în condițiile funcționării lor în regimuri tranzitorii, metode care să reproducă cît mai exact condițiile reale ce se întîlnesc în exploatare. Bineînțeles că în acest sens nu s-au epuizat toate posibilitățile și urmează ca cercetările ce se efectuează să contribuie la rezolvarea în continuare a problemelor amintite.

## 1.6. Alegerea transformatoarelor de măsură

Siguranța în funcționare a transformatoarelor de măsură este determinată de alegerea corectă a acestora, atît din punctul de vedere al regimului normal de funcționare, cît și din punctul de vedere al regimurilor de avarie ale rețelei în care sînt montate. Principial, alegerea transformatoarelor de măsură se face comparîndu-se parametrii determinați prin calcul cu cei din cataloagele de aparate. Se vor alege acelea ale căror caracteristici constructive corespund acoperitor cu toți parametrii calculați.

### 1.6.1. Alegerea transformatoarelor de tensiune

Transformatoarele de tensiune nu se verifică la stabilitate termică și electrodinamică, întrucît ele sînt conectate în paralel la rețea, astfel încît în cazul unui scurtcircuit în acestea, ele nu sînt supuse acțiunii curentului de scurtcircuit. Alegerea transformatoarelor de tensiune se

face în baza verificării următoarelor caracteristici ale acestora:

- tensiunea nominală primară a transformatorului de tensiune  $U_{1n}$ , ce trebuie să fie egală cu tensiunea nominală a rețelei la care se conectează (între faze, respectiv pe fază);

- tensiunea nominală secundară a transformatorului de tensiune  $U_{2n}$ , ce trebuie să fie egală cu tensiunea nominală a aparatelor pe care le alimentează;

- tipul transformatorului de tensiune și schema sa de conexiune, care se aleg în funcție de destinația lui (de exemplu, pentru alimentarea contoarelor și a wattmetrelor trifazate se pot utiliza transformatoare de tensiune monofazate legate în V, iar pentru alimentarea aparatelor destinate controlului izolației se utilizează trei transformatoare monofazate legate în stea sau un transformator cu cinci coloane, cu aceeași schemă de conexiuni);

- clasa de precizie a transformatorului de tensiune, care trebuie să corespundă clasei de precizie a aparatelor pe care le alimentează (conform tabelului 5.11); dacă transformatorul alimentează mai multe aparate cu clase de precizie diferite, clasa de precizie a transformatorului trebuie să corespundă aparatelor cu clasa de precizie cea mai bună;

- puterea nominală a transformatorului de tensiune  $P_{2n}$ , corespunzătoare preciziei ce trebuie aleasă, se compară cu puterea  $P_2$  absorbită de toate aparatele de măsurat și releele conectate la bornele secundare ale transformatorului; se consideră că transformatorul de tensiune s-a ales corect din punctul de vedere al puterii nominale, dacă este îndeplinită condiția  $P_{2n} > P_2$ .

### 1.6.2. Alegerea transformatoarelor de curent

Se consideră că un transformator de curent s-a ales corect, dacă sînt respectate condițiile de alegere și verificare indicate în tabelul 1.1.

Metodologia de verificare a erorilor în condițiile reale de funcționare ale transformatoarelor de curent utilizate pentru protecții (tabelul 1.1) constă în următoarele:

Tabelul 1.1

## Alegerea și verificarea transformatoarelor de curent

Regimul de funcționare al rețelei	Parametrii de verificat		Condiții de alegere și verificare
	Ai transformatorului de curent	Ai rețelei în care se montează transformatoarele de curent sau ai circuitelor secundare alimentate de acestea	
Regimul normal de funcționare	Tensiunea nominală $U_n$ , în kV	Tensiunea nominală a rețelelor $U_{nr}$ , în kV	$U_n \geq U_{nr}$
	Curentul nominal primar $I_{1n}$ , în A	Curentul de sarcină de lungă durată a rețelei $I_{sr}$ , în A	$I_{1n} \geq I_{sr}$
	Curentul nominal secundar $I_{2n}$ , în A	Curentul nominal al aparatelor conectate la bornele secundare ale transformatorului $I_{nap}=5A$ sau $1A$	$I_{2n} = I_{nap}$
	Sarcina secundară nominală $Z_{2n}$ , în $\Omega$ (calculată din puterea secundară $P_{2n}$ )	Sarcina $Z_2$ , în $\Omega$ (impedanța reală a circuitului exterior conectat la bornele secundare)	$Z_{2n} \geq Z_2$
	Puterea nominală secundară $P_{2n}=Z_{2n} I_{2n}$ , în VA	Puterea nominală absorbită de toate aparatele conectate la bornele secundare ale transformatorului de curent $P_{ncp}$ , în VA	$P_{2n} \geq P_{ncp}$
	Erorile de curent, în %, și de unghi, în min	Conform indicațiilor din tabelul 5.11	Conform tabelului 5.11

Tabelul 1.1 (continuare)

Regimul de funcționare al rețelei	Parametrii de verificat		Condiții de alegere și verificare
	Ai transformatorului de curent	Ai rețelei în care se montează transformatoarele de curent sau ai circuitelor secundare alimentate de acestea	
Regimul normal de funcționare	Coeficientul de saturație $n$	—	Conform precizărilor din subcap. 5.10
Regim de scurtcircuit în instalație	Curentul de stabilitate termică al transformatorului $I_p$ , în kA	Curentul efectiv de scurtcircuit de șoc maxim ce trece prin transformator ( $I_{soc}$ , în kA)	$I_t > I_{soc}$
	Curentul de stabilitate dinamică $I_d$ , în kA	Amplitudinea curentului de scurtcircuit de șoc $I_{soc}$	$I_d > I_{soc}$
	Eroarea de curent, în % (pentru protecție)	—	$\Delta I \leq 10\%$
	Eroarea de unghi, în min (pentru protecție)	—	$\delta_i \leq 7^\circ$

— se calculează sarcina secundară  $Z_2$  conform § 5.13 (tabelul 5.22);

— în funcție de sarcina  $Z_2$ , se ia din curbele erorilor de 10% ale transformatorului de curent (care reprezintă variația raportului  $I_1/I_{1n}$  în funcție de sarcina secundară  $Z_2$ ).

Tabelul 1.2

## Calculul curentului de defect [3]

Relația de calcul al curentului de defect $I_{1def}$	Felul protecției	Semnificația notațiilor și valoarea lor
$I_{1def} = \frac{(1,1 \dots 1,2) I_{2p} k_n}{k_{rev} k_{sch}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Maximală rapidă (secționare de curent)</li> <li>— Maximală cu temporizare independentă</li> <li>— Maximală cu temporizare dependentă (valoarea lui <math>I_{2p}</math> este cea corespunzătoare caracteristicii reglate a protecției)</li> </ul>	<p><math>I_{2p}</math> este curentul de pornire al releului</p> <p><math>k_n</math> — raportul de transformare al transformatorului de curent</p> <p><math>k_{sch}</math> — coeficientul de schemă, a cărui valoare se ia din tabelul 5.22</p> <p><math>k_{rev} = 0,85</math></p>
$I_{1def} = k I_{sc max}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Protecții direcționale</li> <li>— Protecții diferențiale</li> <li>— Protecții de distanță</li> </ul>	<p><math>I_{sc max}</math> este curentul maxim de scurtcircuit</p> <p><math>k</math> — coeficientul de corecție, care ține cont de saturația transformatoarelor de curent în regim tranzitoriu (<math>k=1</math>, pentru temporizări ale protecției <math>t=1s</math>; <math>k=1,5</math>, pentru <math>t=0,3s</math>; <math>k=2</math>, pentru <math>t=0,1s</math>)</p>

pentru care eroarea de curent este mai mică de 10%) valoarea coeficientului de multiplicare maxim admis, dată de relația

$$m_a = \frac{I_{1max}}{I_{1n}}; \quad (1.3)$$

— se calculează raportul real dintre curentul primar de defect  $I_{1def}$  și curentul nominal  $I_{1n}$ , cu relația  $m_r = \frac{I_{1def}}{I_{1n}}$ ; valoarea curentului de defect se calculează cu relațiile din tabelul 1.2, în funcție de felul protecției și al schemei de conexiuni a transformatoarelor;

— se compară coeficientul de multiplicare admis  $m_a$  cu raportul real dintre curentul de defect și cel nominal  $m_r$ ; se consideră că transformatorul de curent este bine ales dacă este îndeplinită condiția  $m_a \geq m_r$ ; în caz contrar, este necesar să se aleagă un transformator de curent cu  $I_{1n}$  mai mare sau se iau măsuri de reducere a valorii  $Z_2$ , prin mărirea secțiunii conductoarelor de legătură.

## 2. Tipurile constructive și schemele electrice interioare ale transformatoarelor de măsură

### 2.1. Transformatoare de fabricație românească

Industria electrotehnică românească produce transformatoare de măsură pentru instalații electrice avînd tensiunea nominală cuprinsă între 0,5 și 220 kV (între faze).

#### 2.1.1. Transformatoare de tensiune

În tabelul 2.1 sînt indicate tipurile constructive de transformatoare de tensiune produse de Uzinele Electroputere din Craiova.



Tipuri de transformatoare de tensiune fabricate de Uzinele Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului de tensiune	Tipul	Caracteristici tehnice principale ale variantelor fabricate					
		Raportul de transformare kV/kV	Tensiunea maximă de lucru kV	Tensiunea de încercare kV	Puterea nominală $P_{2n}$ în VA		
					Clasa 0,5	Clasa I	Clasa 3(D)
1	2	3	4	5	6	7	8
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM-0,5	$\frac{0,38/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,4/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,5/0,1}{\sqrt{3}}$	0,46	3	15	30	60
			0,48	3	30	60	90
			0,60	3	30	60	90
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM-6	$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	$6/\sqrt{3}$	27	60	120	240
			$7,2/\sqrt{3}$	27	60	120	240
			$12/\sqrt{3}$	35	60	120	240
TIRM-10	TIRM-15	$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	$17,5/\sqrt{3}$	45	90	180	300

Exp. și întrețin. transform. de măsură

Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din ulei	TIBU-6 TIBU-10 TIBU-15	$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{6/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{10/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	3,6	50	50	120	240
			6,0	50	80	200	400
			7,2	50	80	200	400
Transformator de tensiune trifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare	TIRB-6 TIRB-10 TIRB-15	$\frac{5/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{6/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{10/0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	6,0	60	120	240	480
			7,2	60	120	240	480
			12,0	90	180	300	600
Transformator de tensiune trifazat, pentru montaj interior, cu izolație din ulei (cu cinci coloane). Punct neutru izolat de masă pentru tensiunea de 2kV	TITU-6 TITU-10 TITU-15	$\frac{3}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	$8,6/\sqrt{3}$	50	80	200	400
			$6/\sqrt{3}$	80	150	320	640
			$7,2/\sqrt{3}$	80	150	320	640
		$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ $\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$	$12/\sqrt{3}$	35	200	480	960
			$17,5/\sqrt{3}$	45	200	480	960

Tabelul 2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de tur-nare	TIRM-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24\sqrt{3}$	55	120	240	450	960
	TIRM-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30\sqrt{3}$	65	120	240	450	960
	TIRM-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42\sqrt{3}$	85	120	240	450	960
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de tur-nare	TIRB-20	$\frac{20 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	24	55	120	240	450	960
	TIRB-25	$\frac{25 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	30	65	120	240	450	960
	TIRB-35	$\frac{35 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	42	85	120	240	450	960
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj exterior, cu izolație din ulei.	TEMU-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24\sqrt{3}$	55	90	180	300	600
	TEMU-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30\sqrt{3}$	65	90	180	300	600
	TEMU-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42\sqrt{3}$	85	90	180	300	600

Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj exterior, cu izolația din ulei (de tip in-ductiv)	TEBU-20	$\frac{20 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	24	55	90	180	300	600
	TEBU-25	$\frac{25 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	30	65	90	180	300	600
	TEBU-35	$\frac{35 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	42	85	90	180	300	600
Transformator de tensiune monofazat, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior (tip in-ductiv cu un singur circuit magnetic)	TEMU-110	$\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$123\sqrt{3}$	185	300	600	900	1800

Schemele electrice interioare ale transformatoarelor de tensiune sînt foarte simple și sînt reprezentate în fig. 2.1, unde AX reprezintă

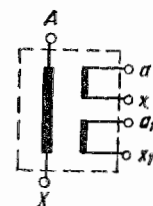


Fig. 2.1. Reprezentarea schemei electrice interioare a transformatorului de tensiune.

tă înfășurarea primară, iar  $ax$  și  $a_1x_1$ , înfășurările secundare. Pentru o ușoară identificare a înfășurărilor, aceste notații sînt marcate și pe bornele transformatoarelor.

## 2.1.2. Transformatoare de curent

Tipurile de transformatoare de curent și caracteristicile lor sînt indicate în tabelul 2.2. Schemele electrice interioare ale transformatoa-

Tipuri de transformatoare de curent fabricate de Uzinele Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului de curent	Tipul	Caracteristicile tehnice principale							Observații
		Raportul de transformare $I_{1n}/I_{2n}$	$U_n$ kV	$U_t$ kV	$I_t$ kA	$I_d$ kA	Clasa de precizie	$P_{2n}$ VA	$n$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Transformator de curent tip trecere, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	100—250/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{1n}$	—	1	5	<10
Transformator de curent tip sină, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	300—3000/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{1n}$	—	0,5 1	10 15 30	<5 <10

Execuție monospirală

Primarul transformatorului este chiar bara în stației

izolație din capace de bachelită, pentru montaj interior

Idem, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior

Idem, tip trecere, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior

Idem, de trecere, tip sină, pentru interior, cu izolație de rășină turnată

Pentru condiții grele de mediu (climat tropical umed, maritim etc.)

Idem, monospiral

Idem. Bobinajul primar este format din însăși bara în stației

Tabelul 2.2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent cu izolație de porțelan, tip trecere, pentru montaj interior	CIPT-10; 15	5—400/5	10 15	42 55	$I_t = 90 I_{1n}$	$I_d = 250 I_{1n}$	$\frac{0,5}{3}$ $\frac{0,5}{D}$	15/30 15/15	$< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$	Infășura- rea pri- mară mul- tispirală
Transformator de curent tip trecere, mono-spiral, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT 1—10; 15	600—1500/5	10 15	42 55	$I_t = 100 I_{1n}$	—	$\frac{0,5}{D}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{0,5}{3}$	20/50 20/20	$> \frac{20}{10}$ $< \frac{10}{5}$ $> \frac{15}{10}$ $< \frac{10}{5}$	
Idem	CIPT-10 b	400—1 000/5	10	35	$I_t = 100 I_{1n}$	—	$\frac{0,5}{D}$ $\frac{1}{3}$	15/30 30/60	$< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$	

Transformator de curent de trecere, tip sină, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT-10 a	2 000/5— 5 000/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	—	$\frac{0,5}{3}$ $\frac{0,5}{3}$ $\frac{8}{3}$ $\frac{D}{3}$ $\frac{D}{3}$ $\frac{0,5}{3}$	30/30 30/30	$> \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $> \frac{20}{10}$ $> \frac{10}{5}$	
Transformator de curent, cu izolație de porțelan, tip suport, pentru montaj interior	CIPS-10	15—800/5 2(15—400)/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	$I_d = 250 I_{1n}$	$\frac{0,5}{3}$ $\frac{8}{3}$	15/30 30/30 30	$< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$	
Transformator de curent tip suport, pentru montaj interior, cu izolație din rășină turnată	CHRS-10 a	15—600/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	$I_d = 250 I_{1n}$	$\frac{0,5}{D}$ $\frac{0,5}{3}$ $\frac{1}{D}$ $\frac{1}{3}$	15/30 30/30	$< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$ $< \frac{10}{5}$ $> \frac{10}{5}$	

Tabelul 2.2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Idem, de 35 kV	CIRS-6; 10; 20; 35	$\frac{2(5-400)}{5/5}$	6 10 20 35	27 35 55 85	$I_t = 100 I_n$ $I_d = 250 I_n$		$\frac{0,5}{3}$ $\frac{1/3}{0,5/1}$ $\frac{0,2/1}{0,2/1}$	$\frac{15/30}{30/30}$ $\frac{30/30}{30/60}$	$\frac{<5}{>10}$ $\frac{<10}{>5}$	
Transformator de curent tip suport, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior	CESU-35	5-1 000/5	35	85 (95)	$I_t = 100 I_n$ $I_d = 250 I_n$		$\frac{0,5/3}{0,5 D}$ $\frac{D/D}{D/D}$	$\frac{50/50}{30/30}$ $\frac{30/30}{60/60}$	$\frac{>20}{<5}$ $\frac{<15}{>15}$ $\frac{<10}{>5}$	

Idem	CESU-100	150-300	110	220	$I_n = 100 I_n = 350 A$ (260)	$I_n$	$\frac{D/3}{D/D/3}$ $\frac{0,5/D}{D/D}$	$\frac{30}{60}$ $\frac{30}{30}$ $\frac{30}{30}$	$\frac{<15}{>15}$ $\frac{>5}{>15}$ $\frac{>15}{>15}$ $\frac{>15}{>5}$	
Transformator de curent, cu saturație rapidă, pentru alimentarea bobinelor de declanșare	CIS <sub>r</sub> -1	4-5/3,5	1	3	$I_{max durata} = 9,5 A$ $I_{2 max} = 8 A$					Bobinele de declanșare ale dispozitivelor de acționare a întrerupătoarelor folosesc curent alternativ
Transformator de curent homopolar (se introduce pe cablu)	CIH-75	$I_{1n} = 10 A$	0,5	2	0,2					Pentru protecția punerilor la pământ

relor de curent de orice tip sînt reprezentate în fig. 2.2, în care  $KL$  reprezintă înfășurarea primară, iar  $k_1 l_1$  și  $k_2 l_2$  înfășurările secundare.

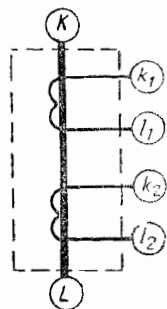


Fig. 2.2. Reprezentarea schemei electrice interioare a unui transformator de curent.

## 2.2. Transformatoare de fabricație străină

Transformatoarele de măsură obișnuite de fabricație străină sînt similare cu cele de fabricație românească, deosebindu-se de acestea numai în ceea ce privește forma și construcția unora dintre ele. Așa, de exemplu, transformatoarele de tensiune tip Skoda sînt prevăzute cu cîte două secții ale înfășurărilor secundare principale și auxiliare (fig. 2.3).

Cele două secții ale aceleiași înfășurări secundare pot fi legate în serie (în care caz tensiunea secundară este  $2U_{2n}$ , iar puterea este cea nominală) sau în paralel (în care caz tensiunea secundară este  $U_{2n}$  iar puterea  $2P_{2n}$ ). De asemenea se fabrică transformatoare de curent tip Skoda avînd schema interioară din fig. 2.4, la care un secundar are clasa de precizie 0,2 (pentru măsură).

Din categoria transformatoarelor speciale de fabricație străină, cel mai mult se utilizează:

— Transformatorul universal de curent tip UTT, portativ, de fabricație sovietică, avînd forma din fig. 2.5 și schema interioară ca în fig. 2.6. Înfășurarea primară a transformatorului este reprezentată de un cablu flexibil izolat, parcurs de curentul primar și care se bobinează în-

tr-un număr de spire determinat de raportul de transformare dorit, prin orificiul practicat în acest scop.

— Transformatorul de curent dreptunghiular, folosit ca filtru de curent de secvență homopolară în protecția contra

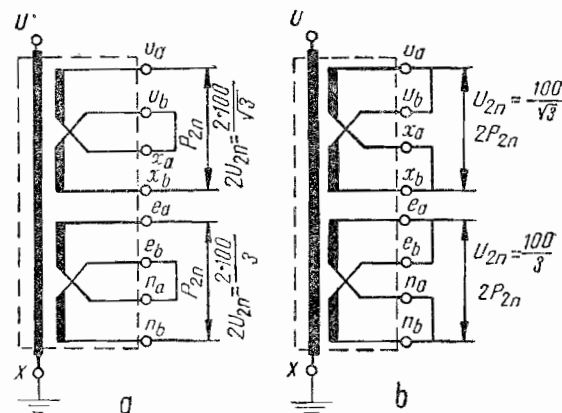


Fig. 2.3. Schema electrică de conexiuni a transformatoarelor de tensiune Skoda:

a — legarea în serie a secțiunilor; b — legarea în paralel a secțiunilor.

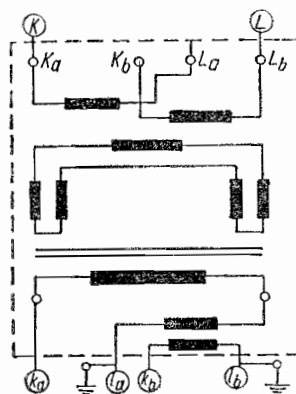


Fig. 2.4. Schema de conexiuni a transformatoarelor de curent Skoda.

punerilor la pământ monofazate în statorul generatorului (fig. 2.7). Forma lui este astfel aleasă, încît prin interiorul

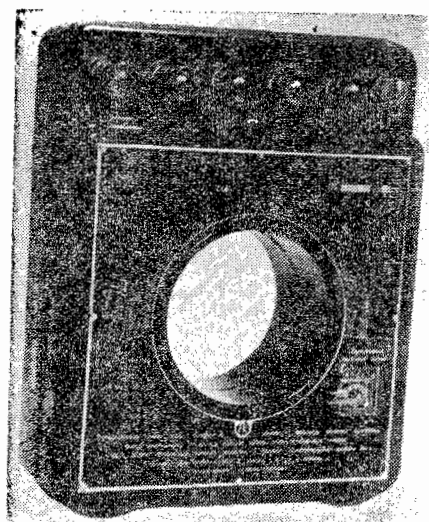


Fig. 2.5. Transformator universal de curent tip UTT.

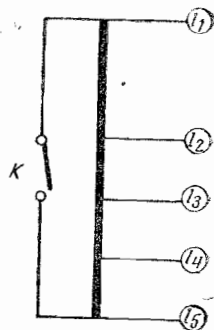


Fig. 2.6. Schema interioară a transformatorului universal de curent tip UTT.

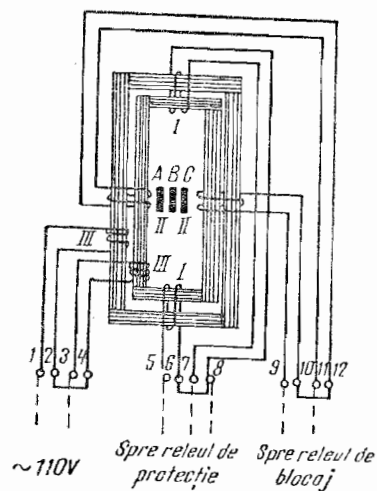


Fig. 2.7. Schema transformatorului dreptunghiular, homopolar de tip TMP-Ş.

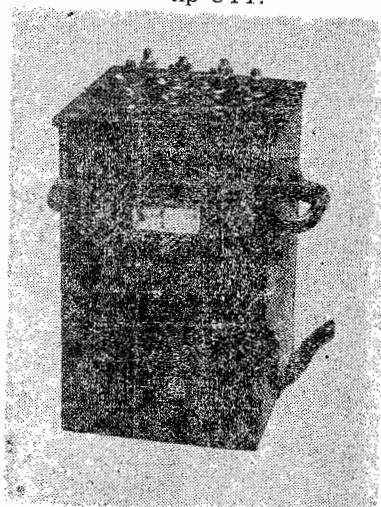


Fig. 2.8. Transformator etalon tip VEM.

miezului său se poată trece barele sau cablurile generatorului. În regim normal de funcționare și la scurtcircuitate bifazate și trifazate, fluxul magnetic rezultat este zero, astfel că în înfășurarea secundară bobinată pe miez nu apare tensiune electromotoare. În cazul punerii la pământ monofazate, fluxul rezultat nu mai este zero, datorită curentului mare din faza defectă, astfel că în secundar apare o tensiune electromotoare, care determină funcționarea protecției.

— Transformatoarele etalon tip VEM (fig. 2.8), având mai multe domenii de măsurare.

### 3. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură montate în instalații trebuie supravegheate permanent în timpul funcționării, de către personalul de exploatare. Exploatarea transformatoarelor de măsură constă în următoarele:

— Verificarea aspectului exterior al acestora, conform indicațiilor de la subcap. 5.2.

— Periodic (conform tabelului 5.1) este necesar să se scoată din funcțiune transformatoarele de măsură, pentru luarea probelor de ulei prin bușonul prevăzut în acest scop la partea inferioară a cuvei. Probele respective se trimit la laborator pentru determinarea calității uleiurilor.

— Se completează sau se umplu cu ulei transformatoarele de măsură care necesită acest lucru. Completarea, respectiv umplerea cu ulei, se fac numai pe la bușonul de aerisire, ce se află în partea superioară a cuvei.

— În cazul transformatoarelor de curent cu mai multe înfășurări secundare, dacă unele din acestea nu se folosesc, ele trebuie să fie scurtcircuitate. În cazul când se lucrează în circuitele secundare alimentate de transformatoarele de curent, acestea fiind în funcțiune, se vor lua de asemenea

măsură ca în timpul lucrării să fie scurtcircuitate toate înfășurările secundare, cu ajutorul unor cleme speciale sau cu blocuri de încercare.

— Transformatoarele de măsură trebuie supuse periodic (la termenele indicate în cap. 5) verificărilor și încercărilor prescrise.

— Respectarea normelor de tehnica securității și a instrucțiunilor tehnice interne este obligatorie în timpul exploatării transformatoarelor de măsură.

— Pentru toate transformatoarele de măsură este necesar să se țină o evidență tehnică la zi, care trebuie să cuprindă cel puțin:

— buletinele de verificare și încercare, emise de întreprinderea constructoare, precum și cele întocmite la punerea în funcțiune și periodic în exploatare sau la verificări ale organelor D.G.M.S.I.;

— datele la care s-au luat probele de ulei și rezultatele acestora, ale schimbării uleiului și ale completărilor cu ulei;

— datele la care s-au efectuat uscări sau reparații ale transformatorului, defecțiunile constatate, modul în care s-au manifestat și ce anume reparații au suferit;

— în ce instalații sînt montate și condițiile specifice de funcționare (temperatura mediului, existența agenților corosivi, încărcarea transformatorului, grupa de conexiuni, raportul de transformare etc.).

## **4. Schemele de legare a transformatoarelor de măsură în instalațiile electroenergetice**

### **4.1. Noțiuni generale**

În mod obișnuit, prin intermediul transformatoarelor de măsură se controlează următorii parametri caracteristici circuitelor trifazate [3]: curenții pe faze, tensiunea fiecărei

faze față de pământ și tensiunile între faze. De asemenea, acești parametri, reduși cu ajutorul transformatoarelor de măsură, se pot combina în circuitele secundare în așa fel încît pe de o parte să se poată măsura parametrii derivați, cum sînt: puterea, energia, factorul de putere etc., iar pe de altă parte să se poată obține mărimi care să caracterizeze anumite regimuri de funcționare, normale sau de avarie, ale instalațiilor. Acești parametri cu care se alimentează aparatul din circuitele secundare se pot obține prin realizarea unei serii de scheme de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune, respectiv ale celor de curent. Principalele scheme de conexiuni utilizate sînt indicate mai jos.

Avînd în vedere că o serie de aparate de măsurat și relee sînt sensibile nu numai la valoarea mărimilor cu care se alimentează ci și la sensul, respectiv la defazajul fazelor acestor mărimi, este necesar să se dea o atenție deosebită modului în care se execută schemele de conexiuni ale transformatoarelor de măsură. Din acest motiv, bornele transformatoarelor de măsură sînt marcate după anumite reguli stabilite de fiecare țară pentru produsele ei. Regulile de marcă stabilite pentru transformatoarele românești sînt următoarele [3]:

1. Pentru transformatoarele monofazate de tensiune:

— Bornele înfășurării primare sînt marcate cu litere mari:  $A$  pentru începutul înfășurării și  $X$  pentru sfîrșitul ei.

— Bornele înfășurării secundare principale — cu literele mici corespunzătoare ( $a$ ,  $x$ ), în așa fel încît, dacă curentul în înfășurarea primară circulă de la  $A$  spre  $X$ , în cea secundară va circula de la  $x$  spre  $a$ , ceea ce face să corespundă pentru circuitul exterior legat la aceste borne sensul de la  $a$  spre  $x$ , așa cum se vede în fig. 4.1.

— Bornele înfășurării secundare auxiliare se marchează cu  $a_1$ ,  $x_1$ .

2. Pentru transformatoarele trifazate de tensiune:

— Începuturile înfășurărilor primare ale fazelor  $R$ ,  $S$ ,  $T$



se marchează cu literele mari  $A, B, C$ , iar sfârșiturile acestor înfășurări — cu literele mari  $X, Y, Z$ ; neutrul înfășurării primare se marchează cu litera  $N$ .

— Începuturile înfășurărilor secundare principale se marchează cu literele mici corespunzătoare  $a, b, c$ , iar sfârșiturile acestora — cu literele mici  $x, y, z$ .

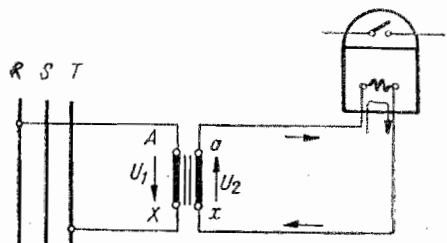


Fig. 4.1. Marcarea bornelor transformatoarelor de tensiune.

— Înfășurarea secundară auxiliară se marchează cu aceleași litere mici, purtând indicii 1 ( $a_1, x_1$ ); neutrul înfășurării secundare — cu  $n$ .

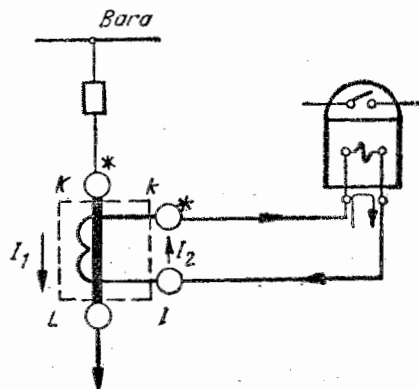


Fig. 4.2. Marcarea bornelor transformatoarelor de curent.

3. Pentru transformatoarele de curent, regula pe care se bazează marcarea bornelor este aceea că aparatul sau releul se conectează la secundarul transformatorului, astfel încât

sensul de curgere al curentului prin aparatul respectiv să fie același ca și în cazul cînd ar fi legat direct în circuitul primar (în rețea).

Începuturile înfășurărilor primare se notează cu literele mari  $K$  și  $L$  (prima literă marcînd începutul iar cea de-a doua sfîrșitul bobinajului primar).

— Înfășurările secundare se marchează cu literele mici corespunzătoare  $k$  și  $l$ , așa cum se vede în fig. 4.2. Dacă transformatorul are mai multe înfășurări secundare, literele  $k$  și  $l$  sînt urmate de indici numerici.

## 4.2. Schemele de legare a transformatoarelor de tensiune

### 4.2.1. Schema de legare pentru măsurarea tensiunii între faze

Această schemă este reprezentată în fig. 4.3 și se utilizează în toate cazurile în care este necesar să se măsoare o singură tensiune între faze în sistemele cu neutrul izolat (în țara noastră, în rețelele de medie tensiune pînă la 35 kV inclusiv). Cazurile practice în care se folosește această schemă sînt:

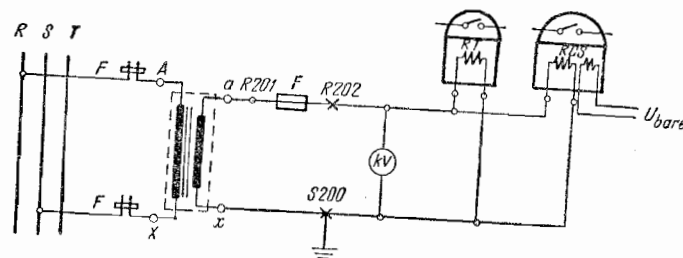


Fig. 4.3. Schema de conexiuni pentru măsurarea tensiunii între faze.

— controlul prezenței tensiunii pe liniile interconectate (se măsoară cu un voltmetru etalonat în kilovolți sau se verifică cu o lampă de control);

II — Expl. și întrețin. transform. de măsură

- alimentarea releelor de minimă și maximă tensiune (RT) utilizate în schemele de automatizări (RAR și AAR);
- alimentarea sincronoscopului, a dublu-voltmetrului, a dublu-frecvențmetrului sau a releului de control al sincronismului (RCS), aparate prin care se controlează condițiile de cuplare în sincronism a două surse.

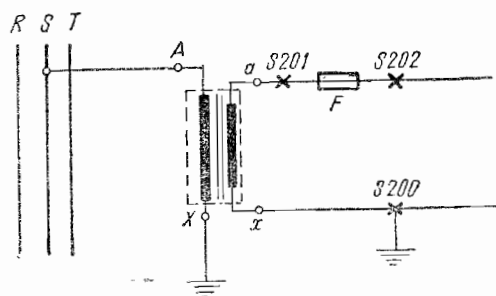


Fig. 4.4. Schema de conexiuni pentru măsurarea tensiunii fazei S față de pământ, în sistemele cu neutrul legat la pământ.

În cazul rețelelor cu neutrul legat la pământ (rețele de 110, 220 și 400 kV), pentru aceleași scopuri se utilizează schema din fig. 4.4 cu care se obține tensiunea fazei S față de pământ.

#### 4.2.2. Schema de legare în V

Se utilizează în rețelele cu neutrul izolat, pentru alimentarea aparatelor de măsurat, a aparaturii de protecție și automatizare, cu cele trei tensiuni între faze (de exemplu voltmetre, wattmetre și contoare cu două echipaje, rele de tensiune etc.). Pentru realizarea schemei de legare în V sînt necesare două transformatoare bifazate de tensiune, legate ca în fig. 4.5. În scopul realizării acestei conexiuni trebuie să se acorde o atenție deosebită, în sensul ca marcajul bornelor primare respectiv secundare să corespundă notațiilor din fig. 4.5. Schema are avanta-

jul că se economisește un transformator bifazat de tensiune, dar are dezavantajul că nu se pot obține în secundar tensiunile pe fază.

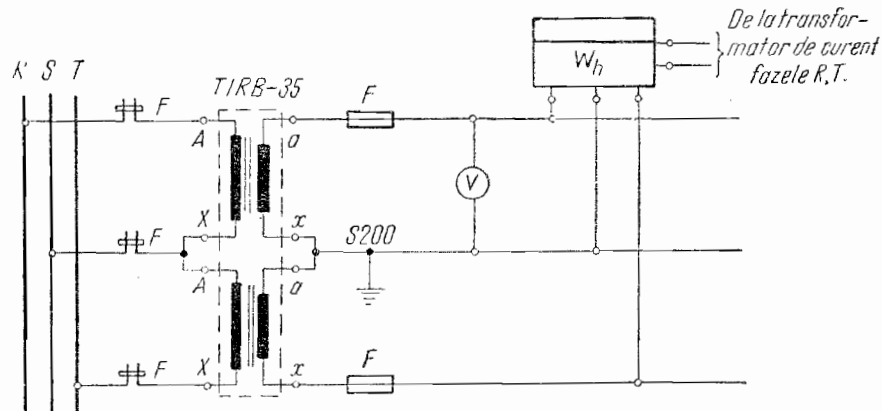


Fig. 4.5. Schema de conexiuni în V, a două transformatoare bifazate de tensiune.

#### 4.2.3. Schema de legare în stea

Se utilizează atît în sistemele cu neutrul izolat cît și în cele cu neutrul legat la pământ, pentru alimentarea aparatelor din circuitele secundare cu cele trei tensiuni pe fază și cu cele trei tensiuni între faze. Schema se poate realiza cu trei transformatoare de tensiune monofazate (TIRM-25,35, TEMU-25,35, TEMU-110) legate ca în fig. 4.6, din care rezultă că fiecare transformator are primarul conectat la tensiunea  $U_{1n}/\sqrt{3}$ . Secundarul principal al fiecărui transformator, notat cu *a*, *x*, are tensiunea nominală de  $100/\sqrt{3}$  V. Înfășurările secundare principale ale celor trei transformatoare de tensiune au bornele *x* (sfîrșiturile) legate împreună, formînd nulul stelei legat la pământ printr-un eclator, iar prin bornele *a* ale celor trei transformatoare se alimentează aparatele din circuitele secundare, cu tensiunile dintre faze. Tensiunile pe fază se realizează prin conectarea aparatelor între una din aceste faze și conductorul de nul, legat la steaua secundarelor

principale. Înfășurarea secundară suplimentară, notată cu  $a_1, x_1$ , are tensiunea de 100 V la TEMU-110 și 100/3 V la TEMU-25,35. Aceste înfășurări secundare auxiliare ale celor trei transformatoare de tensiune se leagă în triunghi deschis, ceea ce constituie un filtru de tensiune ho-

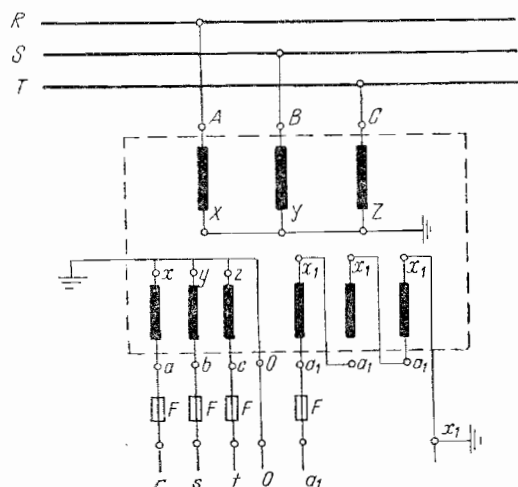


Fig. 4.6. Schema de conexiuni în stea.

mopolară (fig. 4.6), de la care se alimentează cu tensiune homopolară relele din schema de protecție homopolară

În regim normal de funcționare al rețelei sau în regim de scurtcircuit fără punere la pământ, dacă suma geometrică a celor trei tensiuni pe fază ale sistemului trifazat are valoarea zero, rezultă că și tensiunea la bornele triunghiului deschis ( $a_1, x_1$ ), numită *tensiune homopolară*, este egală cu zero. Datorită faptului că în mod practic există un oarecare dezechilibru în sistemele trifazate, valoarea tensiunii homopolare va fi diferită de zero însă va avea o valoare foarte mică (circa 0,5—2 V). La un defect cu punere la pământ al uneia dintre fazele rețelei de înaltă tensiune, la bornele triunghiului deschis apare o tensiune egală cu suma geometrică a tensiunilor celor două faze

sănătoase (fără defect). Numărul de spire ale bobinajelor secundare auxiliare  $a_1, x_1$  (deci raportul de transformare al transformatorului de tensiune) se alege astfel încât această sumă geometrică să aibă valoarea limită de 100 V, respectiv 100/3 V. Alegerea acestui raport de transformare are la bază faptul că în cazul punerii la pământ a uneia dintre fazele rețelei, tensiunea homopolară în rețelele cu neutrul legat direct la pământ este egală cu tensiunea pe fază  $U_f$  a rețelei, iar la rețelele cu neutrul izolat este egală cu  $\sqrt{3} U_f$ . Din acest motiv, raportul de transformare corespunzător înfășurărilor secundare auxiliare s-a ales la TEMU — 110 de  $\frac{110\,000}{\sqrt{3}} / 100$  V, iar la TEMU-25,35 — de  $\frac{35\,000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3}$  V.

La bornele  $a_1, x_1$  ale triunghiului deschis se conectează relele homopolare, care în cazul defectelor monofazate va fi alimentat la limită cu 100 V, având condiții de acționare. În cazul cînd în instalațiile de 110 kV se găsesc montate transformatoare cu tensiunea nominală a secundarului auxiliar de 100/3 V, este necesar să se monteze la bornele triunghiului deschis un transformator ridicător de tensiune de  $\frac{100}{3} / 100$  V, avînd o putere corespunzătoare, de la care apoi să se alimenteze relele direcționale tip IMB-178 ale protecției homopolare de curent direcționale a liniilor. Acest lucru este necesar deoarece relele IMB-178 sînt construite pentru  $U_n = 100$  V și  $I_n = 5$  A și, în consecință, dacă ar fi alimentate cu 100/3 V ar avea o siguranță în funcționare mai scăzută.

Schemele de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune monofazate descrise mai sus se întîlnesc și la transformatoarele de tensiune trifazate cu cinci coloane, ce se construiesc pentru tensiuni primare pînă la 35 kV (folosite în rețelele cu neutrul izolat). În fig. 4.7 se reprezintă schița unui transformator trifazat cu cinci coloane. Pe cele trei coloane din mijloc sînt amplasate înfășurările primare ale celor trei faze, conectate în stea cu punctul neutru scos și legat la pământ. Pe aceleași coloane este amplasată și înfășurarea secundară principală, legată în stea. Cele

două coloane extreme au rolul de a crea posibilitatea închiderii fluxului de secvență homopolară  $\Phi_0$  ce apare în cazul unui defect monofazat în rețeaua de înaltă tensiune. Din acest motiv, pe coloanele extreme se ampla-

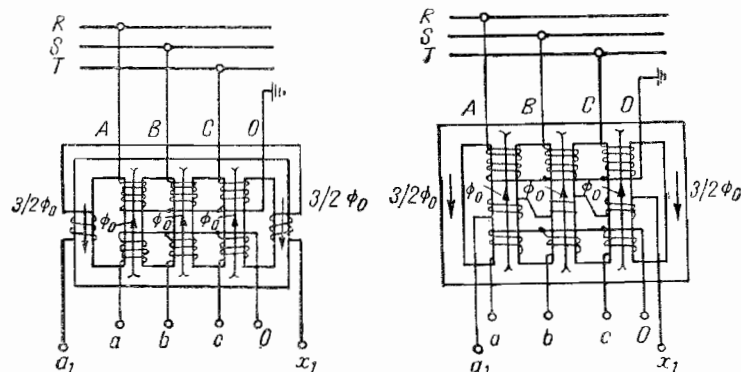


Fig. 4.7. Transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările suplimentare amplasate pe coloanele externe.

Fig. 4.8. Transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările secundare ale triunghiului deschis amplasate pe coloanele centrale.

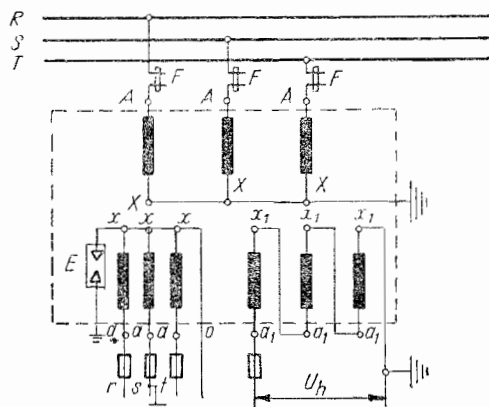


Fig. 4.9. Schema electrică de conexiuni a transformatorului de tensiune trifazat din fig. 4.8.

sează două înfășurări (legate împreună în serie și scoase la bornele  $a_1, x_1$ ) în care la defecte monofazate, din cauza fluxului homopolar, se induce o tensiune homopolară. În regim normal de funcționare, tensiunea la bornele  $a_1, x_1$  este nulă, deoarece suma tensiunilor electromotoare induse în cele trei faze ale înfășurării secundare principale este egală cu zero (nu există flux homopolar).

În fig. 4.8 se reprezintă un transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările secundare suplimentare ale triunghiului deschis amplasate pe coloanele centrale. Schema de conexiuni a acestui transformator, mult utilizat, este reprezentată în fig. 4.9. Cu ajutorul transformatorului de tensiune trifazat se pot obține cele trei tensiuni ale fiecărei faze față de pământ în sistemele cu neutrul izolat, cum și tensiunea homopolară.

#### 4.3. Schemele de legare a transformatoarelor de curent

##### 4.3.1. Schema de legare a două transformatoare în stea incompletă

Se realizează cu două transformatoare de curent montate pe două faze, în sistemele cu neutrul izolat, cu fazele încărcate uniform sau neuniform, așa cum se vede în fig. 4.10. Cele două rele (sau ampermetre) montate în secundar, unul pe faza  $R$  iar celălalt pe faza  $T$ , măsoară curenții secundari ai fazelor  $R$  și respectiv  $T$ , care au valorile:  $I_{2R} = \frac{I_{1R}}{k_e}$ , respectiv  $I_{2T} = \frac{I_{1T}}{k_e}$ .

În schemă se poate monta și un al treilea ampermetru sau releu, legat pe conductorul de întoarcere (releul  $H$ ) și care va măsura curentul fazei  $S$ . Acest lucru se vede clar din faptul că prin conductorul de întoarcere (releul  $H$ ) circulă un curent egal ca valoare cu suma curenților din fazele  $R$  și  $T$  și opus ca sens acestei sume. Oricum, în instalațiile indicate este întotdeauna îndeplinită condiția:  $I_{1R} + I_{1S} + I_{1T} = 0$ , de unde rezultă că

$I_{1S} = -(I_{1R} + I_{1T})$ . Deci releul  $H$  va măsura curentul

$$I_0 = I_{2S} = -\frac{I_{1R} + I_{1T}}{k_e}.$$

Această schemă se utilizează în sistemele cu neutrul izolat, pentru alimentarea protecțiilor împotriva scurtcircuitelor între faze. Releul  $H$ , legat pe firul de întoarcere,

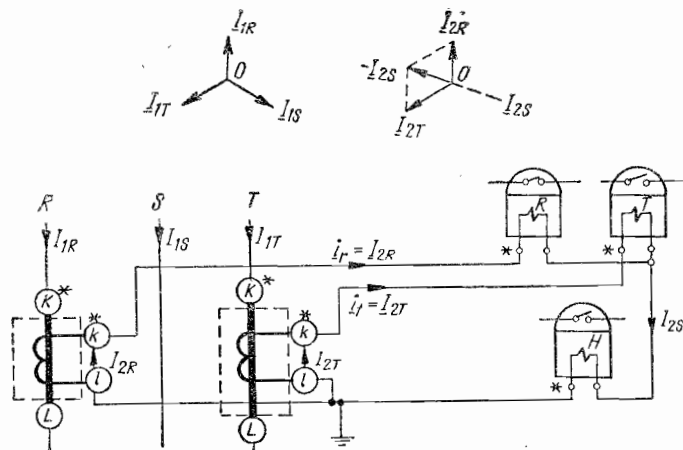


Fig. 4.10. Schema de legătură a două transformatoare de curent în stea incompletă și diagramele fazoriale ale curenților.

are condiții de lucru numai la scurtcircuite bifazate între fazele  $R$  și  $S$  sau  $S$  și  $T$ . Schema prezintă avantajul că în rețelele cu neutrul izolat se face economie de un transformator de curent (cel de pe faza  $S$ ) și de releul de pe faza  $S$ .

#### 4.3.2. Schema de legare a trei transformatoare în stea

Această schemă (fig. 4.11) se utilizează în rețelele cu neutrul legat la pământ. Secundarele celor trei transformatoare de curent de pe cele trei faze au bornele  $l$  legate împreună și la pământ (nulul stelei), iar de la bornele  $k$  ies firele ce se leagă la bornele releelor de pe cele trei faze

( $R, S, T$ ). În schemă se poate lega pe conductorul de întoarcere un al patrulea releu ( $H$ ). În regim normal de funcționare al rețelei, la o încărcare uniformă a fazelor, prin releul  $H$  nu trece nici un curent, iar prin cele trei relee

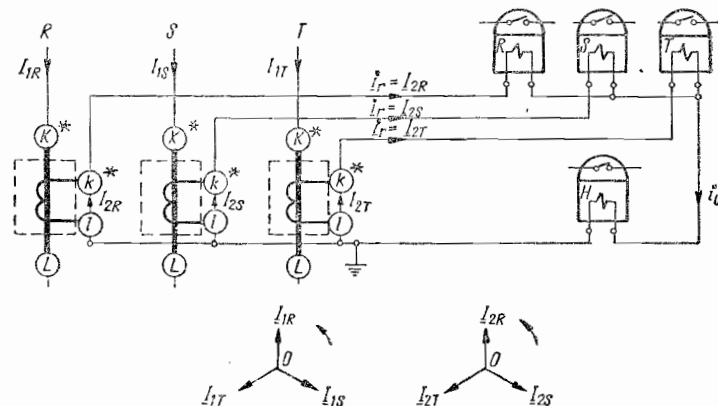


Fig. 4.11. Schema de legătură a trei transformatoare de curent în stea și diagramele fazoriale în primar, respectiv în secundar.

montate pe faze trec curenții fazelor respective ( $i_r = I_{2R} = \frac{I_{1R}}{k_e}$  etc.). În caz de scurtcircuit monofazat, prin releul montat pe faza defectă trece curentul de defect, iar prin releul  $H$  trece curentul de secvență homopolară,  $i_0 = \frac{I_{1R} + I_{1S} + I_{1T}}{k_e}$ . Rezultă că această schemă de conexiuni a transformatoarelor de curent se utilizează pentru alimentarea schemei de protecție împotriva tuturor categoriilor de scurtcircuite în rețele (scurtcircuit monofazat-releul  $H$ , scurtcircuite monofazate și polifazate-releele legate pe cele trei faze).

#### 4.3.3. Schema filtrului de secvență homopolară

Este reprezentată în fig. 4.12 și se realizează prin legarea în paralel a secundarelor celor trei transformatoare de pe cele trei faze. Releul  $H$  este inseriat pe conductorul ce

unește bornele  $k$  și  $l$ . Prin releul  $H$  va trece un curent numai în cazul scurtcircuitelor monofazate, respectiv în cazul punerii la pământ a unei faze, ca și prin releul  $H$  din fig. 4.11, deoarece atât în regim normal de funcțio-

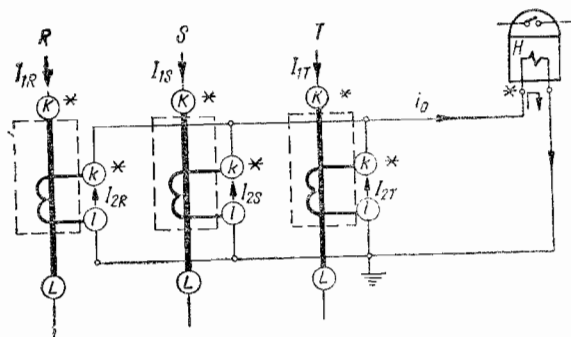


Fig. 4.12. Schema filtrului de secvență homopolară.

nare cât și la scurtcircuite bifazate și trifazate, suma geometrică a curenților de pe cele trei faze este zero. Acest tip de schemă de conexiuni a transformatoarelor de curent se folosește pentru alimentarea protecțiilor împotriva scurtcircuitelor monofazate din rețelele cu neutrul legat la pământ, ca și pentru alimentarea instalațiilor de semnalizare a punerii la pământ a unei faze în rețelele cu neutrul izolat, respectiv compensat.

#### 4.3.4. Schema de legare în triunghi

Secundarele celor trei transformatoare de curent se leagă în triunghi, așa cum se vede în fig. 4.13, și anume începutul înfășurării secundare a transformatorului de pe faza  $R(k)$  cu sfârșitul înfășurării secundare a transformatorului de pe faza  $S(l)$ . În continuare, borna  $k$  a transformatorului de pe faza  $S$  cu borna  $l$  a transformatorului de pe faza  $T$ , iar borna  $k$  a transformatorului de pe faza  $T$  cu borna  $l$  a transformatorului de pe faza  $R$ . În acest caz, curentul  $i_r$  cu care se alimentează releul  $R$  în regim nor-

mal de funcționare ca și în regim de scurtcircuit trifazat va fi de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decât curentul pe fază (adică  $i_r = 3I_{2R}$ ) și defazat cu  $30^\circ$  înaintea acestuia din urmă (vezi diagrama fazorială la bornele releelor, fig. 4.13).

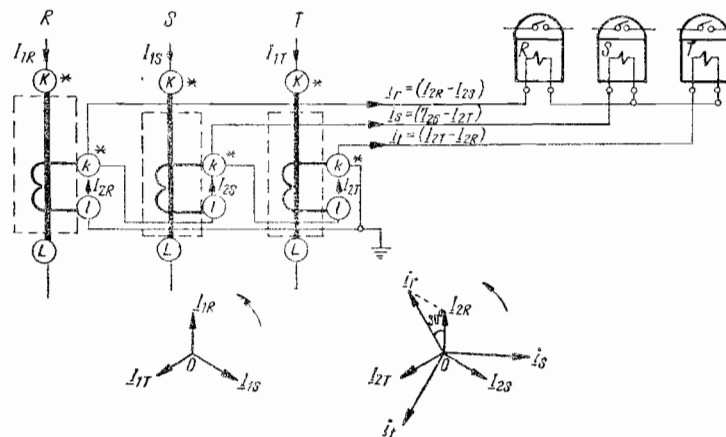


Fig. 4.13. Schema de legătură în triunghi a transformatoarelor de curent și diagramele fazoriale în primar, respectiv în secundar.

Triunghiul se poate realiza și invers, adică borna  $l$  a transformatorului de pe faza  $R$  cu borna  $k$  a transformatorului de pe faza  $S$  și așa mai departe. În acest caz, curenții cu care vor fi alimentate releele vor avea valoarea tot de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decât curenții pe faze ( $i_r = \sqrt{3}I_{2R}$ ;  $i_s = \sqrt{3}I_{2S}$ ;  $i_t = \sqrt{3}I_{2T}$ ), dar vor fi defazați în urmă cu  $30^\circ$  față de curenții pe faze.

Curentul de secvență homopolară  $i_0$  nu trece prin relee deoarece el se închide în triunghiul format de secundarele transformatoarelor de curent, astfel încît, la scurtcircuite monofazate, prin relee vor circula numai curenți de secvență directă și inversă.

Scoaterea firelor de la secundarele transformatoarelor de curent și ducerea lor la relee se poate face ca în fig. 4.13, adică de la bornele  $k$ , sau invers de la bor-

nele  $I$ . În acest din urmă caz, curentul prin releu va fi defazat cu  $120^\circ$  față de cel din primul caz.

Schema de conexiuni în triunghi permite acționarea releelor la orice fel de scurtcircuit și se utilizează în mod obișnuit pentru alimentarea instalațiilor de protecție diferențială.

#### 4.3.5. Schema de legare în opt

Este reprezentată în fig. 4.14 și se utilizează pentru alimentarea instalațiilor de protecție împotriva scurtcircuitelor polifazate ale motoarelor electrice alimentate din rețelele cu neutrul izolat. Nu se folosește pentru protecția transformatoarelor de forță avind conexiunea stea-triunghi.

Schema se realizează prin legarea bornei polarizate (semnul \*) secundare  $k$  a transformatorului de curent de pe faza  $R$  cu borna secundară nepolarizată  $l$  a transformatorului de pe faza  $T$ , precum și prin legarea bornei nepolarizate  $l$  a secundarului transformatorului fazei  $R$  cu borna polarizată  $k$  a secundarului transformatorului de pe faza  $T$ . Circuitul secundar exterior ce merge la releu se

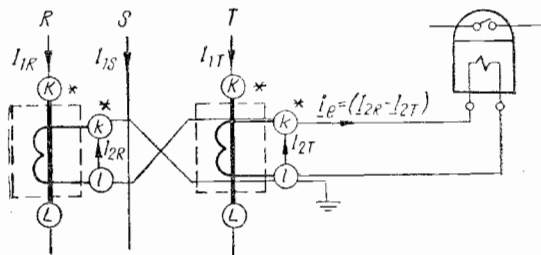


Fig. 4.14. Schema de legare a două transformatoare de curent în opt.

conectează la bornele  $k$  și  $l$  ale transformatorului de pe faza  $T$ , adică la diferența geometrică a curenților din secundarele celor două transformatoare de curent ( $i_e = I_{2R} - I_{2T}$ ).

Din fig. 4.15 se observă că în regim normal de funcționare al rețelei, precum și în regim de scurtcircuit trifazat, diferența geometrică  $i_e = (I_{2R} - I_{2T})$  este de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decât curentul pe fază. Aceasta datorită faptului că în regim normal și în regim de scurtcircuit trifazat, prin cele trei faze ale rețelei trec curenți egali ca valoare și defazați

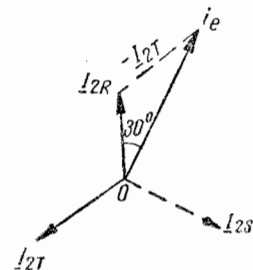


Fig. 4.15. Diagrama fazorială.

între ei cu  $120^\circ$ . Curenții din secundarele transformatoarelor de măsură de pe fazele  $R$  și  $T$  vor fi defazați corespunzător (curentul secundar  $I_{2S}$  desenat punctat în fig. 4.15 lipsește, deoarece pe faza  $S$  nu avem transformator de curent). Din diagrama fazorială reprezentată în fig. 4.15 se observă că prin circuitul exterior va trece în acest caz, curentul  $i_e = (I_{2R} - I_{2T}) = \sqrt{3} I_{2R}$ .

În regim de scurtcircuit trifazat al rețelei (fig. 4.16, a, b, c), valoarea curentului debitat de secundarele transformatoarelor legate în opt, pe circuitul secundar exterior (prin releu), depinde de fazele defecte, și anume:

— în cazul scurtcircuitelor între fazele  $R$  și  $S$ , curentul în circuitul exterior va fi  $i_e = I_{2R}$ ;

— la un scurtcircuit între fazele  $S$  și  $T$ , curentul va fi  $i_e = I_{2T}$ ;

— la un scurtcircuit între fazele  $R$  și  $T$ , curentul va fi  $i_e = 2 I_{2R}$ .

Dacă scurtcircuitul este monofazat, și anume pe faza  $S$  pe care nu avem transformator de curent, în circuitul exterior nu vom avea curent.

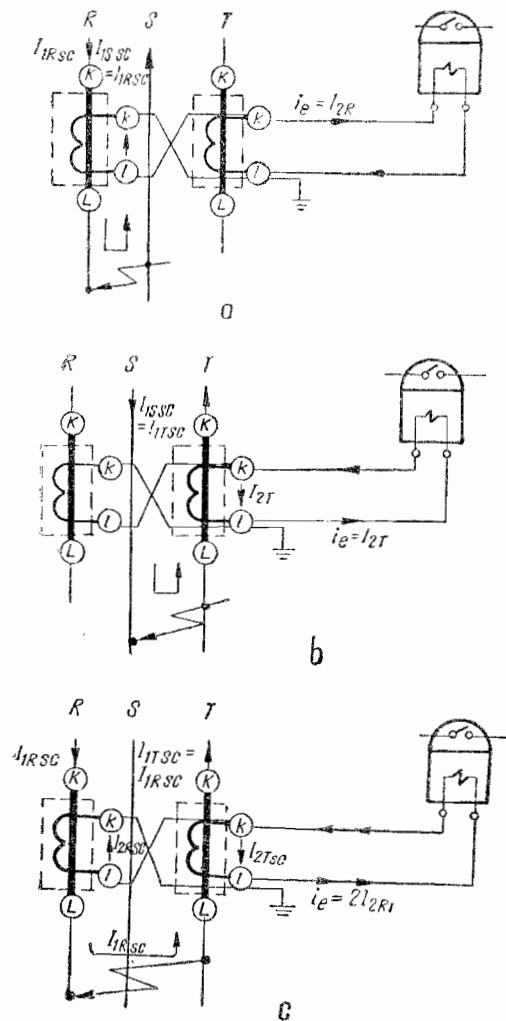


Fig. 4.16. Circulația curenților în circuitul secundar exterior alimentat de schema în opt, în regimul de scurtcircuit al rețelei: a — scurtcircuit bifazat RS; b — scurtcircuit bifazat ST; c — scurtcircuit bifazat RT.

#### 4.3.6. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în serie

Această schemă de conexiuni (fig. 4.17) se folosește în mod frecvent în cazul transformatoarelor de curent incluse în izolatoarele întreruptoarelor cu ulei IU-35. Se observă

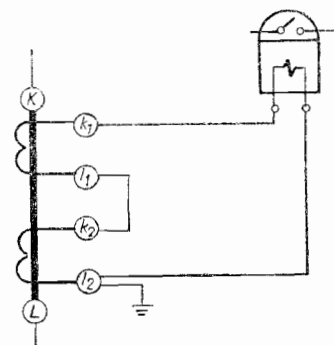


Fig. 4.17. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent legate în serie.

că secundarele de pe aceeași fază s-au legat în serie (borna  $l$  a primului secundar cu borna  $k$  a celui de-al doilea secundar), fapt pentru care sarcina ce revine fiecăruia dintre ele este de numai 50% din sarcina secundară totală. Prin această schemă se poate mări deci sarcina secundară utilă.

#### 4.3.7. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în paralel

La această schemă se leagă bornele secundare de același nume împreună și releul se conectează la bornele unuia dintre cele două secundare. Executînd conexiunea din fig. 4.18, raportul de transformare se micșorează de două ori față de cazul unui singur transformator, iar sarcina ce revine fiecăruia dintre secundare crește la dublu.

Această schemă se folosește în cazurile în care dorim să obținem un raport de transformare micșorat de două ori față de cazul cînd avem un singur transformator (de exemplu, legînd ca în fig. 4.18 două transformatoare de



75/5 A, se obține raportul nestandardizat de 37,5/5 A). De asemenea se poate folosi în cazul când dorim să realizăm puteri mari cu ajutorul transformatoarelor având raporturi de transformare mici. De exemplu, în loc să se folosească

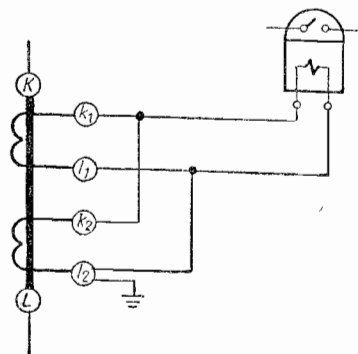


Fig. 4.18. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent legate în paralel.

un transformator cu raportul 50/5 A, care are o anumită putere (insuficientă pentru o situație determinată) se pot folosi două transformatoare cu raportul 50/2,5 A, care vor avea o putere dublă și un raport de 50/5 A.

## 5. Verificări și încercări ale transformatoarelor de măsură

### 5.1. Noțiuni generale

Transformatoarele de măsură, ca și restul echipamentului electric, sînt supuse în timpul funcționării la o serie de solicitări (electrice, termice, electrodinamice, întreruperi etc.), pe care acestea trebuie să le suporte în bune condiții. De aceea, asupra lor se fac o serie de măsurări, verificări și încercări, dintre care unele în laboratoarele întreprinderilor constructoare și institutelor de cercetări,

iar altele în exploatare. Probele la care se supun trebuie să reproducă cît mai fidel solicitările și condițiile pe care transformatoarele de măsură le întîlnesc la funcționarea în sarcină.

Grupa de încercări ce se execută de laboratoarele întreprinderilor constructoare are rolul de a verifica dacă transformatoarele fabricate corespund proiectului, normelor și standardelor prin care se impun caracteristicile acestora, condițiilor pe care ele trebuie să le îndeplinească și solicitărilor pe care trebuie să le suporte.

Grupa probelor de punere în funcțiune precum și a celor preventive (profilactice), ce se execută periodic în exploatare, are rolul de a ne ajuta ca pe baza rezultatelor obținute la măsurări să putem stabili starea transformatorului respectiv. Din interpretarea tehnică corectă a datelor obținute la această categorie de încercări se pot trage concluzii pe baza cărora se hotărăște rămînerea în continuare a transformatorului de măsură în funcțiune sau, dacă este necesară, scoaterea lui pentru reparație.

Pentru stabilirea stării izolației transformatoarelor de măsură se fac mai multe încercări, ce pot fi grupate în două mari categorii:

— Încercări nedistructive ale izolației, care să nu modifice comportarea normală a dielectricului și care cuprind: măsurarea rezistenței de izolație, a tangentei unghiului de pierderi dielectrice, a capacității dielectricului etc. Aceste încercări se fac în scopul de a stabili dacă izolația transformatorului este corespunzător uscată, dacă nu există defecte care să favorizeze descărcarea și străpungerea ei etc.

— Încercări distructive ale izolației transformatoarelor de măsură, care cuprind: încercarea cu tensiune alternativă mărită sinusoidală (50 Hz) și încercarea la tensiune de impuls.

Se menționează că măsurarea rezistenței de izolație poate fi o probă distructivă pentru aparatul de joasă tensiune. Aceste încercări se fac în scopul de a verifica starea nivelului de izolație al transformatoarelor, pentru a stabili dacă el suportă cele mai grele solicitări la care poate fi supus într-o anumită rețea dată. Volumul de verificări și încercări necesare a se efectua asupra transformatoarelor

de măsură este stabilit prin instrucțiunile întreprinderii constructoare și în baza instrucțiunilor indicate la [26; 27; 28; 29 și 30]. Se precizează că probele asupra transformatoarelor ce se află în exploatare se efectuează la fața locului, în condițiile indicate în capitolele respective. În laborator sînt aduse pentru verificare și încercare numai acele transformatoare de măsură care prezintă dubii în privința stării lor corespunzătoare, precum și cele noi sau cele ieșite din reparație.

## 5.2. Verificarea aspectului exterior

Această verificare este necesar a se realiza atît înainte de montare, pentru punerea în funcțiune, cît și în perioada de exploatare, cel puțin o dată la 8 ore (verificările de la punctele a și e). Verificarea constă în următoarele:

a. Examinarea integrității cuvei transformatorului și a etanșeității acesteia, respectiv a masei izolante. Nu sînt admise pierderile de ulei la transformatoarele cu izolație în ulei.

b. Examinarea nivelului uleiului din cuva transformatorului (prin sticla de nivel). Uleiul trebuie menținut în permanență la nivel, prin completare, mai ales în perioada friguroasă, cînd, datorită răcirii mediului ambiant, nivelul de ulei scade. Dacă la revizii se constată că din cuva transformatorului de măsură lipsește mai mult de 25% din volumul total de ulei, acesta este scos din funcțiune și introdus la uscat, după care se completează cu ulei, sub vid.

c. Verificarea integrității izolatoarelor.

d. Examinarea stării de curățenie generală a transformatorului.

e. Verificarea modului de funcționare în scopul de a stabili dacă transformatoarele de măsură nu prezintă zgomote anormale în funcționare. În cazul în care se constată astfel de zgomote (specifice descărcărilor, sau de altă natură), acestea trebuie scoase din funcțiune și supuse măsurărilor, în vederea depistării defectului.

f. La punerea în funcțiune se verifică poziția transformatoarelor; în cazul transformatoarelor cu ulei, acestea se montează în poziție verticală.

g. Verificarea stării corespunzătoare a bornelor.

h. Verificarea stării corespunzătoare a legăturilor de contact la borne. O legătură de contact necorespunzătoare se observă, în exploatare, prin schimbarea culorii acesteia în zona contactului slab.

i. Verificarea stării instalației fixe de legare la pămînt. Fiecare transformator se leagă la instalația de pămîntare prin șurubul de legare la pămînt, special prevăzut de întreprinderea constructoare.

j. Existența plombei și a mărcii verificării de stat și dacă nu a expirat termenul de verificare.

k. Existența notării clare a tuturor bornelor și a tăbliței indicatoare.

l. Înainte de punerea în funcțiune cum și după revizii și reparații este obligatorie verificarea corectitudinii legăturilor în schema electrică. De asemenea se verifică în mod special transformatoarele de curent în sensul de a nu rămîne deschise înfășurările secundare. Se menționează că un secundar deschis determină zgomote anormale ale transformatorului de curent numai cînd aparatul este parcurs de un curent apropiat ca valoare de curentul nominal primar.

Toate abaterile ce se constată cu ocazia verificării aspectului exterior se consemnează în registrul de tură sau de control, pentru a se lua imediat măsurile în consecință.

## 5.3. Încercarea uleiului din transformatoarele de măsură

Uleiul de transformator este un material electroizolant lichid, ce se obține prin distilarea țițeiului. Tipurile de uleiuri de transformator produse la noi în țară sînt: 2004; 2004 A; 2005 și 2005 A (STAS 811-61). Nu se pot amesteca uleiurile 2004 cu 2005. În unele transformatoare de măsură ca și în cele de forță, uleiul are rolul de material electroizolant (umple porii izolației, completează golurile din piețele izolante și preia o parte din acțiunea cîmpului elec-

tric), cum și de mediu de răcire (transportă căldura de la bobinaj și miez spre cuvă, de unde o cedează mediului ambiant).

Datorită faptului că sub acțiunea unor solicitări la care este supus în exploatare uleiul de transformator îmbătrânește (se alterează), el trebuie supus la o serie de probe, verificări și încercări periodice, prin care se determină dacă mai poate fi folosit sau trebuie înlocuit. Încercările la care trebuie supus uleiul de transformator se pot grupa în trei mari categorii, și anume:

1. Controlul curent al uleiului, care cuprinde:
  - determinarea conținutului de apă;
  - controlul mirosului uleiului (calitativ);
  - controlul limpezirii uleiului (calitativ);
  - controlul transparenței uleiului (calitativ);
  - determinarea rigidității dielectrice a uleiului;
  - determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice a uleiului.

2. Analiza redusă, care, pe lângă determinările prevăzute la controlul curent, mai cuprinde și următoarele:

- determinarea culorii uleiului;
- determinarea temperaturii de aprindere (punctului de inflamabilitate);

- determinarea indicelui de aciditate;
- efectuarea reacției extrasului apos;
- determinarea viscozității la 20°C;
- determinarea alcalinității;
- determinarea conținutului de cenușă;
- determinarea impurităților mecanice;
- determinarea punctului de anilină;
- determinarea punctului de congelare și a conținutului de cărbune.

3. Analiza completă a uleiului, care, pe lângă determinările prevăzute la analiza redusă, mai cuprinde și următoarele:

- determinarea greutății specifice la 20°C;
- determinarea indicelui de refracție;
- determinarea prezenței sau lipsei inhibitorilor;
- determinarea stabilității la oxidare;

— executarea probei Natron la puneri în funcțiune (condițiile probei și valorile admisibile sînt stabilite prin Normatorul 3 E-1-67, tabelul 5.1).

Tabelul 5.1

Periodicitatea efectuării probelor uleiului de transformator, conform normativului 3E-1-67

Felul uleiului	Felul aparatului din care se iau probe și tensiunea lui nominală	Intervalul de timp la care se efectuează		
		analiza curentă	analiza redusă	analiza completă
Ulei de transformator nou în rezervă	—	6 luni	1 an	La umplerea sau la completarea aparatului cu ulei
Ulei de transformator în exploatare	Aparataj cu $U_n \leq 10$ kV	—	3 ani	
	Idem $U_n = 10 \dots 35$ kV	1 an	3 ani	
	Idem $U_n > 35$ kV	1 an	1 an	
	Ulei de transformatoare capsulate	2 ani	—	
	Ulei din izolatoarele de trecere	—	1 an	
	Ulei din transformatoare și aparate ieșite din reparație capitală	—	După reparația capitală	

Pentru efectuarea încercărilor este necesar ca personalul de exploatare al instalațiilor respective să ia și să pregătească probele de ulei din transformatoarele de măsură conform STAS 811-61, STAS 286-63 și STAS 41-65. Nerespectarea condițiilor impuse de STAS pentru luarea

probelor are ca urmare denaturarea rezultatelor încercării uleiului. În alte lucrări sînt descrise probele uleiurilor de transformator [1, 15 etc.].

## 5.4. Măsurarea rezistenței de izolație

### 5.4.1. Noțiuni generale și aparatajul folosit

Materialele dielectrice folosite în construcția echipamentului electric (inclusiv a transformatoarelor de măsură), nefiind perfect electroizolante, permit trecerea prin ele a unui curent electric, numit *curent de conducție* (de scurgere). Cu cît materialul electroizolant are o calitate mai bună cu atît curentul de conducție va fi mai mic, iar rezistența electrică opusă de izolanț trecerii lui va fi mai mare. Curentul de conducție, dat de expresia

$$I_{cd} = \frac{U}{R_s + R_v} = \frac{U}{R_{iz}}, \quad (5.1)$$

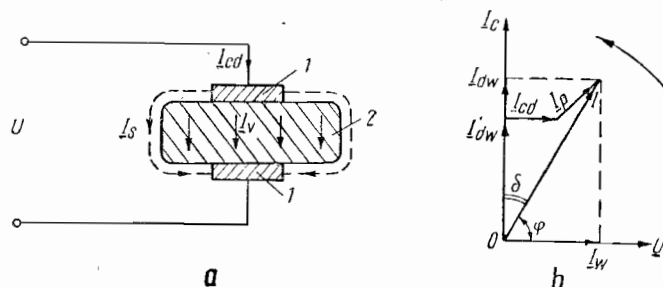


Fig. 5.1. Trecerea curentului prin materiale electroizolante: a - trecerea curentului de conducție  $I_{cd}$  prin materialul electroizolant 2, dintre armăturile metalice 1 supuse tensiunii  $U$ ; b - diagrama fazorială pentru dielectricii tehnici;  $I_{cd}$  - curentul de conducție;  $I_p$  - curentul datorită polarizării dielectricului;  $I'_{dw}$  - curentul capacitiv în cazul dielectricului perfect;  $I$  - curentul total prin dielectric, avînd componenta activă  $I_w$  și componenta capacitivă  $I_{dw}$ .

are două componente (fig. 5.1, a):

— curentul  $I_s$  pe suprafața dielectricului (numit curent superficial);

— curentul  $I_v$  (de trecere) prin volumul materialului izolanț.

Curentul de conducție prin materialul izolanț are caracter activ (spre deosebire de curentul  $I_p$ , determinat de fenomenul de polarizare a dielectricului, care are atît caracter activ cît și capacitiv) și determină o pierdere de putere activă în materialul izolanț (care se transformă în căldură), fapt ce duce la slăbirea proprietăților izolante ale materialului.

Ținînd cont de cele de mai sus, rezistența de izolație  $R_{iz}$  se definește ca fiind rezistența electrică rezultată a lui  $R_s$  și  $R_v$ , pe care o opune materialul izolanț trecerii curentului  $I_{cd}$ . Rezistența de izolație a materialelor folosite în construcția echipamentului electric are o valoare de ordinul megohmilor (milioanelor de ohmi), dar poate slăbi în timpul exploatării transformatoarelor de măsură precum și în timpul depozitării acestora, datorită următoarelor cauze:

— umiditatea pe care izolația o absoarbe din mediul înconjurător;

— îmbătrînirea naturală sau forțată a izolației, determinată mai ales de încălzirea peste limitele admise;

— depunerile de impurități pe suprafața materialului izolanț (praf, pilitură de fier, mușegai, vapori corosivi etc.).

Pentru a stabili dacă rezistența de izolație a transformatoarelor de măsură nu a scăzut sub anumite valori minime stabilite prin norme, este necesar ca după reparații, la punerea în funcțiune precum și periodic în exploatare, acestea să se măsoare. Aparatajul folosit pentru măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de măsură este următorul:

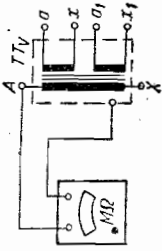
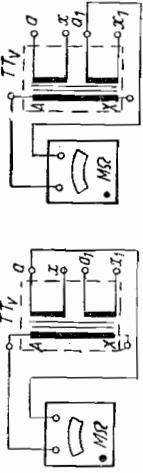
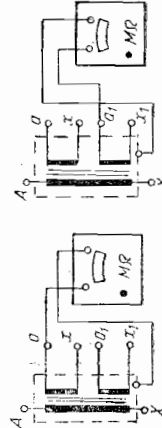
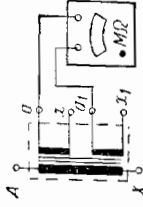
— megohmmetrul de 2 500 V (curent continuu) pentru izolația înfășurării de înaltă tensiune;

— megohmmetrul de 1 000 V (curent continuu) pentru izolația înfășurărilor secundare (joasă tensiune).

Înainte de efectuarea măsurării, starea megohmmetrului se verifică astfel:

— se învîrte manivela cu turația nominală sau se apasă butonul, megohmmetrul avînd bornele izolate; în acest caz,

Scheme pentru verificarea rezistenței de izolație

Modul de aplicare a tensiunii generate de megohmmetru	Schema de montaj	Valoarea minimă a rezistenței de izolație pe care trebuie să o aibă transformatorul de măsură
Între înfășurarea de înaltă tensiune și cuva transformatorului de măsură		Rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare decât 70% din valoarea rezistenței de izolație inițială sau indicată de întreprinderea constructoare. În lipsa datelor întreprinderii constructoare, rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare sau egală cu valoarea din tabelul 5.3.
Între înfășurarea de înaltă tensiune și fiecare înfășurare de joasă tensiune		Rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare decât 70% din valoarea rezistenței de izolație inițială sau indicată de întreprinderea constructoare. În lipsa datelor întreprinderii constructoare, rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare sau egală cu valoarea din tabelul 5.3.
Între fiecare înfășurare de joasă tensiune și cuvă		Rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare decât 2 MΩ.
Între înfășurările de joasă tensiune ale transformatorului		Rezistența de izolație măsurată trebuie să fie de cel puțin 70% din valoarea indicată de întreprinderea constructoare (sau din valorile inițiale).
Între jugul și buloanele de strângere a miezului de fier al transformatorului de măsură (cu megohmmetru de 1 000 V).		

el trebuie să indice valoarea infinit (în caz contrar se corectează);

— se scurtcircuitează bornele și se execută aceeași operație, la care megohmmetrul trebuie să indice valoarea zero.

#### 5.4.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor transformatoarelor de măsură

După pregătirea transformatoarelor de măsură și a megohmmetrului pentru verificare, se efectuează măsurările conform schemelor din tabelul 5.2. După executarea unuia din montajele din tabel, corespunzător măsurării ce se efectuează, se apasă butonul megohmmetrului (sau la tipul cu manivelă, aceasta se învîrte cu turația prescrisă) și se menține apăsat timp de 60 s. Valoarea indicată de megohmmetru după 60 s de la aplicarea tensiunii generate de el reprezintă valoarea rezistenței de izolație (tabelul 5.3).

Tabelul 5.3

Valorile orientative minime admise ale  $R_{iz}$  a înfășurării de înaltă tensiune, pentru transformatoarele de măsură [29]

Tensiunea nominală a înfășurării kV	Starea transformatorului de tensiune	Valorile medii de exploatare ale lui $R_{iz}$ în M $\Omega$ , la diverse temperaturi, în °C				
		5	10	20	30	40
$U_n \leq 10$ kV	După reparație	5 400	3 700	1 700	810	450
	În exploatare	3 300	2 150	1 000	570	240
$U_n = 10 \dots 35$ kV	După reparație	8 000	5 400	2 500	1 170	600
	În exploatare	4 800	3 250	1 450	700	360
$U_n > 35$ kV	După reparație	10 000	9 500	4 400	2 100	1 200
	În exploatare	8 400	5 400	2 400	1 200	900

Se recomandă ca în timpul măsurărilor megohmmetrul să fie așezat în poziție orizontală pe un material izolant uscat, iar conductoarele de legătură să aibă izolație tip magnetou și să fie suspendate în aer fără a se atinge între ele sau de un corp în contact cu pământul. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurării de înaltă tensiune față de cuvă nu se poate face la transformatoarele de tensiune care au un capăt al acestei înfășurări legat în interior la cuvă (cum este la TEMU-110).

#### 5.5. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ( $\tan \delta$ ) al izolației transformatoarelor de măsură

Această probă se efectuează la punerea în funcțiune, după schimbarea uleiului, după reparația capitală și periodic o dată la doi ani în exploatare, la toate transformatoarele de măsură avînd tensiunea nominală de 220 kV și mai mult.

După cum se știe, orice material electroizolant ce se află într-un câmp electric se încălzește datorită faptului că el nu este un izolant perfect. Dacă izolația ar fi perfectă, atunci curentul în ea ar fi pur capacitiv, adică defazat cu 90° înaintea tensiunii la care este supusă și, în consecință, nu s-ar produce pierderi de energie activă. Avînd însă în vedere că în izolația folosită în electrotehnică se produc pierderi de energie activă, rezultă că pe lângă componenta capacitivă  $I_{dw}$  a curentului, în ea apare și o componentă activă  $I_w$  (corespunzătoare pierderii de energie activă), care se compune cu cea capacitivă, dînd un curent rezultat  $I$  defazat față de tensiune nu cu 90° înainte, ci cu un unghi  $\varphi$  mai mic de 90° (fig. 5.1, b). Unghiul  $\delta$  (complimentar unghiului de defazaj  $\varphi$ ), dintre componenta capacitivă a curentului  $I_{dw}$  și curentului rezultat  $I$ , se numește *unghi de pierderi dielectrice*, iar tangenta acestui unghi se numește *tangenta unghiului de pierderi dielectrice* ( $\tan \delta$ ). Se constată că unghiul de pierderi dielectrice, respectiv  $\tan \delta$ , este cu atît mai mare cu cît puterea ce se transformă în căldură în dielectric (izolant) este mai mare, ceea ce în-

seamnă că izolația este cu atât mai slabă. Rezultă că  $\operatorname{tg} \delta$  caracterizează materialul electroizolant din punctul de vedere al pierderilor de energie.

Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ( $\operatorname{tg} \delta$ ) și a capacității izolanților se face cu ajutorul punții Wheatstone în curent alternativ (fig. 5.2). Pe principiul acestei scheme este construită și puntea Schering, mult folosită în exploatare pentru măsurarea  $\operatorname{tg} \delta$  și a capacității atât la joasă tensiune cit și la înaltă tensiune. Această instalație prezintă avantajul că permite măsurarea pierderilor în dielectrici la tensiuni mari în timpul măsurării (până la 10 kV), precum și citirea directă a  $\operatorname{tg} \delta$ . Funcționarea punții Schering se bazează pe principiul cunoscut, și anume că orice izolație surusă unui câmp electric formează un condensator ce se poate reprezenta printr-un circuit echivalent cu rezistența și capacitatea legate în serie (fig. 5.3)

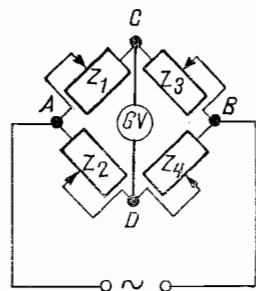


Fig. 5.2. Schema electrică de principiu a punții Wheatstone în curent alternativ:  $Z_1$ — $Z_4$  — impedanțe; GV — galvanometru.

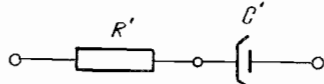


Fig. 5.3. Schema echivalentă a unui dielectric (legătura serie).

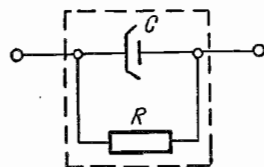


Fig. 5.4. Schema echivalentă a unui dielectric (legătura paralel).

sau în paralel (fig. 5.4). În instalațiile din țara noastră este mult utilizată puntea Schering portativă de gabarit mic, MD-16. Schema electrică a acestui tip de punte este reprezentată în fig. 5.5. După cum se vede din această schemă,

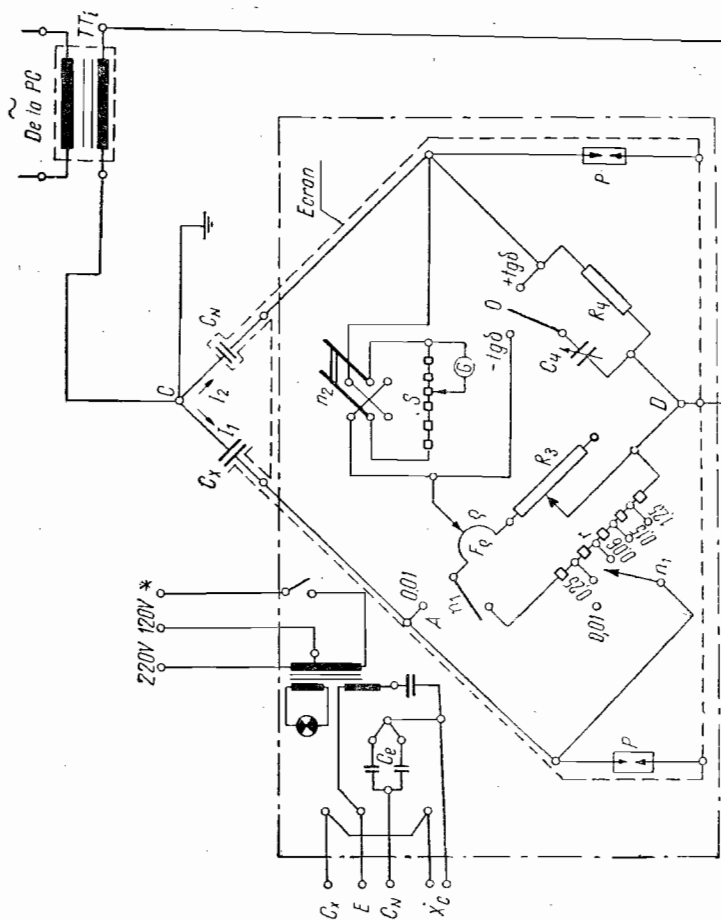


Fig. 5.5. Schema electrică a punții Schering de gabarit mic, tip MD-16.

puntea Schering tip MD-16 are următoarele părți componente:

1. Instalația de măsurare, montată într-o carcasă metalică, care cuprinde: cutia de rezistențe  $R_3$  cu patru decade, precum și șuntul  $r$  al rezistenței  $R_3$ , folosit pentru lărgirea limitelor de măsurare ale punții, la măsurarea capacităților mari; rezistența de reglaj fin  $F_0$ , având reglajul  $\rho = 0 \dots 1,2 \Omega$ ; cutia de capacități cu trei decade; galvanometrul  $GV$  și iluminatorul; condensatoarele etalon  $C_e$ , pentru măsurarea echipamentului electric de joasă tensiune (cu eroare de  $\pm 3\%$ ); comutatoarele de sensibilitate  $n_1$  și  $n_2$ ; comutatorul polarității, pentru conectarea galvanometrului (are pozițiile: zero;  $+\tan \delta$  și  $-\tan \delta$ ); descărcătoarele  $P$ ; șuntul galvanometrului  $S$ , cu care se reglează sensibilitatea galvanometrului.

2. Condensatorul etalon  $C_N$  de înaltă tensiune, separat de punte, având valoarea  $C = 0,5 \cdot 10^{-4} \mu F$ .

3. Transformatorul de încercare  $TT_i$ , având raportul de  $10/0,1$  kV de tip TIBU-10 sau TIRB-10, care nu se livrează cu puntea.

4. Pupitrul de comandă și reglare (fig. 5.6), care poate fi construit în atelierul electric al întreprinderii și cu ajutorul căruia se obține tensiunea variabilă ce se aplică transformatorului de încercare  $TT_i$ .

Pupitrul se alimentează cu tensiunea rețelei (220 V c.a.) la bornele  $P_1$  și  $P_2$ . Prezența tensiunii se constată prin aprinderea lămpii  $L_P$ . Pentru punerea în funcțiune a montajului este necesar să se apese butonul  $BI$ , care permite alimentarea bobinei  $E_a$  a contactorului DITU cu tensiunea fazelor  $ST$  (la faza  $T$  fiind de fapt legat neutru  $N$  al rețelei). Bobina  $E_a$  acționează închiderea contactelor principale și auxiliare ale contactorului DITU și astfel automatul se automenține. La închiderea contactelor contactorului DITU se aprinde lampa  $L_A$ , indicând că întregul montaj se află sub tensiune și că se poate regla tensiunea de la zero la valoarea necesară determinării. Deconectarea contactorului DITU poate avea loc în situațiile următoare:

— prin apăsarea butonului  $BD$ , în mod voit;

— la suprasarcini de lungă durată, prin contactul  $C_z$  acționat de relele termice  $R_t$  ale contactorului DITU;

— prin releul de curent  $RC-1-3$ , în cazul depășirii valorii curentului reglat de acționare a releului.

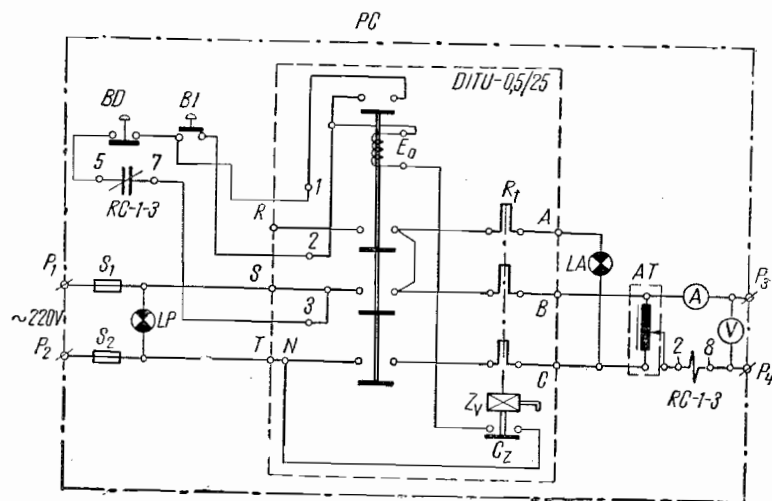


Fig. 5.6. Schema electrică a pupitrului de comandă:  
 $S_1, S_2$  — siguranțe fuzibile de 15 A;  $BI$  — buton de declanșare;  $BD$  — buton de declanșare;  $AT$  — autotransformator;  $RC-1-3$  — releu de curent cu scală;  $LP$  și  $LA$  — lămpi de semnalizare;  $V$  — voltmetru;  $A$  — ampermetru;  $E_a$  — bobina contactorului DITU;  $R_t$  — releu termic;  $C_z$  — contactul releului.

Montajul punții Schering (în vederea efectuării măsurărilor) se poate face în două feluri:

- cu schema normală (fig. 5.7);
- cu schemă inversă (fig. 5.8).

Schema normală se utilizează în cazurile în care toate înfășurările transformatorului ce se încercă sînt izolate între ele și față de pămînt. Ea dă rezultate mai precise decît schema inversă.

În cazul transformatoarelor de măsură nu se utilizează această schemă, deoarece ele posedă o singură înfășurare de înaltă tensiune, ci se folosește montajul punții în schemă inversă, cu excepția acelor transformatoare de



măsură care au un capăt al înfășurării de înaltă tensiune legat direct de masă.

Pentru efectuarea practică a măsurărilor  $\tan \delta$  și a capacității izolației unui transformator de măsură de înaltă ten-

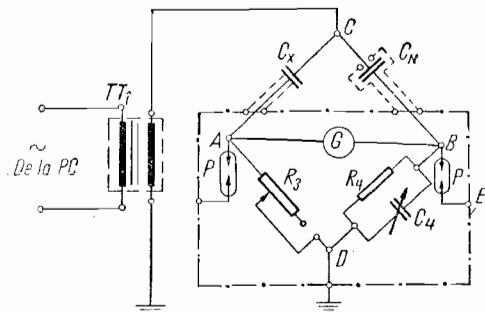


Fig. 5.7. Montajul în schema normală al punții Schering de tip MD-16.

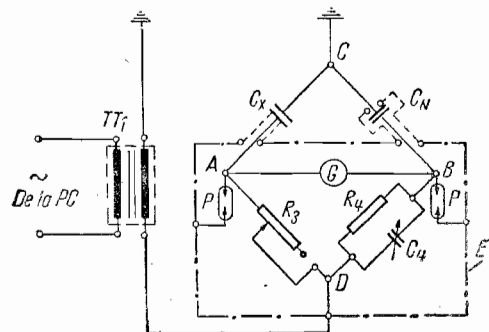


Fig. 5.8. Montajul în schema inversă al punții Schering de tip MD-16.

siune se execută montajul din fig. 5.9 (în schema inversă).

Pupitrul de comandă PC se amplasează lângă puntea Schering, în așa fel încât operatorul să poată regla tensiunea și să citească indicațiile ampermetrului și voltmetrului de pe podețul izolant. Măsurarea comportă următoarele operații:

— se verifică cu deosebită atenție corectitudinea legării la pământ, indicată pe schema din fig. 5.9;

— se controlează ca firul ce merge de la transformatorul  $TT_i$  la condensatorul etalon  $C_N$ , precum și toate cele

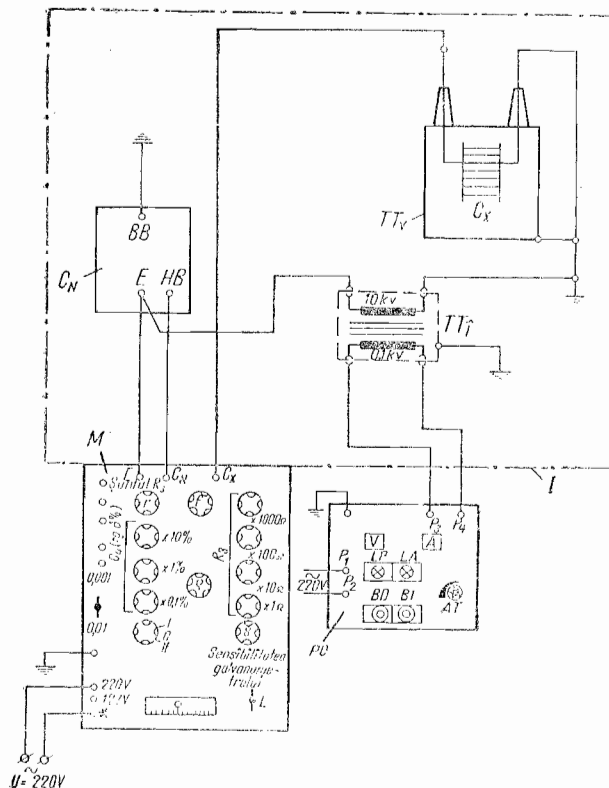


Fig. 5.9. Schema de montaj a punții Schering de tip MD-16, folosită la măsurarea  $\tan \delta$  și a capacității transformatoarelor de măsură de înaltă tensiune:

$M$  — instalația de măsură a punții Schering MD-16;  $C_N$  — condensatorul etalon, plasat pe un podeț izolat;  $TT_v$  — transformatorul de măsură supus verificării;  $TT_i$  — transformatorul de încercare;  $PC$  — pupitrul de comandă și reglaj;  $L$  — întreruptor pentru iluminatul galvanometrului  $GV$ ;  $I$  — îngrădire mobilă de protecție;  $C_x$  — capacitatea unei înfășurări a transformatorului față de celelalte înfășurări legate la cuvă și masă.

5 — Expl. și întrețin. transform. de măsură

trei fire ce pleacă de la punte să nu se atingă de carcasa punții sau de alte obiecte legate la pământ și să aibă față de acestea o distanță mai mare de 100—150 mm;

— din acest moment, montajul se consideră sub tensiune; se interzice apropierea altor persoane de instalație, cu excepția operatorului, care se găsește permanent pe podețul izolant, echipat cu mănuși și cizme dielectrice;

— comutatoarele rezistenței  $R_3$ , al lui  $C_4$ , al sensibilității  $S$  și al lui  $\rho$  (v. fig. 5.5) fiind pe poziția zero, iar comutatorul polarității pe poziția  $I(+tg\delta)$  și al șuntului  $r$  pe poziția corespunzătoare curentului presupus (conform tabelului 5.4), se aplică tensiunea prin apăsarea butonului  $BI$  de pe pupitrul  $PC$ .

Tabelul 5.4

Capacitatea izolației transformatorului în funcție de poziția comutatorului șuntului  $r$  [31]

Poziția comutatorului șuntului $r$ (curentul maxim admisibil, în A)	1,25	0,15	0,06	0,025	0,01
Valoarea rezistenței $r$ șuntate, în $\Omega$	4	10	25	60	$\infty$
Capacitatea izolației (cea mai mare la tensiunea de 10 kV), în $\mu F$	0,40	0,048	0,0194	0,008	0,003

5. Autotransformatorul  $AT$  din  $PC$  fiind în poziția zero, se manevrează ridicând tensiunea lin până la valoarea tensiunii de încercare, care pentru transformatoarele de 220 kV și mai mult este 10 kV. Voltmetrul  $V$  se citește ținând cont de raportul de transformare al transformatorului  $TT_1$  (10 000 V/100 V=100). În timpul ridicării tensiunii, precum și în timpul măsurării, operatorul trebuie să fie gata să decupleze tensiunea imediat ce apar fenomene anormale (străpungerea, conturnarea izolației, zgomote anormale sau apariția unui om în zona instalației).

6. Se învîrte comutatorul  $S$  de la zero, succesiv pe cîte una din pozițiile următoare, pînă cînd fasciculul de lumină are o lățime de circa 1,5 cm.

7. Se rotește mînerul pînă cînd se obține lățimea maximă a fasciculului de lumină. Dacă fasciculul ocupă scala aproape în întregime, se aduce comutatorul  $S$  pe o poziție inferioară (spre zero).

8. Se introduce treptat rezistența  $R_3$ , pînă cînd fasciculul își reduce lățimea la minimum.

9. Se trece  $S$  pe o poziție superioară, crescînd prin aceasta lățimea fasciculului, după care din nou se reglează  $R_3$  pînă cînd pentru noua poziție a lui  $S$  se obține lățimea minimă. Se procedează în același mod comutînd mînerul  $S$  pe poziții superioare. Schimbarea poziției lui  $S$  alternează permanent cu reglarea lui  $R$ , atît timp cît reglarea lui  $R_3$  în continuare duce la îngustarea fasciculului.

10. În această situație de minim pentru rezistențe, se trece la reglarea capacității  $C_4$  (din mînerile notate pe schema aparatului cu  $tg \delta$ , respectiv cu  $C_4$ ) și se alege cea valoare a ei pentru care fasciculul se mai micșorează.

11. Se comută din nou mînerul  $S$  pe poziții superioare, alternînd cu reglarea lui  $R_3$  și  $C_4$ , procedînd ca mai sus, pînă se ajunge la sensibilitatea maximă ( $S$  pe poziția 10) și la lățimea minimă a fasciculului.

12. La ultimele faze de echilibrare a punții (adică de micșorare a lățimii fasciculului pînă ce devine o linie) se uzează de reglajul rezistenței fine  $F_\phi$ .

13. Se rotește mînerul reglajului de frecvență pînă ce lățimea fasciculului devine maximă, după care se echilibrează din nou puntea ca mai sus.

14. Se notează valorile lui  $R_3$ ,  $F_\phi$  și  $tg \rho$ , precum și poziția comutatorului șuntului.

15. Se aduce comutatorul  $S$  de pe poziția 10 pe poziția zero, după care se readuc la zero mînerile lui  $R_3$  și  $C_4$ . Se coboară tensiunea la zero din mînerul  $AT$  de pe  $PC$  și se apasă butonul  $BD$ . Se scoate apoi cordonul de alimentare a lui  $PC$  din priză. Cu ajutorul unei prăjini electroizolante se aplică pămîntarea mobilă pe borna de înaltă tensiune a lui  $TT_1$ , după care se poate desface montajul.

Valoarea lui  $tg \delta$  este chiar valoarea lui  $tg \delta$  în procente, notată la punctul 14, și care se citește direct. Se

poate calcula capacitatea formată de transformatorul verificat  $TT_i$ , cu relația

$$C_x = C_N \frac{R_4 (R_3 + 100)}{r (R_3 + q)} \quad (5.2)$$

În cazul cînd șuntul a fost fixat pe timpul măsurării la poziția de 0,01 A, capacitatea se calculează cu relația

$$C_x = C_N \frac{R_4}{(R_3 + q)}, \quad (5.3)$$

în care  $C_N$  este capacitatea condensatorului etalon, egală cu  $0,5 \cdot 10^{-4} \mu F$ , iar  $R_4 = \frac{10\,000}{\pi} = 3\,184 \, \Omega$  ( $R_3$  și  $q$  sînt valorile măsurate, iar  $r$  este valoarea luată din tabelul 5.4).

Transformatoarele de măsură se consideră corespunzătoare din punctul de vedere al lui  $\tan \delta$  și al capacității, dacă valorile obținute prin măsurări corespund cu valorile date de întreprinderea constructoare sau cu valorile inițiale.

## 5.6. Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială

### 5.6.1. Noțiuni generale

Încercarea cu tensiune alternativă mărită, de frecvență industrială, a transformatoarelor de măsură, face parte din grupa încercărilor distructive ale izolației, care se face în scopul de a verifica nivelul de izolație a acestora, cum și stabilitatea izolației. Nivelul de izolație al transformatoarelor de măsură — ca de altfel al oricărui echipament electric — cuprinde toate izolațiile solide și fluide ale acestora, inclusiv izolația prin distanțele de separație în aer liber a pieselor conductoare avînd potențiale diferite. Nivelul de izolație al transformatoarelor de măsură se caracterizează prin:

— valoarea tensiunii alternative de frecvență industrială (50 Hz), aplicată transformatorului de măsură timp

de un minut, la care fiecare tip de transformator trebuie să reziste în condițiile prescrise de norme);

— valoarea amplitudinii de impuls, numită și *nivel de tinere la impuls*.

### 5.6.2. Efectuarea încercărilor

Înfășurarea primară a transformatoarelor de tensiune poate fi încercată la tensiunea alternativă sinusoidală mărită (avînd frecvența 50 Hz) prin două metode, și anume:

- metoda tensiunii aplicate;
- metoda tensiunii induse.

Încercarea cu tensiune mărită indiferent de metoda aplicată se face la punerea în funcțiune a transformatoarelor de tensiune, după reparația înfășurării și periodic în exploatare, conform instrucțiunilor tehnice interne, care țin cont de importanța instalației în care este montat transformatorul de tensiune (de exemplu o dată la trei ani). Pentru transformatoarele de tensiune avînd  $U_n > 35 \text{ kV}$ , încercarea cu tensiune alternativă mărită este o probă facultativă [29]. În orice caz, înainte de a se efectua proba cu tensiune alternativă mărită, trebuie să avem deja rezultatele corespunzătoare de la verificarea rezistenței de izolație, de la verificarea uleiului și valoarea  $\tan \delta$  a transformatorului respectiv.

Încercarea transformatoarelor de curenț se face numai prin metoda tensiunii aplicate.

**Metoda tensiunii aplicate** constă în a supune izolația transformatorului de măsură unei tensiuni de valoare prescrisă, luată de la o sursă reglabilă de tensiune. Tensiunea de încercare se aplică înfășurării de înaltă tensiune, față de înfășurările de joasă tensiune legate la cuvă și pămînt, a transformatoarelor care nu au un capăt al înfășurării primare legat la pămînt. Pentru efectuarea încercării este necesar aparatul montat ca în schema din fig. 5.10. Valorile tensiunii de încercare a transformatoarelor de măsură noi, precum și cele ce se aplică transformatoarelor din exploatare sînt indicate în tabelul 5.5. După verificarea corectitu-

dinii montajului din fig. 5.10 se trece la efectuarea încercării propriu-zise, care comportă următoarele operații:

— cu ajutorul mînerului  $A$  de pe pupitrul de comandă  $PC$  se ridică tensiunea pînă la maximum 50% din valoarea tensiunii de încercare indicată în tabelul 5.5

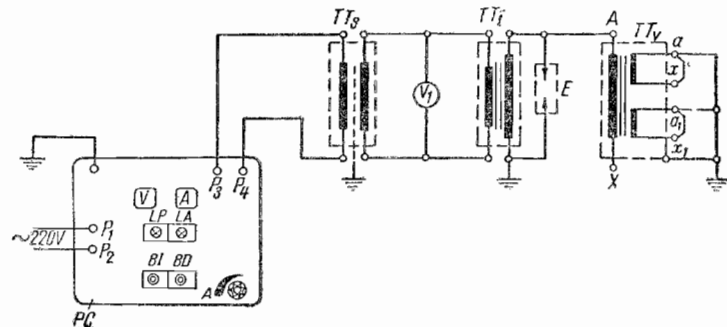


Fig. 5.10. Schema de montaj pentru încercarea transformatoarelor de măsură cu tensiune alternativă aplicată mărită:

$PC$  — pupitrul de comandă;  $TT_s$  — transformator de separare;  $TT_i$  — transformator de încercare;  $TT_v$  — transformator supus verificării;  $E$  — eciator.

Tabelul 5.5

Valorile tensiunilor de încercare ce se aplică transformatoarelor de măsură noi sau celor din exploatare [26; 27 și 29]

Starea transformatoarelor de măsură	Valorile tensiunii de încercare $U_i$ , în kV, în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV									
	0,5	3	6	10	15	25	35	60	110	220
Transformatoare de măsură noi (sau după reparație)	3	21	27	35	45	65	85	140	185 230*	395 460*
Transformatoare de măsură în exploatare	2,4	16,8	21,6	28	36	52	68	112	148 185*	316 368*

\* La transformatoarele de curent și de tensiune din rețelele cu neutrul nelegat la pământ.

(adică  $0,5 U_i$ ), citită la voltmetrul  $V_1$ ; după aceasta, cu ajutorul butonului  $BD$  de pe  $PC$  se deconectează montajul.

— se apasă pe butonul  $BI$  de pe  $PC$ , aplicînd astfel în mod brusc jumătate din tensiunea de încercare a transformatorului ce se verifică,  $TT_v$ ;

— apoi se ridică în continuare tensiunea, astfel încît în cel puțin 10 s și cel mult 30 s să se ajungă la valoarea lui  $U_i$ ;

— transformatorul  $TT_v$  se ține sub tensiunea  $U_i$  timp de un minut de la aplicarea acesteia, urmărindu-se dacă nu se produc străpungeri sau descărcări electrice;

— se scade tensiunea cu ajutorul lui  $A$  din  $PC$  pînă la valoarea zero, după care se deconectează;

— se pune transformatorul  $TT_v$  la masă cu ajutorul unei prăjini izolante.

Transformatorul de tensiune verificat  $TT_v$  se consideră corespunzător din acest punct de vedere, dacă a rezistat timp de un minut la tensiunea de încercare fără a se produce descărcări sau străpungeri, ce pot fi depistate vizual, auditiv sau prin deconectarea pupitrului de comandă la impulsul primit de protecția acestuia.

Metoda tensiunii induse constă în aplicarea unei tensiuni avînd frecvența de 50 Hz, la bornele secundare ale transformatorului de tensiune, astfel încît (ținînd cont de raportul de transformare al lui  $TT_v$ ) în înfășurarea primară a acestuia să se obțină o tensiune indusă egală cu valoarea dată în tabelul 5.6 (care este în același timp și tensiunea de încercare a izolației între spire, în kV). Încercarea prin această metodă se face cu ajutorul montajului din fig. 5.11, metoda folosindu-se pentru transformatoarele avînd  $U_n \geq 35$  kV. Aceasta permite încercarea în același timp și a izolației dintre spirele înfășurării.

Pentru efectuarea încercării, tensiunea se ridică treptat cu ajutorul lui  $AT$  din  $PC$ , citind valoarea ei la voltmetrul  $V_1$  și ținînd cont de raportul de transformare.

Transformatorul verificat se consideră corespunzător, dacă rezistă timp de un minut la tensiunea de încercare indicată în tabelul 5.6. În cazul cînd se dispune de aparataj de încercare corespunzător, se poate efectua încercarea cu

Tabelul 5.6

Valorile tensiunii induse ce se aplică transformatoarelor [28 și 29]

Starea transformatoarelor $TT_v$	Valoarea tensiunii de încercare $U_i$ în kV, în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV								
	0,5	3	6	10	15	25	35	60	220
Transformatoare de tensiune noi sau după reparație	1,25	7,5	15	25	37,5	55	75	100	150 195*
Transformatoare de tensiune în exploatare	$U_i = (1,15 \dots 1,3) U_{i,n}$								

\* Pentru transformatoarele din rețelele cu neutrul nelegat la pământ.

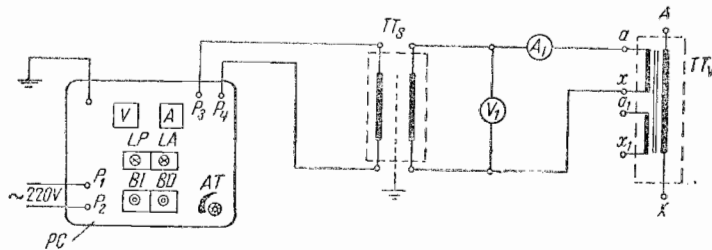


Fig. 5.11. Schema de montaj pentru încercarea transformatoarelor de măsură cu tensiune alternativă mărită, indusă:

PC — pupitrul de comandă și reglaj;  $TT_s$  — transformator de separare;  $V_1$  — voltmetru;  $TT_v$  — transformatorul de măsură supus verificării;  $A_1$  — ampermetru.

tensiunea alternativă mărită indusă, de frecvență 100—400 Hz, a înfășurării de înaltă tensiune (ca probă facultativă), valorile tensiunii de încercare fiind cele din tabelul 5.7.

Transformatorul se consideră corespunzător din punctul de vedere al acestei probe, dacă rezistă la  $U_i$  indicată în

Tabelul 5.7

Valorile tensiunii induse, cu frecvența de 100—400 Hz, ce se aplică transformatoarelor [29]

Starea transformatoarelor de verificat $TT_v$	Valoarea tensiunii de încercare $U_i$ , în kV în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV									
	0,5	3	6	10	15	25	35	60	110	220
Transformatoare de tensiune noi sau după reparația înfășurărilor	Conform tabelului 5.6									
Transformatoare de tensiune în exploatare	1	6	12	20	30	44	60	80	120 152*	312 268*

\* Pentru cazul când neutrul nu este legat efectiv la pământ.

tabelul 5.7, fără să prezinte descărcări sau străpungeri la o durată de timp calculată cu relația

$$t_i = 300 \frac{100}{f_i} \geq 90 \text{ s}, \quad (5.4)$$

unde  $f_i$  este frecvența tensiunii de încercare;

$t_i$  — durata menținerii tensiunii de încercare.

Pe lângă încercarea înfășurării primare, se supune încercării cu tensiune alternativă mărită ( $f=50$  Hz) fiecare din înfășurările secundare ale transformatorului de tensiune, la punerea lui în funcțiune, după reparația înfășurărilor și în exploatare, periodic o dată la doi ani. Încercarea constă în aplicarea timp de un minut a tensiunii de încercare (care este de 2 kV pentru transformatoarele noi și cele ieșite din reparație, respectiv 1 kV pentru transformatoarele din exploatare), fiecărei înfășurări secundare față de celelalte înfășurări secundare și, înfășurarea primară legată la cuvă și pământ (fig. 5.12). Pentru aplicarea tensiunii se procedează conform indicațiilor de mai sus. Transformatorul se consideră corespunzător, dacă suportă

tensiunea de încercare timp de un minut fără a se străpunge. Pe teren încercarea se poate face mai comod cu ajutorul trusei de 1 000 V, fabricată de IRME București (fig. 5.13).

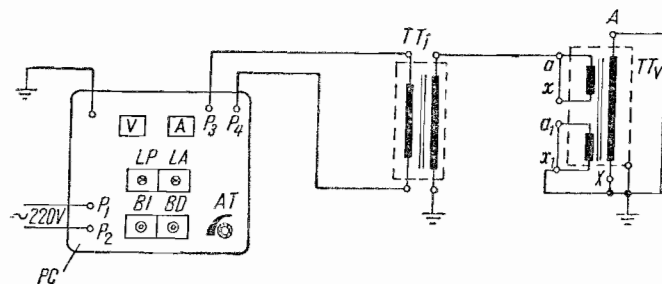


Fig. 5.12. Schema de montaj pentru încercarea cu tensiune alternativă mărită a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de măsură.

## 5.7. Încercarea izolației cu tensiune de impuls

În timpul funcționării, transformatoarele de măsură au de suportat solicitări electrice datorită supratensiunilor de frecvență industrială, provocate de fenomene de comutație, scurtcircuite, ruperi de conductoare, variații bruște de sarcină în rețea, precum și datorită supratensiunilor de origine atmosferică, provocate de descărcările atmosferice. Acestea din urmă apar sub forma unor unde unidirectionale de impuls, de scurtă durată (de ordinul microsecundelor), numite unde de impuls sau unde de șoc. Rezultatele obținute la încercarea cu tensiune alternativă mărită, de 50 Hz (subcap. 5.6) nu pot furniza informații asupra modului în care se va comporta aceeași izolație la solicitarea ei prin unda de impuls. Aceasta datorită faptului că fenomenele ce au loc în izolația transformatoarelor de măsură, la solicitările la care o supunem prin cele două încercări, sînt calitativ diferite. Solicitățile la care este supusă izolația datorită supratensiunilor atmosferice nu pot fi reproduse în laborator prin nici o altă încercare în afară de încercarea la unda de impuls. Datorită acestui fapt se

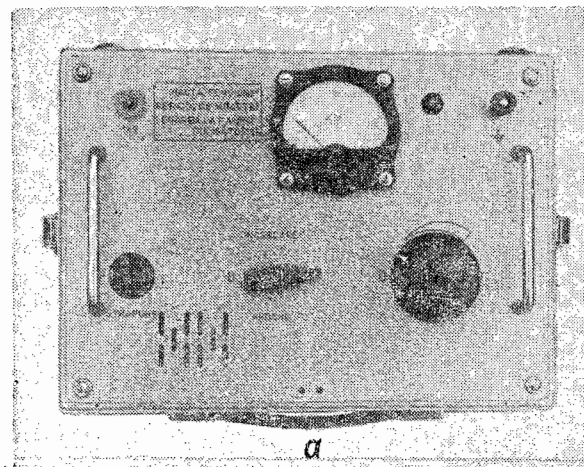


Diagrama comutatorului K

Nr. contactelor	Poziția manetei		
	1- $P_1$	2- $P_2$	3- $P_3$
Incercare	X	X	X
Zero	—	—	—
Ardere	X	X	—

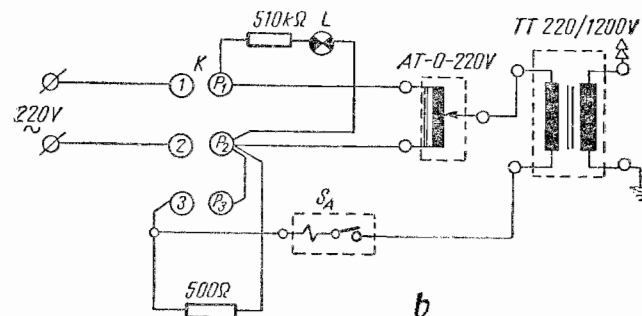


Fig. 5.13. Trusa IRME—1 000:

a — vederea frontală a trusei; b — schema electrică a trusei.

pune tot mai mult problema introducerii în nomenclatorul probelor și a încercării la unda de impuls. Acestea se pot produce în laborator cu ajutorul generatoarelor de impuls sau de șoc, constituite din condensatoare, generatoare electrostactice sau redresoare mecanice. Valoarea de vîrf a undei se consideră egală cu valoarea tensiunii de încercare (tabelul 5.8).

Tabelul 5.8

Valorile tensiunii de încercare la unda de impuls [27]

Tensiunea nominală a transformatorului de încercat	0,5	3	6	10	15	25	35	60	110	220
Tensiunea de încercare la unda de impuls de 1.2/50 $\mu$ S, în kV	—	45	60	75	95	150	195	325	450	900
									550*	1050*

\* La transformatoarele de curent și tensiune montate în rețele cînd neutrul nu este legat efectiv la pămînt.

Transformatoarele de măsură trebuie să suporte încercările la unde de impuls de ambele polarități, numărul de impulsuri fiind prescris (de exemplu cinci impulsuri de undă avînd amplitudinea indicată în tabelul 5.8, la care transformatorul nu trebuie să conturneze niciodată). Încercarea cu unda de impuls a transformatoarelor de măsură se face în întreprinderile constructoare și în exploatare, de către personalul cu înaltă calificare, special instruit în acest sens. Pentru încercările transformatoarelor din exploatare, există instalații de încercare mobile, montate pe autoremorci.

## 5.8. Măsurarea rezistenței înfășurărilor

### 5.8.1. Noțiuni generale și metode de măsurare

Această măsurare trebuie efectuată la punerea în funcțiune și cu ocazia reparației înfășurărilor transformatoarelor de măsură, în scopul de a stabili dacă legătura de con-

tact a capetelor înfășurărilor la borne este corespunzătoare (rezistență de contact mică), precum și de a verifica continuitatea înfășurărilor, în sensul ca acestea să nu aibă înterrupere. Rezistența de contact mare duce la încălzirea legăturii de contact, care favorizează oxidarea și în final înterruperea circuitului.

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor se poate face prin două metode, și anume: metoda volt-ampere și metoda punții Wheatstone.

**Metoda volt-ampere** constă în aplicarea unei tensiuni la bornele înfășurării respective și măsurarea tensiunii și a curentului absorbit de înfășurare (fig. 5.14). Rezistența înfășurării se obține din legea lui Ohm, prin împărțirea tensiunii măsurate la valoarea curentului măsurat ( $r_x = \frac{U}{I}$ ).

**Metoda punții Wheatstone** folosește schema din fig. 5.15, care conține trei rezistențe ( $r$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ), rezistența ohmică  $r_x$  a înfășurării ce se măsoară și galvanometrul cu ac indicator  $G$ . Rezistențele  $r$ ,  $r_1$  și  $r_2$  se pot regla în așa fel încît, la închiderea întreruptorului  $K$  și a butonului  $B$ , prin galvanometru să nu treacă curent (puntea echilibrată). În acest caz, valoarea rezistenței  $r_x$  ce se măsoară se calculează cu relația

$$r_x = r \frac{r_1}{r_2}, \quad (5.5)$$

valoare ce se poate citi direct pe punte. Datorită faptului că firele de legătură dintre punte și înfășurarea a cărei rezistență  $r_x$  se măsoară, precum și rezistențele de contact ale acestor fire intră în brațul punții, înseamnă că valoarea

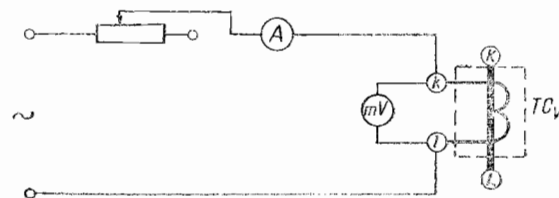
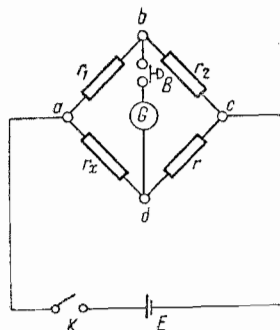


Fig. 5.14. Schema de montaj pentru măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor prin metoda volt-metru-ampmetru.

măsurată va conține și aceste rezistențe străine, adică va conține erori cu atât mai mari cu cât rezistența înfășurării măsurate va fi mai mică. Pentru eliminarea rezistențelor

Fig. 5.15. Schema de principiu a punții Wheatstone.



introduse de cordonalele de legătură și de contactele lor, deci pentru eliminarea erorilor introduse de acestea, în cazul măsurării rezistențelor mici (înfășurările transformatoarelor de curent și înfășurările secundare ale transformatoarelor de tensiune) se utilizează puntea dublă, a cărei schemă electrică este redată principal în fig. 5.16.

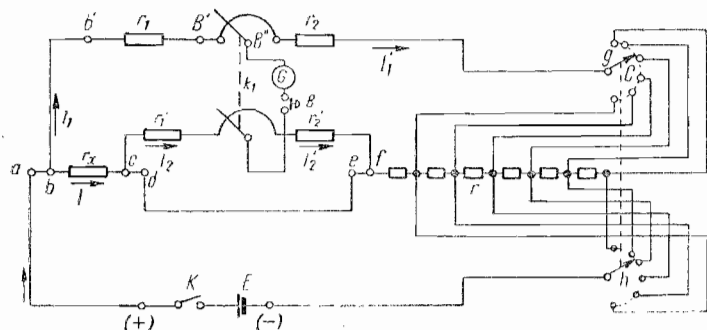


Fig. 5.16. Schema electrică a punții duble.

Cu ajutorul cursorului dublu  $k_1$  al punții se reglează fin raportul  $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_1'}{r_2'}$ , menținând egalitățile  $r_1 = r_1'$  și  $r_2 = r_2'$  pentru o anumită poziție a comutatorului dublu  $C$ , care

alege treptele rezistenței în decade  $r$ . Din cursorul dublu  $k_1$  se echilibrează deci puntea (se aduce acul galvanometrului la zero) pentru poziția fixă aleasă a comutatorului  $C$ . În acest caz rezistența necunoscută se obține din relația (5.5), în care  $r$  este valoarea rezistenței citite pe poziția fixată la comutatorul  $C$  în timpul măsurării, iar  $r_1/r_2$  este valoarea citită la cursorul  $K_1$  în momentul echilibrului punții. Se observă că la determinarea rezistenței necunoscute  $r_x$  cu ajutorul acestei punți nu intervin erorile de măsurare datorite rezistenței cordonale de legătură și nici rezistențele de contact ale acestor cordonale, din următoarele motive:

— rezistențele de contact ale cordonalelor de legătură din punctele  $b, b', B'$  și  $B''$ , precum și rezistența ohmică a cordonalelor  $bb'$  și  $B'B''$  sînt infinit mici față de rezistența  $r_1$ , avînd valori de circa  $10 \Omega$  și deci se pot neglija față de aceasta (același lucru este valabil și pentru brațul în care se găsește  $r_2$ );

— rezistențele de contact din punctele  $a, d, e$  și  $h$  se găsesc în exteriorul rezistenței  $r_x$  ce se măsoară, respectiv a lui  $r$ , adică în exteriorul punctelor  $bc$  și  $fg$ , din care se ia căderea de tensiune pe rezistențele respective și se aplică galvanometrului, astfel încît ele nu influențează rezultatele măsurărilor. În practică se utilizează puntea simplă (Wheatstone), pentru măsurarea rezistenței înfășurării primare a transformatoarelor de tensiune, și puntea dublă (fig. 5.16), pentru măsurarea rezistenței înfășurărilor transformatoarelor de curent și tensiune, punți cunoscute și sub denumirea de *ohmmetre*.

### 5.8.2. Efectuarea măsurărilor

Pentru efectuarea măsurării rezistenței ohmice a înfășurării de înaltă tensiune a transformatorului de tensiune se utilizează puntea Wheatstone (puntea simplă), conform montajului din fig. 5.17. După efectuarea montajului, comutatorul  $C$  se fixează pe o poziție avînd valoarea aproximativ de același ordin de mărime cu rezistența înfășurării primare a transformatorului de măsură (cursorul  $C$  poate avea pozițiile 0,1; 1; 10; 100; 1 000). Măsurarea începe prin



fixarea comutatorului  $C$  pe poziția 100. Apoi se fixează cursorul  $K_1$  pe poziția zero și se apasă butonul  $B$ . Dacă acul galvanometrului deviază spre stînga poziției de zero, se lasă butonul  $B$  și se fixează cursorul  $K_1$  pe poziția de rezistență maximă, după care se apasă din nou. Dacă de data aceasta acul deviază spre dreapta, se micșorează rezistența prin cursorul  $K_1$  pînă ce acul revine la zero, menținînd butonul  $B$  apăsat (cînd puntea se consideră echilibrată). Dacă, spre exemplu, puntea s-a echilibrat la valoarea de  $3 \Omega$  a cursorului  $K_1$ , atunci rezistența înfășurării transformatorului  $TT_v$  ce se verifică va fi  $r_x = 3 \cdot 100 = 300 \Omega$ .

În cazul cînd pe poziția aleasă a comutatorului  $C$ , puntea nu poate fi echilibrată, trebuie aleasă o altă poziție a acestuia. Pentru măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de măsură și a înfășurării primare a transformatoarelor de curent se procedează în același fel însă montajul folosit este altul, și

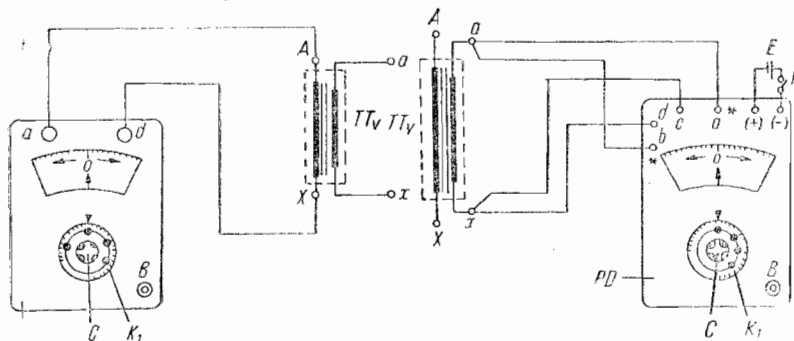


Fig. 5.17. Schema de montaj pentru măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor cu puntea Wheatstone:

$P$  — puntea simplă;  $TT_v$  — transformatorul de măsură supus verificării.

anume cel din fig. 5.18, intrucît în acest caz se folosește puntea dublă.

Transformatoarele de măsură se consideră corespunzătoare din punctul de vedere al rezistenței, în cazul cînd valorile măsurate nu diferă față de cele inițiale sau indicate

de întreprinderea constructoare cu mai mult de 2%. La transformatoarele de tensiune trifazate mai este o condiție suplimentară, și anume ca rezistența diferitelor faze să nu difere cu mai mult de 2% între ele. Dacă puntea indică valoarea infinit, înseamnă că înfășurarea este întreruptă. În acest caz transformatorul trebuie decuvat și reparat în atelier. Dacă puntea indică o valoare exagerat de mică în comparație cu rezistența indicată de întreprinderea constructoare, înseamnă că înfășurarea are spire în scurtcircuit și transformatorul de asemenea trebuie introdus în reparație.

## 5.9. Determinarea polarității bornelor

### 5.9.1. Noțiuni generale

După cum s-a arătat în cap. 4, bornele transformatoarelor de măsură sînt marcate după anumite reguli, ce trebuie respectate cu strictețe, acest lucru avînd o importanță deosebită mai ales în cazurile în care transformatoarele respective alimentează relee de putere (direcționale), scheme de protecție diferențială și de distanță, scheme de sincronizare din stații și centrale, wattmetre, varmetre, contoare de energie activă și reactivă.

În cazul cînd marcajul bornelor este greșit (inversat în urma unei reparații), instalațiile alimentate de transformatorul în cauză funcționează incorect. Pentru exemplificare, în fig. 5.19 s-a reprezentat o porțiune de rețea cuprinzînd sursele CTE-1 și CTE-2 și liniile electrice din stația  $S_1$ , cu întreruptoarele lor  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  și  $I_4$ . Protecțiile liniilor avînd întreruptoarele  $I_1$  și  $I_2$  trebuie direcționate în sensul de a da declanșare întreruptoarelor respective atunci cînd apar scurtcircuite pe aceste linii (sensul indicat prin săgeți cu linie plină în interiorul releului). Pentru a funcționa în acest mod (în sensul săgeții) este necesar ca transformatorul de curent să fie astfel conectat încît la un defect pe linie (cînd energia se scurge de la bara stației  $S_1$  spre linie), borna secundară polarizată  $k$  să fie legată la borna polarizată a bobinei de curent a releului direcțional (bornele po-

$\oplus$  — Expl. și întrețin. transform. de măsură

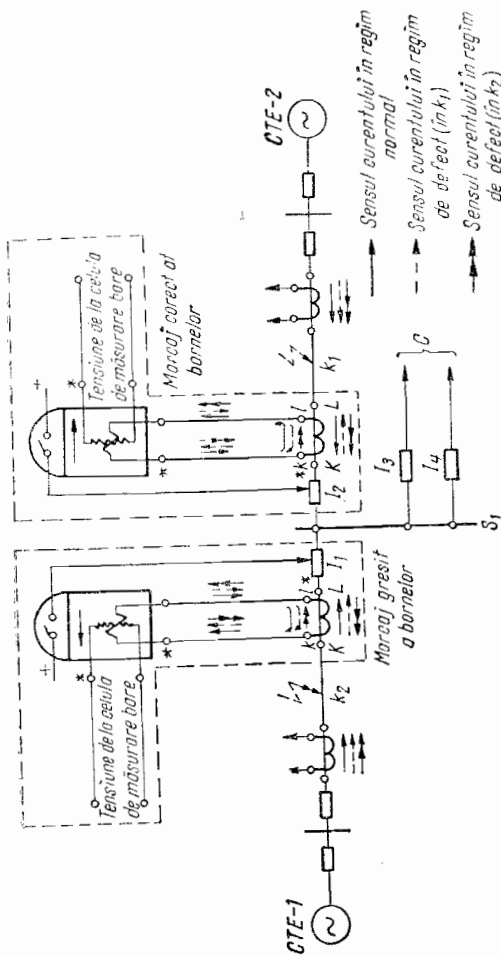


Fig. 5.19. Exemplu de folosire a unui marcaj corect, respectiv greșit, al bornelor secundare ale transformatoarelor de curent ce alimentează relee direcționale.

larizate sînt notate cu \*). Tensiunile trebuie, de asemenea, aplicate releului conform schemei de protecție. Presupunind că transformatorul de curent de pe linia cu întreruptorul  $I_1$  are inversat marcajul bornelor (așa cum s-a reprezentat în fig. 5.19) și că apare un scurtcircuit în punctul  $K_1$  pe LEA a întreruptorului  $I_2$ , întreruptorul  $I_1$  va declanșa (la impulsul protecției) incorect, iar întreruptorul  $I_2$  va declanșa corect. În această situație stația  $S_1$  rămîne fără tensiune, iar consumatorii alimentați de liniile  $C$  vor fi întreruși cu toate urmările ce decurg din aceasta. Pentru a se evita astfel de greșeli în conectarea instalațiilor de protecție, măsurare și automatizare, este absolut necesar să se verifice corectitudinea marcării bornelor transformatoarelor de măsură după reparație și la punerea în funcțiune. Verificarea corectitudinii marcării bornelor (verificarea polarității) constă în determinarea bornei secundare ce corespunde acelei borne primare în care *curentul intră*. Verificarea polarității se poate face prin mai multe metode, după cum se arată în cele ce urmează.

### 5.9.2. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune

Pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune se folosește *metoda curentului continuu*. Aparatul folosit în acest caz este: miliampermetru magnetoelectric de tipul cu amortizare mare și scală dublă (avînd zero la mijloc), cu domeniul de măsură 0—30 mA, sau un multavi ce se fixează pe scala de curent continuu în jurul valorii de 30 mA, un buton de sonerie și o baterie telefonică  $S$  de 1,5 V, montate ca în schema din fig. 5.20. Dacă polaritatea bornelor corespunde adică există și în realitate ceea ce se indică în schema din (fig. 5.20), atunci în momentul apăsării butonului  $B$  (care se ține apăsat maximum 2—3 s), acul miliampermetrului va devia de la zero spre dreapta scalei, după care revine la zero. Cînd se deschide butonul  $B$ , acul aparatului deviază spre stînga scalei, după care revine la zero. Dacă polarizarea bornelor nu corespunde (sînt marcate greșit), deviația acului miliampermetrului va fi de sens contrar primului caz. Pentru

a mări operativitatea măsurării și a evita greșelile de montaj, se poate utiliza la verificarea polarității un *indicator de polaritate* (fig. 5.21) ce poate fi construit în orice atelier. Reostatul  $R$  de circa  $1\,000\ \Omega$ , ce se reglează printr-un

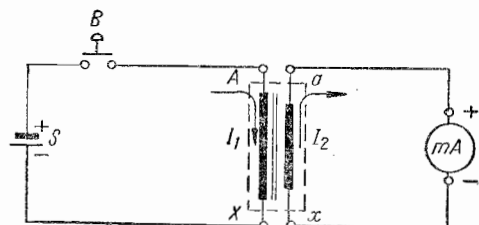


Fig. 5.20. Schema de montaj pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune, prin metoda curentului continuu:

$S$  — sursă de tensiune de curent continuu (pilă);  
 $B$  — buton;  $TT_v$  — transformatorul supus verificării;  $mA$  — miliampermetru.

șurub fără sfârșit, are rolul de a proteja miliampermetrul împotriva curenților prea mari, care ar provoca îndoirea acului indicator. Înainte de începerea măsurării, reostatul

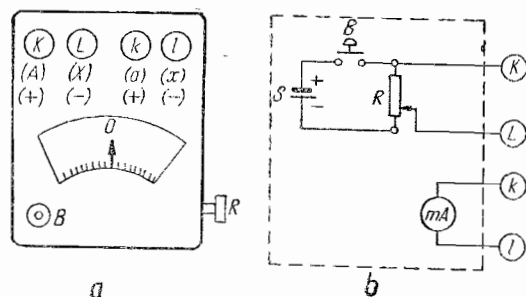


Fig. 5.21. Indicator de polaritate:

$a$  — aspectul exterior;  $b$  — schema electrică interioară.

se fixează pe poziția de rezistență maximă, după care se reglează pînă cînd se obține (la apăsarea butonului  $B$ ) o deviație ușor de remarcat.

La transformatoarele de măsură trifazate, pentru a verifica corectitudinea legăturilor interioare ale înfășurărilor primare, respectiv secundare, se determină grupa de conexiuni a acestora tot cu ajutorul *indicatorului de polaritate*,

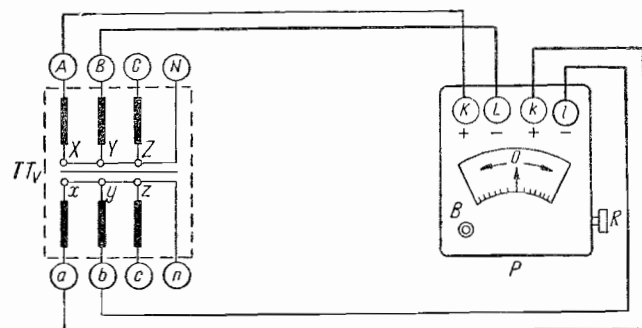


Fig. 5.22. Schema de montaj pentru determinarea grupei de conexiuni a transformatoarelor de tensiune cu indicatorul de polaritate:

$P$  — indicator de polaritate;  $TT_v$  — transformatorul supus verificării.

conform fig. 5.22. Se apasă pe butonul  $B$  și acul indicator al miliampermetrului va devia fie spre  $(+)$  fie spre  $(-)$ . Această deviație se introduce cu semnul respectiv în tabelul 5.9, după care se desfac legăturile de la  $a$  și  $b$  ale lui

Tabelul 5.9

Semnul deviației acului indicator al miliampermetrului

Borne primare \ Borne secundare			
	$ab$	$bc$	$ca$
$AB$	$+$	$-$	$-$
$BC$	$-$	$+$	$-$
$CA$	$-$	$-$	$+$

$TT_v$  (fig. 5.22) și se leagă borna  $b$  cu  $k$  și borna  $c$  cu  $l$ . Se repetă operația de mai sus și se notează semnul deviației în coloana  $bc$ . Se desfac apoi legăturile de la  $b$  și  $c$  și se

leagă borna  $c$  la  $k$ , iar  $a$  la  $l$  și se notează semnul deviației în rîndul  $AB$  coloana  $ca$ .

În continuare se desfac legăturile de la bornele primare  $A$  și  $B$  ale lui  $TT_v$  și se leagă borna  $B$  la  $K$  și  $C$  la

*Tabelul 5.10*

**Grupele de conexiuni posibile ale transformatoarelor și semnele pentru identificarea lor**

Bornele primare ale transformatoarelor, legate la bornele $KL$ ale polarimetrului	Semnele deviației miliampermetrului legat la bornele :								
	$ab$	$bc$	$ca$	$ab$	$bc$	$ca$	$ab$	$bc$	$ca$
	grupa 12			grupa 4			grupa 8		
$AB$	+	—	—	—	—	+	—	+	—
$BC$	—	+	—	+	—	—	—	—	+
$CA$	—	—	+	—	+	—	+	—	—
	grupa 6			grupa 10			grupa 2		
$AB$	—	+	+	+	+	—	+	—	+
$BC$	+	—	+	—	+	+	+	+	—
$CA$	+	+	—	+	—	+	—	+	+
	grupa 11			grupa 3			grupa 7		
$AB$	+	0	—	0	—	+	—	+	0
$BC$	—	+	0	+	0	—	0	—	+
$CA$	0	—	+	—	+	0	+	0	—
	grupa 1			grupa 5			grupa 9		
$AB$	+	—	0	—	0	+	0	+	—
$BC$	0	+	—	+	—	0	—	0	+
$CA$	—	0	+	0	+	—	+	—	0

$L$ , după care se repetă operațiile arătate mai sus, făcîndu-se permutări circulare cu legăturile pe secundar și notîndu-se în tabel semnele deviațiilor pe rîndul al doilea ( $BC$ ) în coloanele respective. De asemenea se repetă

verificările și pentru legăturile polarimetrului la bornele  $C$  și  $A$  ale  $TT_v$ . Pentru exemplificare, considerăm că la aceste verificări s-au obținut deviații avînd semnele notate în tabelul 5.9. Pentru a stabili grupa de conexiuni a transformatorului verificat  $TT_v$  se compară datele obținute și înscrise în tabelul 5.9 cu datele din tabelul 5.10.

Comparînd datele din cele două tabele, rezultă că transformatorul verificat are grupa de conexiuni  $Yy - 12$ .

**5.9.3. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent**

Această verificare se poate face prin metoda curentului continuu, prin metoda wattmetrică și prin metoda adunării algebrice a curenților.

**Metoda curentului continuu.** Se procedează ca la § 5.9.2, cu deosebirea că notațiile bornelor primare vor fi  $K$  și  $L$  în loc de  $A$  și  $X$ , iar în secundar  $k$  și  $l$  în loc de  $a$  și  $x$ .

**Metoda wattmetrică.** În cazul acestei metode se folosește schema de montaj din fig. 5.23 (cu linie plină). Cu ajutorul trusei  $TC-1200$  se alimentează montajul din fig. 5.23 cu un curent avînd o valoare aproximativ egală cu curentul nominal primar al transformatorului de curent  $TC_v$  ce se verifică și se notează sensul deviației acului indicator al wattmetrului cu scală dublă. Apoi se reduce curentul la zero și se efectuează legăturile la wattmetru conform schemei desenate cu linii întrerupte (fig. 5.23), repetîndu-se operația de mai sus. Dacă sensul deviațiilor are același semn, marcarea bornelor transformatorului de curent verificat este corectă.

**Metoda adunării algebrice a curenților.** Se alimentează montajul din fig. 5.24 cu un curent în limita domeniului de măsurare al ampermetrelor. Se observă că ampermetrul  $A_1$  va indica curentul din primarul transformatorului de verificat  $TC_v$ , iar ampermetrul  $A_2$  va indica suma curenților primar  $I_1$  și secundar  $I_2$ . Rezultă că marcarea bornelor corespunde în cazul cînd ampermetrul  $A_2$  indică o valoare mai mare decît ampermetrul  $A_1$ . Dacă ampermetrul  $A_2$  indică mai puțin decît  $A_1$ , marcajul bornelor nu corespunde întrucît ar avea aspectul din fig. 5.25. În

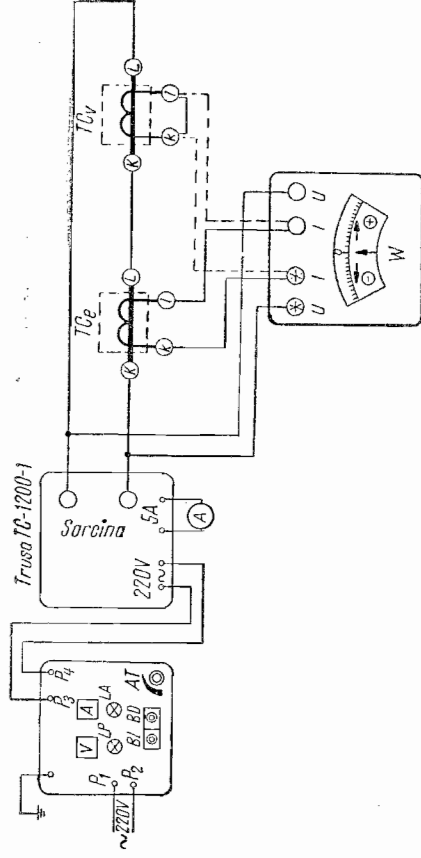


Fig. 5.23. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda wattmetrică:

PC — pupitrul de comandă; TC<sub>v</sub> — transformator de curent etalon; TC<sub>v</sub> — transformatorul supus verificării; W — wattmetru cu dublu sens.

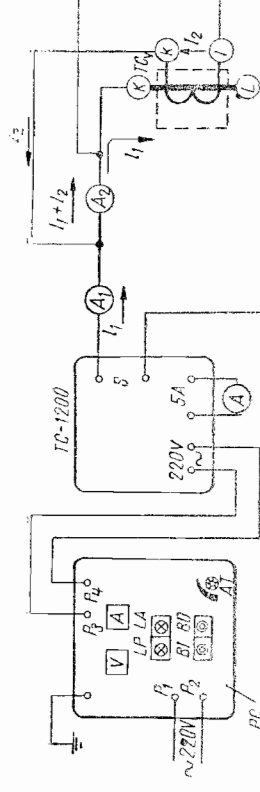


Fig. 5.24. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda adunării algebrice a curenților (marcajul bornelor corespunde):

PC — pupitrul de comandă; TC<sub>v</sub> — transformatorul supus verificării; A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> — ampermetre.

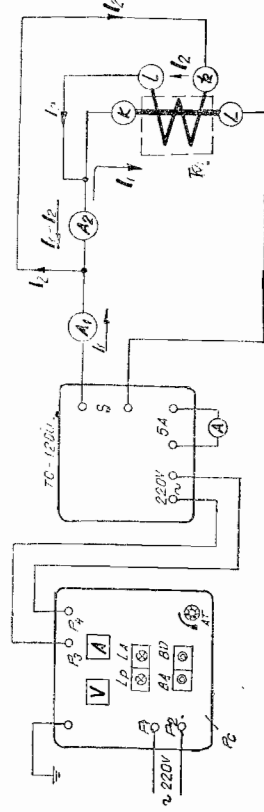


Fig. 5.25. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda adunării algebrice a curenților: PC — pupitrul de comandă; TC — trusă de 1200 A; T<sub>v</sub> — transformator supus verificării; A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> — ampermetre.

general, metoda adunării geometrice a curenților nu se folosește în practică, deoarece diferența (respectiv suma) curenților nu este suficient de sensibilă, datorită faptului că  $I_2$  este mic în comparație cu  $I_1$ .

#### 5.9.4. Verificarea legării grupelor de trei transformatoare de curent folosite pentru protecția diferențială

După cum se știe, protecțiile diferențiale folosesc două sau mai multe grupe de transformatoare de curent (a câte două sau trei transformatoare de curent într-o grupă), din care una, respectiv două grupe pot avea secundarele în conexiune triunghi. Verificarea conexiunii se face la punerea în funcțiune a protecției diferențiale, pentru a constata dacă legăturile înfășurărilor secundare

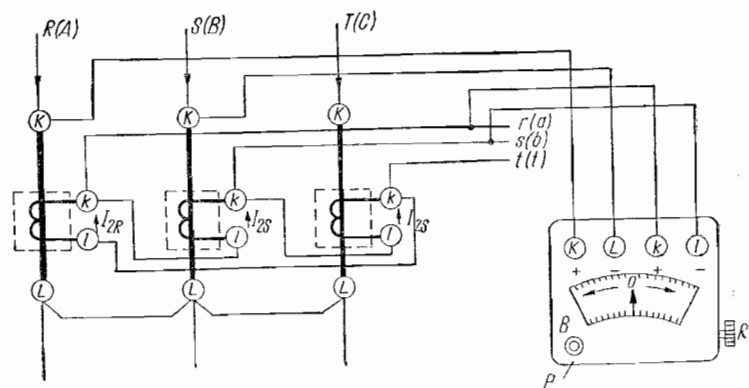


Fig. 5.26. Schema de montaj pentru verificarea conexiunii unei grupe de trei transformatoare de curent folosite la alimentarea protecției diferențiale:  
P — indicator de polaritate.

ale celor trei transformatoare de curent sînt conform proiectului. În fig. 5.26 s-a reprezentat grupa de trei transformatoare de curent pentru protecția diferențială, la care bornele primare L s-au legat împreună (scurtcircuitat) p-

timpul verificării. Operația de verificare se execută ca și în cazul grupeii de conexiuni a transformatoarelor de tensiune trifazate (§ 5.9.2). De asemenea, pentru stabilirea grupeii de conexiuni, rezultatele măsurărilor se compară cu datele din tabelul 5.10. Verificarea conexiunii grupeii de transformatoare de curent din protecția diferențială trebuie efectuată, pentru a evita punerea în funcțiune a acestei protecții cu legături greșite, fapt care ar avea ca urmare acționări false ale protecției și ar necesita scoaterea din funcțiune a instalațiilor pentru remedieri.

### 5.10. Determinarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi

#### 5.10.1. Noțiuni generale

După cum s-a amintit, în procesul de funcționare al transformatoarelor de măsură, mărimea primară este transpusă în circuitul secundar, redusă de un anumit număr de ori (în funcție de raportul de transformare). Ținînd cont de faptul că atît mărimile primare cît și cele secundare sînt mărimi fazoriale, analiza lor impune luarea în considerare nu numai a valorii acestor mărimi, ci și a sensului și a defazajului dintre ele.

Analizînd problema din punctul de vedere al valorii, se poate afirma că în primă aproximație, valoarea mărimii secundare este proporțională cu valoarea mărimii din primarul transformatorului. Datorită acestui fapt, dacă se înmulțește indicația aparatului de măsurat conectat la înfășurarea secundară a transformatorului, cu un coeficient numit *raport de transformare*, se poate determina valoarea mărimii din primar. Prin raport de transformare nominal ( $k_n$ ) al transformatorului de măsură se înțelege raportul dintre valoarea mărimii primare nominale ( $U_{1n}$  sau  $I_{1n}$ ) și a celeia secundare nominale ( $U_{2n}$  sau  $I_{2n}$ ), acest raport fiind înscris pe plăcuța indicatoare sub formă de fracție, și anume:

— Pentru transformatoarele de tensiune, raportul de transformare este dat de relația

$$k_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}},$$

în care:  $U_{1n}$  este tensiunea nominală primară, care se definește ca fiind tensiunea aplicată la bornele fazelor înfășurării primare în regim nominal de funcționare;

$U_{2n}$  — tensiunea nominală secundară, definită ca fiind tensiunea ce rezultă la bornele fazelor înfășurării secundare, atunci când înfășurării primare i se aplică tensiunea nominală (secundarul fiind deschis).

— Pentru transformatoarele de curent, raportul de transformare este dat de relația.

$$k_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}},$$

în care:  $I_{1n}$  este curentul nominal primar al transformatorului de curent, înscris pe plăcuța lui indicatoare, care determină condițiile nominale de funcționare ale transformatorului;

$I_{2n}$  — curentul nominal secundar, definit, conform STAS 4324-62, ca fiind valoarea curentului din înfășurarea secundară, înscris de plăcuța indicatoare și care determină condițiile de funcționare nominale ale transformatoarelor de curent (valorile standardizate ale lui  $I_{2n}$  sînt 5 A și, în cazuri speciale, 1A).

Exactitatea cu care se măsoară mărimea primară cu aparatul conectat în secundar nu este aceeași pentru întregul domeniu de variație al mărimii din circuitul primar. Acest lucru se datorește faptului că, în realitate, mărimile secundare nu variază proporțional cu cele primare și deci raportul de transformare  $k_n$  nu este constant pentru întregul domeniu de variație al mărimii primare. Rezultă că

mărimile primare se vor putea măsura cu exactitate în secundar, numai dacă se cunosc valorile raportului de transformare pentru toate condițiile de funcționare a transformatorului de măsură. Principalele condiții de funcționare a transformatorului de măsură, respectiv principalii parametri de care depinde de valoarea raportului de transformare, sînt:

— regimul de funcționare al transformatorului de măsură (supraîncărcat, în gol, dezechilibru pe faze, scurtcircuit etc.);

— valoarea tensiunii primare, respectiv a curentului primar, determinată de condițiile de lucru ale circuitului primar și de frecvența acestora;

— valoarea sarcinii secundare;

— caracterul sarcinii conectate la secundarul transformatorului de măsură (în funcție de caracterul receptoarelor, poate predomina sarcina secundară cu caracter activ sau cu caracter reactiv);

— calitatea materialului tolelor miezului magnetic și a prelucrării lui.

Datorită celor expuse mai sus, pentru a măsura cu exactitate mărimea primară, ar fi necesar ca indicația aparatului de măsurat din secundar să se înmulțească nu cu raportul nominal de transformare  $k_n$ , ci cu un alt raport, numit *raport de transformare efectiv (real)*  $k_e$ . Prin raport de transformare efectiv (real)  $k_e$  al transformatorului de măsură se înțelege raportul dintre valoarea mărimii primare reale ( $U_1$  sau  $I_1$ ) și valoarea mărimii secundare reale ( $U_2$  sau  $I_2$ ). În practică însă, este incomod să se folosească raportul real de transformare, deoarece acesta variază ca valoare în funcție de condițiile arătate mai sus. Din acest motiv, valoarea indicată de aparatul de măsurat conectat în secundar se înmulțește nu cu raportul efectiv (real) de transformare  $k_e$ , ci tot cu raportul nominal  $k_n$  care este constant, fapt pentru care indicațiile aparatelor de măsurat din secundar vor conține erori (eroare de tensiune, respectiv de curent).

Dacă problema este privită din cel de-al doilea punct de vedere, și anume al sensului și defazajului fazorilor ce reprezintă mărimile primare și secundare ale transforma-

toarelor de măsură, atunci la măsurarea unor mărimi, ca putere, energie, factor de putere etc., intervine și o altă eroare, numită *eroare de unghi* a transformatorului de măsură. Se știe că fluxul magnetic  $\Phi$  este defazat cu  $90^\circ$  în urma mărimii primare, iar t.e.m.  $E_2$  este defazată cu  $90^\circ$  în urma fluxului ce a produs-o. Dacă bobinajul secundar este închis printr-un aparat de măsurat sau releu, tensiunea electromotoare va determina un curent  $I_2$  care, în cazul unei sarcini secundare pur ohmice și dacă înfășurarea secundară nu ar avea reactanță, ar fi în fază cu  $E_2$ . Rezultă deci că în cazul ideal, la un transformator de măsură, fazorul curentului secundar, respectiv al tensiunii secundare, este defazat față de fazorul mărimii primare cu  $180^\circ$ , adică sînt în opoziție. În cazul real al transformatoarelor de măsură utilizate în instalații, defazajul dintre fazorul mărimii secundare și cel al mărimii primare diferă de  $180^\circ$ , fiind mai mic sau mai mare cu un anumit unghi  $\delta$ , care reprezintă eroarea de unghi (fig. 5.27 și 5.30). Această eroare se consideră (în mod convențional) pozitivă, dacă fazorul mărimii secundare rotit cu  $180^\circ$  este defazat cu un unghi  $\delta$  înaintea fazorului mărimii primare și se consideră negativă în situația cînd este defazat în urma fazorului mărimii primare. Defazajele dintre fazorii ce reprezintă mărimile primare și secundare ale transformatorului de măsură, precum și fazorii celorlalte mărimi ce caracterizează funcționarea transformatorului (flux, t.e.m. etc.) rezultă din diagrama fazorială a transformatorului de măsură.

Avînd în vedere faptul că transformatorul de tensiune funcționează ca un transformator de putere în regim de mers în gol, iar transformatorul de curent funcționează ca un transformator de putere în regim de scurtcircuit, diagramele fazoriale ale celor două feluri de transformatoare de măsură diferă între ele. În fig. 5.27 este redată diagrama fazorială a transformatorului de tensiune [5], din care reies cauzele erorilor de raport și de unghi. În această diagramă s-a reprezentat fazorul tensiunii primare  $U_1$  avînd o direcție arbitrar aleasă, care acoperă căderile de tensiune în bobinajul primar ( $I_1 r_1$  și  $I_1 x_1$ ) și echilibrează t.e.m. primară  $E_1$ . Pentru magnetizarea miezului magnetic se absoarbe un curent  $I_\mu$  avînd caracter reactiv,

iar pentru acoperirea pierderilor în fierul miezului (pierderi prin histerezis și prin curenți turbionari) se absoarbe un curent activ  $I_a$ , care însumați geometric formează curentul de mers în gol  $I_0$ . Fluxul creat în fier de curentul magne-

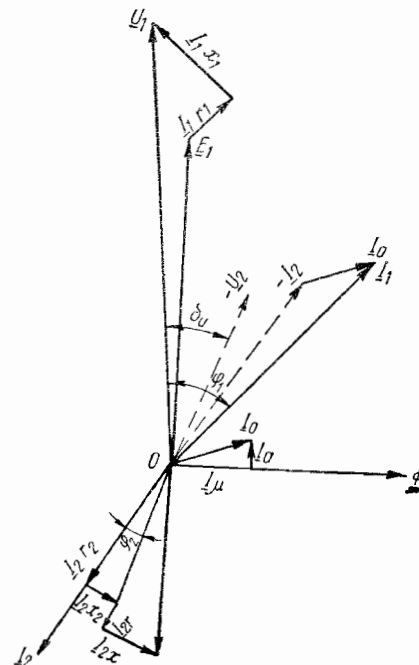


Fig. 5.27. Diagrama fazorială a transformatoarelor de tensiune.

tizant induce în înfășurarea secundară o t.e.m.  $E_2$ , defazată cu  $90^\circ$  în urma lui. Această t.e.m.  $E_2$  acoperă tensiunea secundară  $U_2$  (care reprezintă suma geometrică a căderilor de tensiune în rezistența și reactanța înfășurării secundare, adică  $I_2 r_2 + I_2 x_2$ ), precum și suma geometrică a căderilor de tensiune în rezistența și reactanța circuitului exterior conectat la secundarul transformatorului ( $I_2 r + I_2 x$ ). Rotind fazorul tensiunii secundare  $U_2$  cu  $180^\circ$  (desenat punctat  $-U_2$ ), se observă că acesta nu se supra-



pune peste fazorul tensiunii primare  $U_1$ , ci este defazat față de acesta cu unghiul  $\delta_u$ , care reprezintă eroarea de unghi (fazorii  $U_1$  și  $U_2$  nefiind în opoziție). Din diagramă se observă că în cazul cînd pe secundarul transformatorului se conectează mai multe aparate, acestea vor absorbi un curent mai mare (respectiv o putere secundară  $P_2$  mai mare), care va determina creșterea căderilor de tensiune în înfășurările secundară și primară. Cum însă tensiunea

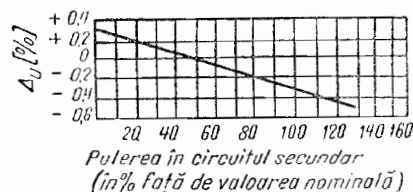


Fig. 5.28. Variația erorii de raport a transformatoarelor de tensiune, în funcție de sarcină.

primară  $U_1$  nu se modifică (fiind tensiunea rețelei), se vor modifica tensiunea  $U_2$  (care trebuie să acopere căderi

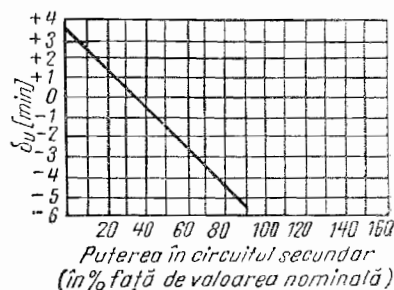


Fig. 5.29. Variația erorii de unghi a transformatoarelor de tensiune, în funcție de sarcină.

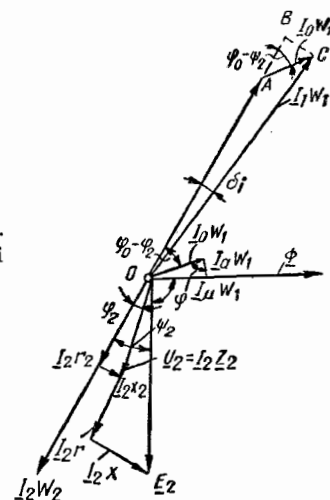
de tensiune mai mari în secundar), curentul primar  $I_1$  și curentul de mers în gol  $I_0$ . Prin schimbarea numărului diferitelor aparate de măsurat și relee din secundar se modifică pe lângă parametri arătați și caracterul sarcinii

secundare, ceea ce duce la modificarea unghiului  $\phi$ . Rezultatul acestor modificări în circuitul secundar exterior constă în modificarea erorilor (de raport și de unghi) ale transformatorului de tensiune. Variația erorilor transformatorului de tensiune, în funcție de sarcina conectată pe secundarul acestuia (prin modificarea numărului de aparate de măsurat conectate), rezultă din fig. 5.28, respectiv 5.29 [5]. Eroarea de tensiune  $\Delta_u$ , a transformatorului de tensiune, se definește prin relația

$$\Delta_u = \frac{k_n U_2 - U_1}{U_1} 100 [\%], \quad (5.6)$$

iar eroarea de unghi  $\delta_u$  se definește ca fiind unghiul de defazaj dintre fazorul tensiunii primare și fazorul tensiunii secundare, rotit cu  $180^\circ$ . La un transformator fără eroare de unghi, defazajul este  $0^\circ$  și nu  $180^\circ$ . Eroarea de

Fig. 5.30. Diagrama fazorială a transformatorului de curent.



tensiune în procente în condițiile nominale de funcționare reprezintă clasa de precizie a transformatorului.

Diagrama fazorială a transformatorului de curent este reprezentată în fig. 5.30 și se construiește similar cu cea

a transformatorului de tensiune. Curentul  $I_1$  este determinat de consumatorii legați la rețeaua în care se înscrie înfășurarea primară a transformatorului de curent. Din acest motiv el nu este influențat de curentul din secundarul transformatorului. Curentul secundar  $I_2$  este însă determinat de sarcina conectată la bornele secundare ale transformatorului (de numărul și caracterul aparatelor de măsurat, respectiv de relele). Poziția relativă a curentului  $I_2$  și valoarea sa față de curentul  $I_1$  sînt influențate de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sînt caracterul și valoarea sarcinii, precum și calitatea miezului. Rezultă deci că acești factori vor influența valoarea erorilor de raport și de unghi ale transformatorului de

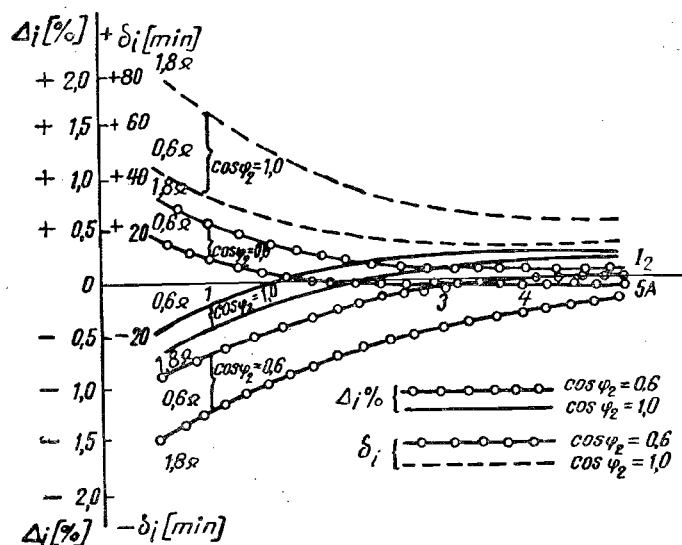


Fig. 5.31. Curbele erorilor transformatoarelor de curent, în funcție de valoarea și caracterul sarcinii.

curent. În fig. 5.31 sînt reprezentate curbele erorilor transformatoarelor de curent, în funcție de valoarea și caracterul sarcinii secundare. Ca și în cazul transformatoarelor de tensiune și la transformatoarele de curent,

fluxul  $\Phi$  este determinat de acțiunea comună a amperspirelor primare  $I_1 W_1$  și a celor secundare  $I_2 W_2$ , ultimele avînd o acțiune demagnetizantă asupra miezului. Este important de subliniat faptul că la deschiderea circuitului secundar al transformatorului de curent cînd acesta este parcurs de curentul primar, acțiunea demagnetizantă a amperspirelor secundare  $I_2 W_2$  se anulează. În felul acesta, întreaga cantitate de amperspire primare  $I_1 W_1$  are o acțiune magnetizantă; de asemenea crește mult valoarea  $I_0 W_1$ , care devine egală cu  $I_1 W_1$  și determină o creștere a fluxului  $\Phi$ . Din cauza fluxului mare se încălzește miezul și crește t.e.m.  $E_2$ , fapt ce conduce la deteriorarea transformatorului de curent și la pericolul de electrocutare pentru personalul de deservire ce vine în contact cu circuitele secundare. Erorile de raport și de unghi ale transformatoarelor de curent, în funcție de clasa lor de precizie, rezultă din tabelul 5.11. Eroarea de curent  $\Delta_i$ , a transformatorului de curent, este definită prin relația

$$\Delta_i = \frac{k_n I_2 - I_1}{I_1} 100 [\%]. \quad (5.7)$$

Eroarea de unghi  $\delta_i$  se definește similar ca eroarea de unghi a transformatorului de tensiune, cu deosebirea că ea se referă la fazorii curenților. Eroarea de curent (în procente) în condițiile nominale de funcționare ale transformatorului de curent reprezintă clasa de precizie a acestuia. Se menționează că, în cazul utilizării transformatoarelor de curent pentru alimentarea schemelor de protecții, este necesar să se țină cont de coeficientul de saturație  $n$ , numit și *cifra de supracurent*. Acest coeficient este definit prin raportul dintre curentul nominal primar de saturație  $I_{1sn}$  și curentul nominal primar  $I_{1n}$ , adică

$$n = \frac{I_{1sn}}{I_{1n}}, \quad (5.8)$$

pentru care eroarea de raport nu depășește 10% și eroarea de unghi nu depășește 6°, atunci cînd pe secundarul transformatorului de curent este legată sarcina secundară nominală. Coeficientul de saturație  $n$  este înscris pe plăcuța indicatoare sub forma  $n < x$  sau  $n > x$ , în care  $x$  poate

## Domeniul de utilizare a transformatoarelor de măsură în funcție de erorile tolerate

Clasa de precizie a transformatoarelor de măsură	Domeniul de utilizare	Transformatoare de curent						Transformatoare de tensiune			
		Erori tolerate		Limitile sarcinii secundare $Z_2$ , în % față de cea nominală, la $\cos \varphi = 0,8$	Clasa de precizie a aparatelor de măsurat cu care se asociază transformatoarele de curent			Tensiunea primară, în % din tensiunea nominală	Erori tolerate		de tensiune, în %
		Curentul primar, în % din curentul nominal	de curent, în %		Amper-metre	Watt-metre	Con-toare				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	Pentru măsurări de precizie în laborator	120—100 20 10	$\pm 0,1$ $\pm 0,15$ $\pm 0,2$	$\pm 6$ $\pm 10$ $\pm 12$		0,5 1,0 1,0	0,5 1,0 1,0	0,5 — —	— — —	— — —	— — —
0,2	Pentru măsurări de precizie în laborator	120—100 20 10	$\pm 0,2$ $\pm 0,35$ $\pm 0,5$	$\pm 10$ $\pm 15$ $\pm 20$		1,0 1,5 —	1,0 1,5 —	1,0 1,0	50—120	$\pm 0,2$	$\pm 10$
0,5	Pentru măsurări exacte în exploatare (pentru contoarele principale)	120—100 20 10	$\pm 0,5$ $\pm 0,75$ $\pm 1,0$	$\pm 30$ $\pm 40$ $\pm 60$	25—100	1 1,5	1 1,5	2 2,5	80—120	$\pm 0,5$	$\pm 20$

1	Pentru măsurări normale în exploatare (pentru relele de distanță, rele de putere și aparate de tablou)	120—100 20 10	$\pm 1$ $\pm 1,5$ $\pm 2$	$\pm 60$ $\pm 80$ $\pm 120$		2,5	2,5	—	90—100	$\pm 1$	$\pm 40$
3	Pentru rele de curent sau tensiune, diferențiale, amper-metre, volt-metre, semnalizări	100—50	$\pm 3$	—	50—100	—	—	—	90—110	$\pm 3$	—
10	Pentru măsurări fără condiții de precizie	100	$\pm 10$	—	—	—	—	—	—	—	—
D	Pentru protecții diferențiale (cu valoarea lui $n$ mare și caracteristici de magnetizare apropiate)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

avea valorile 5; 10; 15 și 20 (cu cît valoarea lui  $x$  este mai mare cu atît condiția impusă din punctul de vedere al erorii este mai severă). În baza coeficientului de saturație se poate aprecia capacitatea unui transformator de curent de a fi folosit pentru alimentarea unei anumite protecții. Acest lucru rezultă și din tabelul 5.12, în care sînt indi-

Tabelul 5.12

Valorile coeficientului de saturație impus transformatoarelor de curent [3; 29 și 30]

Protecția	Valoarea lui $n$ pentru care eroarea de raport nu depășește 10%, iar eroarea de unghi 6°
Protecție maximală temporizată, cu caracteristică independentă	$n > 5$
Idem, cu caracteristică dependentă	$n > 10$
Protecție de distanță	$n > 10$
Protecție diferențială cu relee avînd bobină de frinare	$n \geq 10$
Protecție diferențială cu relee fără bobină de frinare	$n \geq 15$
Protecție diferențială a barelor	$n \geq 15$ sau chiar $n \geq 20$

cate valorile coeficientului de saturație impus transformatoarelor de curent folosite pentru alimentarea protecțiilor.

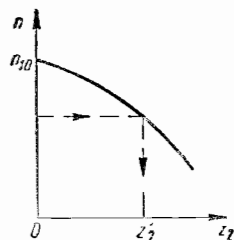


Fig. 5.32. Forma curbei  $n=f(Z_2)$ .

Întreprinderile constructoare de transformatoare de curent indică în prospecte și cataloage, pentru fiecare tip de transformator în parte, curbele erorilor de 10%. Aceste curbe au alura din fig. 5.32 și se utilizează pentru

determinarea valorii sarcinii  $Z_2$ , ce se poate lega în secundarul transformatorului în vederea obținerii coeficientului de saturație dorit.

#### 5.10.2. Măsurarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de tensiune

Aceste măsurări se efectuează la punerea în funcțiune, după reparațiile capitale ale transformatoarelor de tensiune la termenele stabilite de D.G.M.S.I., precum și în toate cazurile cînd în exploatare apar dubii în privința erorilor pe care le au aceste aparate. Personalul ce efectuează măsurările este obligat să ia măsurile NTS corespunzătoare pentru evitarea accidentării prin electrocutare (îngrădiri, folosirea echipamentului de protecție etc.), avînd în vedere că metodele de măsurare și aparatele de măsurat utilizează tensiune ridicată.

Măsurarea raportului de transformare și a erorilor se poate efectua în laborator sau pe teren, la locul de instalare al transformatorului. În acest din urmă caz trebuie dată o atenție deosebită separării fizice a transformatorului de restul instalației din care face parte. Înainte de a se trece la măsurarea efectivă a raportului de transformare și a erorilor, este necesar să se demagnetizeze miezul de fier al transformatorului de tensiune, folosind una din următoarele metode:

1. Se închide înfășurarea secundară a transformatorului de tensiune, pe o rezistență a cărei valoare se calculează cu relația

$$R_2 = \frac{U_{2n}}{P_{2n}}, \quad (5.9)$$

în care:

- $U_{2n}$  este tensiunea nominală secundară, în V;
- $P_{2n}$  — puterea nominală aparentă, în VA (definită ca fiind puterea măsurată la bornele secundarului, cînd tensiunea primară are valoarea nominală iar erorile nu depășesc limitele clasei de precizie a transformatorului respectiv).

După aceasta, înfășurarea primară a transformatorului se alimentează cu o tensiune dată de relația

$$U_i = 1,2 U_{1n}, \quad (5.10)$$

conform fig. 5.33, după care tensiunea se coboară treptat pînă la valoarea zero.

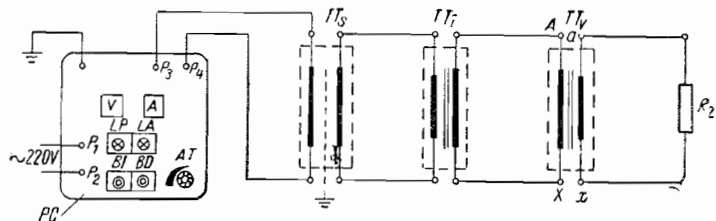


Fig. 5.33. Schema de montaj pentru demagnetizarea miezului transformatorului de tensiune în vederea verificării raportului de transformare și a erorilor (tensiunea se aplică înfășurării primare):

PC — pupitrul de comandă;  $TT_s$  — transformator de separare;  $TT_i$  — transformator de încercare de înaltă tensiune;  $TT_v$  — transformator de tensiune supus verificării;  $R_2$  — rezistență conectată în secundarul transformatorului ce se verifică.

2. A doua metodă de demagnetizare se utilizează mai ales în cazul cînd nu se dispune de un transformator de încercare care să aibă  $U_i = 1,2 U_{1n}$ . Metoda constă în alimentarea înfășurării secundare a transformatorului de ten-

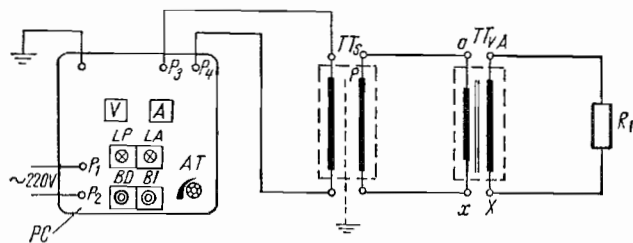


Fig. 5.34. Schema de montaj pentru demagnetizarea miezului transformatorului de tensiune, în vederea verificării raportului de transformare și a erorilor (tensiunea se aplică înfășurării secundare):

PC — pupitrul de comandă;  $TT_s$  — transformator de separare;  $TT_v$  — transformator de tensiune supus verificării.

siune ce se verifică (fig. 5.34) cu o tensiune  $U_i = 1, 2 U_{2n}$ , primarul fiind închis pe o rezistență a cărei valoare se determină cu relația

$$R_1 = \frac{U_{1n}^2}{P_{2n}}. \quad (5.11)$$

Și la această metodă, tensiunea se reduce treptat de la valoarea lui  $U_i$  pînă la zero.

3. A treia metodă, cea de demagnetizare în curent continuu a miezului, constă principal în supunerea acestui miez acțiunii unui cîmp magnetic variabil ca sens, produs de un curent continuu care se micșorează treptat pînă la valoarea zero. Inversarea sensului cîmpului magnetic se obține prin manevrarea de mai multe ori a unui inversor, pe fiecare treaptă de curent. După efectuarea demagnetizării miezului, se trece la măsurarea propriu-zisă a raportului și a erorilor, prin una din metodele de mai jos.

#### 5.10.2.1. Metodă directă

Măsurarea raportului de transformare prin metoda directă se poate face în două feluri:

1. Prin măsurarea directă a parametrilor primari și secundari ai transformatorului de tensiune cu un aparat de măsurat de clasa 0,2 sau 0,5. Rezultă că în acest caz se pot verifica numai transformatoarele de joasă tensiune, sub 0,66 kV. Pentru efectuarea măsurării se folosește aparatul din fig. 5.35. Din motive de NTS este indicat ca transformatorul ridicător să se construiască astfel încît între înfășurarea de înaltă și cea de joasă tensiune să se intercaleze un cilindru de tablă de alamă (notat cu P), tăiat pe generatoare și legat la priza de pămînt. După realizarea montajului din fig. 5.35 se reglează impedanța  $Z_2$  la valoarea  $Z_2 = 0,25 Z_{2n}$ , unde  $Z_{2n} = U_{2n}^2 / P_{2n}$ . Se ridică apoi treptat tensiunea cu minierul AT din PC, fixînd pe voltmetrul  $V_1$  valorile 0,9  $U_{1n}$ ;  $U_{1n}$  și 1,1  $U_{1n}$  ( $U_{1n}$  fiind tensiunea nominală primară a transformatorului ce se verifică  $TT_v$ ) și se citesc valorile corespunzătoare acestor puncte la voltme-

trul  $V_2$ , montat în secundarul lui  $TT_v$ . De la această valoare se scade tensiunea, pînă la zero, notînd de asemenea indicațiile voltmetrelor  $V_1$  și  $V_2$ , în aceleași puncte în care s-a citit la ridicarea tensiunii. Se fixează sarcina

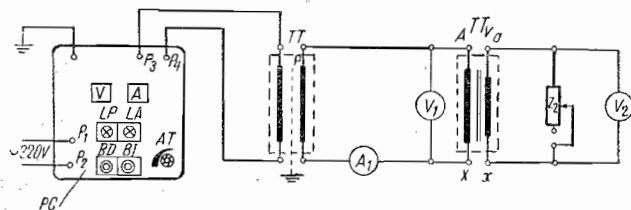


Fig. 5.35. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare al transformatorului de tensiune

$TT_v$  prin metoda directă:

PC — pupitrul de comandă; TT — transformator ridicător de tensiune;  $V_1$ ,  $V_2$  — voltmetre de curent alternativ cu mai multe domenii de măsură;  $A_1$  — ampermetru;  $Z_2$  — cutie de impedanțe reglabilă.

secundară la valoarea  $Z_2 = Z_{2n}$  și se procedează ca mai sus. Apoi se poate deconecta montajul de la sursă. Este comod ca indicațiile aparatelor în timpul măsurării să fie înscrise într-un tabel de forma tabelului 5.13. Din datele obținute

Tabelul 5.13

Rezultatele măsurărilor și ale calculelor

$U_1$ $V$	$Z_2$ $\Omega$	La creșterea tensiunii			La descreșterea tensiunii		
		$V_1$	$V_2$	$\Delta_u$ [%]	$V_1$	$V_2$	$\Delta_u$ [%]
$0,9 U_{1n} = 5400$	$0,25 Z_{2n} = 50$ $Z_{2n} = 200$	54	89,6	-0,445	54	89,6	-0,445
		54	89,8	-0,22	54	89,8	-0,22
$U_{1n} = 6000$	$0,25 Z_{2n} = 50$ $Z_{2n} = 200$	60	99,7	-0,3	60	99,6	-0,4
		60	99,8	-0,2	60	99,9	-0,1
$1,1 U_{1n} = 6600$	$0,25 Z_{2n} = 50$ $Z_{2n} = 200$	66	109,6	-0,364	—	—	—
		66	109,7	-0,272	—	—	—

prin măsurări se calculează raportul efectiv de transformare  $k_e = \frac{V_1}{V_2}$ , care se introduce în tabel, și eroarea de raport

$$\Delta_u = \frac{k_n V_2 - V_1}{V_1} 100 [\%].$$

Se consideră că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare și al erorii de raport, dacă valorile corespunzătoare obținute la măsurări se încadrează în prevederile tabelului 5.11 și dacă diferența dintre erorile măsurate la creșterea respectiv descreșterea tensiunii, pentru aceeași valoare a tensiunii de încercare, nu este mai mare decât datele indicate în tabelul 5.14. Dacă în urma măsurărilor se constată că

Tabelul 5.14

Clasa de precizie și diferența erorilor admisă la transformatoarele verificate [27]

Clasa de precizie a transformatorului verificat	Diferența admisă pentru erorile	
	$\Delta_u$ [%]	$\delta_u$ [min]
0,2	0,05	1
0,5; 1; 3	0,1	5

raportul de transformare diferă de raportul  $k_n$  înscris pe plăcuța indicatoare, aceasta se datorează următoarelor:

- scurtcircuit între spirele înfășurării primare;
- scurtcircuit între spirele înfășurării secundare;
- distrugerea izolației între tolele miezului magnetic și scurtcircuitarea tolelor;
- slăbirea strîngerii tolelor miezului;
- întreruperea înfășurării primare, respectiv secundare, în care caz raportul de transformare nu se poate măsura, iar transformatorul se introduce în reparație.

2. Cel de al doilea mijloc de a măsura raportul de transformare și erorile transformatorului de tensiune în cadrul metodei directe se folosește în cazul cînd transfor-

matorul  $TT_v$  ce se măsoară are tensiunea nominală primară  $U_{1n}$  mai mare de 0,66 kV. În acest caz, măsurarea se efectuează asupra transformatorului  $TT_v$ , conform schemei 5.36. Pentru efectuarea măsurării se procedează ca la punctul 1,

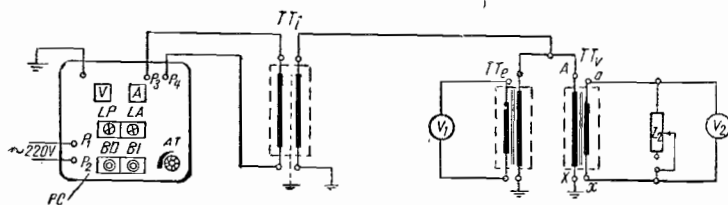


Fig. 5.36. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare și a erorilor transformatorului de tensiune având  $U_{1n} > 0,66$  kV, prin metoda directă:

PC — pupitrul de comandă;  $TT_i$  — transformator de încercare;  
 $TT_e$  — transformator de tensiune etalon;  $V_1, V_2$  — voltmetre de curent alternativ;  $Z_2$  — cutie de impedanțe reglabile.

cu deosebirea că trebuie să ținem cont de raportul de transformare și de eroarea transformatorului etalon.

Cind transformatorul etalon  $TT_e$  are același raport de transformare ca și transformatorul de verificat  $TT_v$ , cu ajutorul butonului AT din PC se reglează tensiunea aplicată înfășurării primare a celor două transformatoare legate în paralel ( $TT_e$  și  $TT_v$ ), fixîndu-se succesiv la voltmetrul  $V_1$  valorile  $U_i = 0,9 U_{2n}$ ;  $U_{2n}$  și  $1,1 U_{2n}$ , în care  $U_{2n}$  este valoarea tensiunii nominale secundare a transformatorului  $TT_v$  ce se verifică. Concomitent cu citirea valorilor la voltmetrul  $V_1$  se citesc și indicațiile voltmetrului  $V_2$ . Dacă cele două voltmetre indică aceeași valoare, înseamnă că raportul transformatorului de verificat  $TT_v$  este cel înscris pe plăcuța lui. Dacă însă cele două voltmetre indică valori diferite, înseamnă că transformatorul  $TT_v$  are eroare de raport (+ sau -), care se calculează cu relația

$$\Delta_v = \frac{V_2 - V_1}{V_1} 100 [\%], \quad (5.12)$$

în care  $V_1$  și  $V_2$  sînt valorile tensiunilor citite la voltmetrele corespunzătoare.

În cazul cînd raportul de transformare al transformatorului etalon  $TT_e$  diferă de cel al transformatorului de verificat  $TT_v$ , se procedează conform indicațiilor din exemplul ce urmează.

**Exemplu:** Să se determine prin măsurări eroarea de raport a unui transformator de tensiune TIBU-6, avînd raportul 6000/100 V,  $P_{2n} = 50$  VA pentru clasa 0,5 dacă avem la dispoziție un transformator etalon de 10 000/100 V, folosind montajul din fig. 5.36.

Se calculează valorile tensiunii de încercare:

$$U_{i1} = 0,9 U_{1nTT_v} = 0,9 \cdot 6\,000 = 5\,400 \text{ V};$$

$$U_{i2} = U_{1nTT_v} = 6\,000 \text{ V};$$

$$U_{i3} = 1,1 \cdot U_{1nTT_v} = 1,1 \cdot 6\,000 = 6\,600 \text{ V}.$$

Raporturile de transformare sînt:

$$k_{TT_e} = \frac{10\,000}{100} = 100;$$

$$k_{TT_v} = \frac{6\,000}{100} = 60.$$

Se calculează valorile tensiunilor ce urmează a se fixa la voltmetrul  $V_1$ , corespunzătoare celor trei puncte ale tensiunii de încercare:

$$— \text{ pentru } U_{i1} = 5\,400 \text{ V}; V_1 = k_{TT_e} \frac{U_{i1}}{U_{nTT_e}} = 100 \frac{5\,400}{10\,000} = 54 \text{ V};$$

$$— \text{ pentru } U_{i2} = 6\,000 \text{ V}; V_1 = k_{TT_e} \frac{U_{i2}}{U_{nTT_e}} = 100 \frac{6\,000}{10\,000} = 60 \text{ V};$$

$$— \text{ pentru } U_{i3} = 6\,600 \text{ V}; V_1 = k_{TT_e} \frac{U_{i3}}{U_{nTT_e}} = 100 \frac{6\,600}{10\,000} =$$

$$= 66 \text{ V}.$$

Se calculează apoi valorile sarcinii  $Z_2$  ce se fixează în secundarul transformatorului de verificat și pentru care se

efectuează măsurările:

$$Z_2 = 0,25 \quad Z_{2n} = 0,25 \frac{U_{2n}^2}{P_{2n}} = 0,25 \frac{100^2}{50} = 50 \, \Omega;$$

$$Z_2 = Z_{2n} = \frac{U_{2n}^2}{P_{2n}} = \frac{100^2}{50} = 200 \, \Omega.$$

Toate aceste valori se introduc în tabelul 5.13.

Presupunind că la voltmetrul  $V_2$  se citesc tensiunile înscrise în tabelul 5.13, se calculează erorile de raport:

— pentru  $U_{i1}$  și  $0,25 Z_{2n}$ , la creșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{k_{TT_v} V_2 - k_{TT_e} V_1}{k_{TT_e} V_1} 100 =$$

$$\frac{60 \cdot 89,6 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0,445\%,$$

iar la descreșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89,6 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0,445\%;$$

— pentru  $U_{i1}$  și  $Z_2 = Z_{2n}$ , la creșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89,8 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0,22\%,$$

iar la descreșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89,8 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0,22\%.$$

În continuare se calculează în același mod toate valorile lui  $U_i$  și  $Z_2$  la creșterea și descreșterea tensiunii și se trec în tabelul 5.13.

Din tabelul 5.13 rezultă că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare, întrucât eroarea lui de raport se încadrează în limitele clasei de precizie, iar diferențele dintre erorile obținute pentru o anumită valoare a tensiunii de încercare fixate, la creșterea respectiv descreșterea acesteia, pentru aceeași valoare a sarcinii  $Z_2$ , nu depășesc limitele din tabelul 5.14.

În cazul transformatoarelor de tensiune trifazate, când nu se dispune de sursă de tensiune trifazată reglabilă și de transformator etalon, verificarea orientativă a raportului de transformare se poate face cu montajul din fig. 5.37.

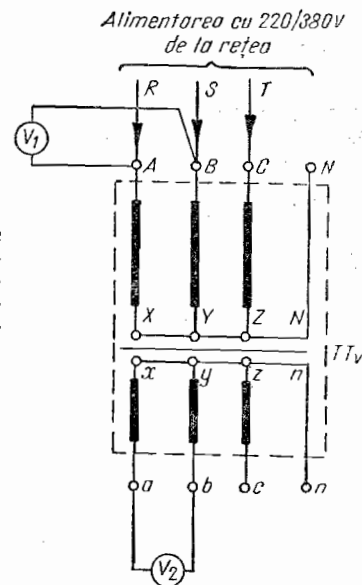


Fig. 5.37. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare a transformatorului de tensiune trifazat.

Se aplică primarului tensiunea de 380/220 V a rețelei (care se măsoară cu voltmetrul  $V_1$  prin permutări circulare) și se măsoară în secundar tensiunea corespunzătoare cu voltmetrul  $V_2$ , de asemenea prin permutări circulare ( $ab$ ,  $bc$ ,  $ca$ ). Raportul de transformare se obține împărțind indicațiile lui  $V_1$  la indicațiile corespunzătoare ale lui  $V_2$ .

#### 5.10.2.2. Metoda comparației

Verificarea erorilor transformatoarelor de tensiune prin metoda comparației constă în compararea caracteristicilor transformatorului ce se verifică cu caracteristicile bine cunoscute ale unui transformator etalon. Utilizarea acestei metode presupune că transformatoarele ce se compară au



aceleași caracteristici nominale. Pentru efectuarea măsurării erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de măsură prin metoda comparației, se utilizează frecvent aparatul cunoscut sub denumirea de *trusă AIT*, care funcționează pe principiul schemei diferențiale de zero, principiu ce rezultă din cele ce urmează.

**Principiul de funcționare al trusei AIT pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune.** Pentru măsurarea erorilor de raport și de unghi ale transformatorului de tensiune  $TT_v$  se folosește schema de principiu din fig. 5.38. Secundarele celor două transformatoare sînt legate în opoziție pe divizorul de tensiune  $DT$ . Din acest mo-

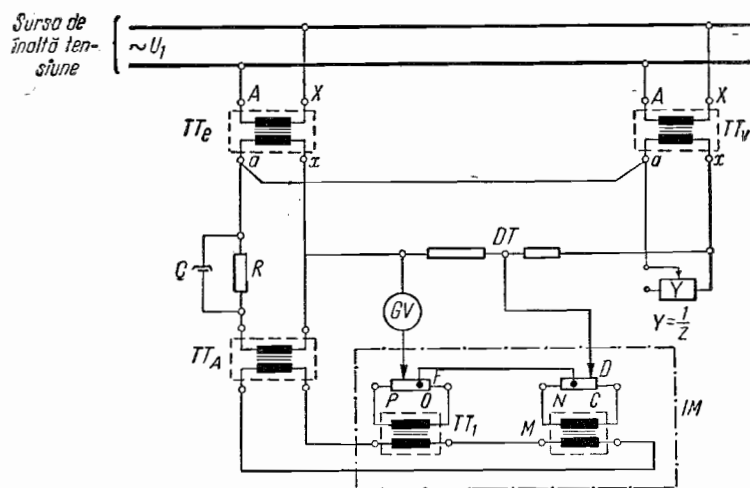


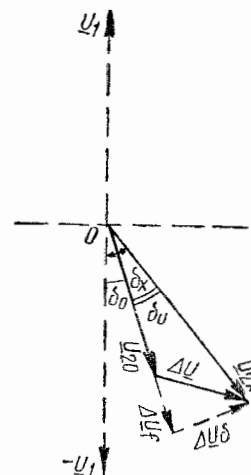
Fig. 5.38. Schema de principiu pentru măsurarea erorii de raport și de unghi a transformatoarelor de tensiune:

IM — instalație de măsurare;  $TT_e$  — transformator de tensiune etalon;  $TT_v$  — transformator de tensiune verificat;  $TT_A$  — transformator auxiliar;  $DT$  — divizor de tensiune; GV — galvanometru cu vibrații; Y — cutie etalon pentru măsurarea admitanței.

tiv, transformatorul etalon va aplica divizorului de tensiune  $DT$  o tensiune  $U_{20}$ , iar transformatorul de verificare  $TT_v$  va aplica aceluiasi divizor o tensiune  $U_{20}$  de sens contrar tensiunii  $U_{20}$ . Dacă cele două transformatoare au

$U_{2x} = U_{2y}$ , aceste tensiuni se anulează și la bornele divizorului  $DT$  nu vom avea tensiune. Dacă însă transformatorul  $TT_v$  are eroarea de raport și de unghi diferite de cele ale transformatorului etalon  $TT_e$ , la bornele divizo-

Fig. 5.39. Diagrama fazorială a mărimilor din fig. 5.62.



rului  $DT$  va apărea o tensiune egală cu diferența geometrică a celor două tensiuni, adică  $\Delta U = (U_{20} - U_{2x})$ , cum se vede în fig. 5.39. Tensiunea  $\Delta U$  are două componente, dintre care una  $\Delta U_f$  în fază cu  $U_{20}$ , iar cealaltă  $\Delta U_\delta$  de- calată cu  $90^\circ$  față de  $U_{20}$ . Componenta  $\Delta U_f$  reprezintă diferența dintre erorile de raport ale celor două transfor- matoare ( $TT_v$  și  $TT_e$ ). Eroarea de raport a lui  $TT_v$  față de  $TT_e$  este

$$\Delta U_f = \Delta U_x - \Delta U_o [\%].$$

Cea de-a doua componentă a lui  $\Delta U$ , și anume compo- nenta  $\Delta U_\delta$ , reprezintă diferența dintre eroarea de unghi a transformatorului  $TT_v$  și eroarea de unghi a transforma- torului  $TT_e$ , care se exprimă prin relația

$$\Delta U_\delta = \delta_x - \delta_o [\text{min}].$$

Aceste două componente ale diferenței de tensiune  $\Delta U$  de pe divizorul  $DT$  se compensează cu ajutorul tensiunilor luate de pe potențiometrele  $F$  și  $D$ . Potențiometrul  $F$ , alimentat de transformatorul  $TT_1$ , aplică lui  $DT$  o tensiune  $\Delta U_{FO}$  în fază cu  $U_{20}$ , compensând componenta  $\Delta U_f$ , iar potențiometrul  $D$  îi aplică lui  $DT$  o tensiune  $U_{NC}$  decalată cu  $90^\circ$  (de către regulatorul de fază  $M$ ) față de  $U_{20}$ , compensând componenta  $\Delta U_\delta$ . Atît transformatorul  $TT_1$  cît și regulatorul  $M$  sînt alimentate la rîndul lor de transformatorul  $TT_A$  (conectat la secundarul lui  $TT_e$ ). Rezistența  $R$  în paralel cu condensatorul  $C$ , montate în primarul lui  $TT_A$ , are rolul de a asigura la potențiometrul  $F$  o tensiune în fază cu tensiunea  $U_{20}$  din secundarul lui  $TT_e$ . Din cele de mai sus rezultă că la echilibrarea schemei există o proporționalitate între rezistența potențiometrului  $F$  și eroarea de raport, respectiv între rezistența lui  $D$  și eroarea de unghi. De aceea, scările potențiometrelor pot fi gradate direct în unități de măsură a erorilor (% și min).

**Descrierea trusei AIT [34].** Trusa AIT se compune din următoarele elemente principale (fig. 5.40):

1. Circuitul de măsurare de bază, compus din potențiometrul  $F$  (fig. 5.38), ce se reglează din butonul  $K_3$ , și din potențiometrul  $D$  (fig. 5.38), ce se reglează din butonul  $K_4$ . Primul potențiometru servește pentru compensarea erorilor de raport și a componentei active a impedanțelor și admitanțelor, iar al doilea,  $D$ , pentru compensarea erorilor de unghi și a componentei reactive a impedanțelor și admitanțelor. Regulatorul de fază  $M$  (fig. 5.38) asigură un decalaj de  $90^\circ$  între căderea de tensiune de pe potențiometrele  $D$  și  $F$ .

2. Rezistența diferențială  $R_A$  (fig. 5.47), formată din patru decade de rezistențe, cu care se asigură variația limitelor de măsurare a erorilor de raport și de unghi, prin comutarea lui  $K_2$ .

3. Un transformator auxiliar  $TT_A$  (fig. 5.38), care servește pentru alimentarea instalației de măsurare în cazul verificării transformatoarelor de tensiune. Prin elementele montate în circuitul său primar (rezistență și condensatoare), asigură același decalaj între tensiunea secundară a

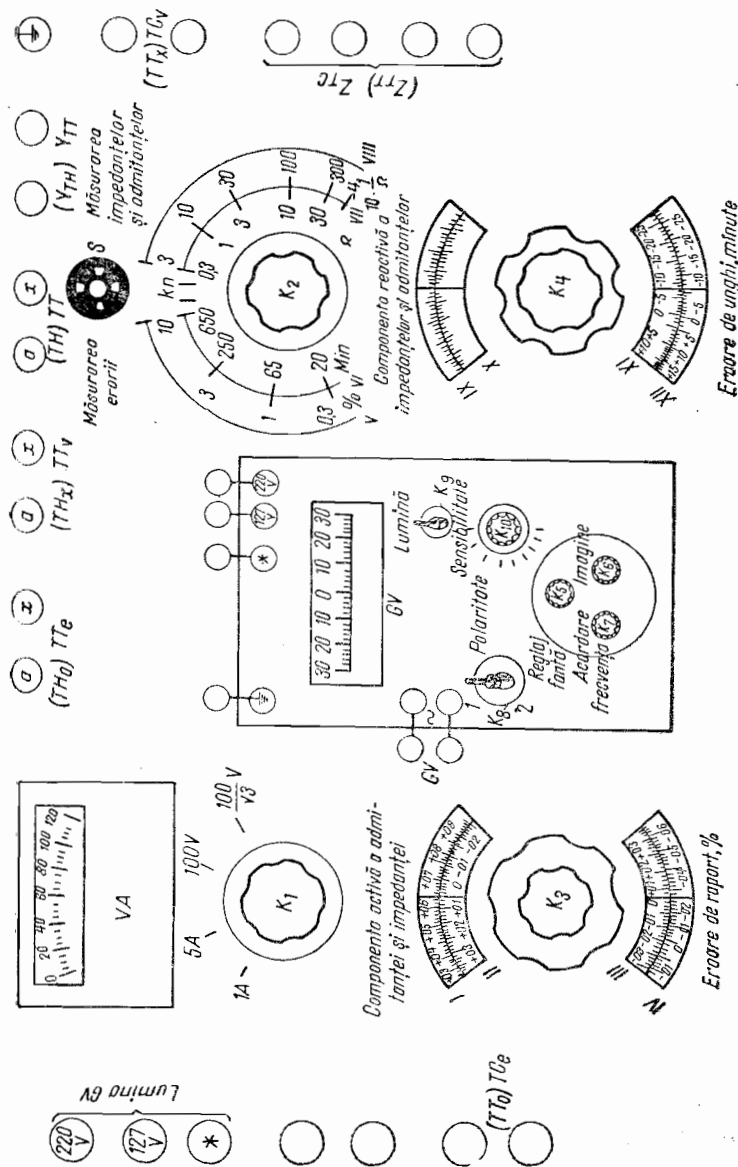


Fig. 5.40. Panoul superior al trusei AIT.

**Observație.** Notațiile din afara parantezelor corespund celor utilizate în cuprinsul lucrării; notațiile dintră paranteze sînt cele originale, existente pe panoul aparatului.

transformatorului etalon și curentul  $\Delta I$  din instalația de măsurare.

4. Divizorul de tensiune  $DT$  (fig. 5.38), care în cazul verificării transformatoarelor de tensiune se introduce în schemă în locul lui  $R_A$ , cu ajutorul comutatorului  $K_1$ . Acest divizor este construit din patru decade de rezistențe, care se introduc sau se scot din circuit cu ajutorul lui  $K_2$ .

5. Divizorul de tensiune  $DT$ , constituit din mai multe decade de rezistențe, servește pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent. Introducerea decadelor se face tot cu ajutorul lui  $K_2$ .

6. Rezistența  $R_N$ , constituită din mai multe decade, se folosește pentru măsurarea admitanței din secundarul transformatoarelor de tensiune (se reglează tot din  $K_2$ ).

7. Galvanometrul cu vibrații  $GV$ , folosit ca aparat de zero.

8. Voltampermetrul  $VA$ , gradat în procente din valorile nominale ale tensiunii și curentului din secundarul transformatorului etalon de tensiune, respectiv curent. Fixarea domeniului de măsurat al lui  $VA$  se face prin comutatorul  $K_1$ .

9. Releul electromagnetic  $S$ , care servește pentru controlul corectitudinii legării bornelor polarizate sau nepolarizate ale transformatoarelor etalon și de verificat, în schema de montaj. De asemenea indică corectitudinea marcării bornelor transformatorului de verificat.

10. Un eclator de tip RA-350, pentru protecție la verificarea transformatoarelor de măsură.

11. Cutii de impedanță, etalonate unele în ohmi iar altele în volt-amperi, care se livrează de întreprinderea constructoare, separat.

Condițiile generale ce trebuie respectate la efectuarea măsurărilor cu trusa AIT sînt:

— transformatorul etalon să aibă caracteristici identice cu cel de verificat;

— toate legăturile din montajele de verificat trebuie executate cu cablu bifilar răsucit, iar distanța dintre trusa AIT și restul elementelor din montaj va fi de circa 5 m, în scopul eliminării influențelor exterioare;

— trusa AIT se leagă la pămînt printr-un conductor de cupru de cel puțin  $1,5 \text{ mm}^2$ , la priză de pămînt separată;

— trusa AIT se așază pe un burete sau cauciuc spongiOS avînd grosimea de 20—40 mm, pentru ca galvanometrul să nu fie influențat de vibrații.

**Efectuarea măsurării erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT.** Se execută montajul din fig. 5.41 și se fac următoarele operații:

1. După verificarea corectitudinii montajului se pune butonul  $AT$  din  $PC$  pe poziția de tensiune minimă, iar comutatorul  $K_1$  (fig. 5.40) se fixează pe poziția corespunzătoare lui  $U_{2n}$  a lui  $TT_v$  (10 sau  $100/\sqrt{3} \text{ V}$ ).

2. Se fixează comutatorul sensibilității galvanometrului ( $K_{10}$  din fig. 5.40) pe poziția zero și se aprinde iluminatorul scalei lui  $GV$  cu  $K_9$ .

3. Comutatorul  $K_2$  se fixează pe poziția corespunzătoare erorilor aferente clasei de precizie a transformatorului de verificat  $TT_v$  (scalele  $V$  și  $VI$ , fig. 5.40).

4. Cu ajutorul butonului  $AT$  din  $PC$  se ridică tensiunea pînă la valoarea  $U_{1n}$  a transformatoarelor  $TT_e$  și  $TT_v$ , valoare la care  $VA$  din trusa AIT trebuie să indice cifra 100. Dacă releul  $S$  semnalizează, înseamnă că legăturile din montaj sînt incorecte sau raporturile de transformare nu sînt egale. În cazul cînd nu semnalizează (montaj corect), se scade tensiunea la zero și apoi se fixează comutatorul  $K_2$  pe poziția  $K$ , iar comutatorul  $K_8$  pe poziția  $1$ . Se ridică din nou tensiunea la  $U_{1n}$  și se comută  $K_{10}$  pe una din pozițiile sale.

5. Se face acordarea galvanometrului în rezonanță, prin manevrarea butoanelor  $K_5$ ,  $K_6$  și  $K_7$ .

6. Reglînd alternativ din  $K_3$ ,  $K_4$  și  $K_{10}$ , se urmărește ca la poziția maximă a lui  $K_{10}$  să se obțină cea mai îngustă fantă a galvanometrului. Trusa AIT este echilibrată dacă spotul luminos minim și sensibilitatea  $K_{10}$  maximă se obțin în jurul diviziunilor zero (cel mult o diviziune) de pe scalele  $IV$  și  $XII$ .

7. Comutatorul  $K_{10}$  se fixează pe poziția zero și apoi  $K_8$  se comută pe poziția  $2$ , după care se procedează ca la punctul 6. Se consideră în acest caz că trusa AIT este bine echi-

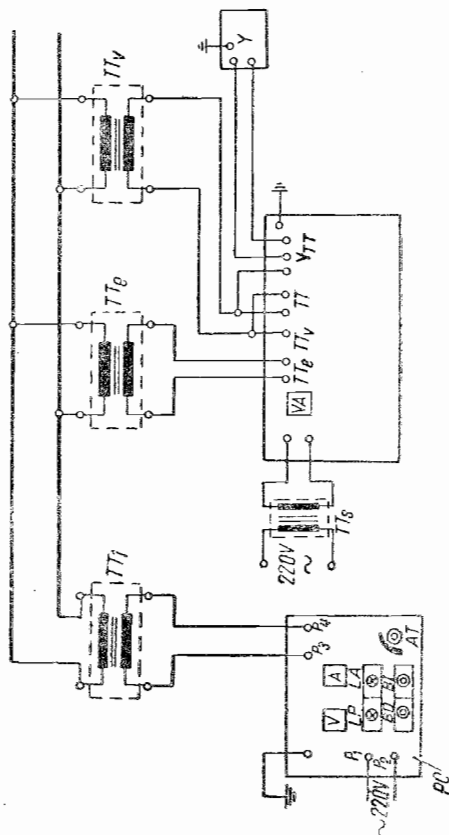


Fig. 5.41. Montajul pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT;

PC — pupitrul de comandă;  $T_1$  — transformatorul de încălzire;  $T_e$  — transformator etalon de tensiune;  $T_0$  — transformatorul de tensiune supus verificării;  $\bar{Y}$  — cutie de impedențe, etalonată în VA;  $T$  — trusă AIT;  $T_f$  — transformator de separare.

librată, dacă spotul minim se obține în jurul poziției zero (maximum cu o diviziune în plus față de cea de la punctul 6, de pe scalele IV și XII).

8. Se coboară tensiunea la zero, se aduce  $K_{10}$  la zero, se comută  $K_2$  de pe poziția  $K$  pe poziția ce indică eroarea clasei de precizie a transformatorului de verificat.

9. Se ridică tensiunea la  $U_{1n}$ , se echilibrează trusa din  $K_{10}$ ,  $K_3$  și  $K_4$  și apoi se scoate instalația de sub tensiune.

10. Se citesc indicațiile scalelor *III* sau *IV* și *XI* sau *XII*, care, înmulțite cu  $K'$  (ale cărui valori sînt date în tabelul 5.15), ne dau eroarea de raport (corespunzător scalei *III* sau *IV*) și eroarea de unghi (corespunzător scalei *XI* sau *XII*).

Tabelul 5.15

Valorile lui  $K'$  în funcție de poziția lui  $K$ , [34]

Poziția lui $K_2$	Pe scala $V$	0,3 %	1 %	3 %	10 %
	Pe scala $Vf$	20'	65'	200'	650'
Valorile lui $K'$		0,1	1	1	10

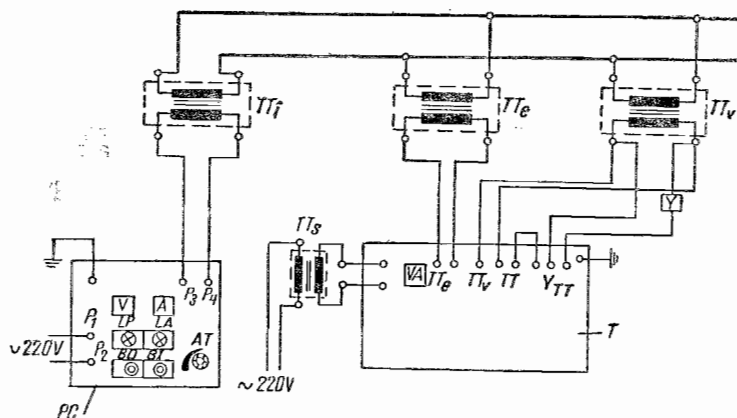


Fig. 5.42. Schema de montaj pentru verificarea transformatoarelor montate în instalații.

În cazul cînd eroarea de raport și cea de unghi se măsoară la transformatoarele de tensiune montate în instalații, avînd ca sarcină secundară circuitul secundar exterior pe care-l alimentează, se procedează ca mai sus, însă schema de montaj este cea din fig. 5.42, în care Y reprezintă chiar sarcina secundară reală (aparatele de măsurat și releele).

### 5.10.3. Măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent

În scopul lărgirii domeniului de măsurare se construiesc în mod obișnuit transformatoare de curent cu înfășurarea primară comutabilă (adică cu două sau patru secțiuni de bobinaj), raportul de comutare fiind 1:2 sau 1:2:4. Aceste raporturi de comutare se obțin prin legarea secțiunilor în serie sau paralel. Transformatoarele de curent au o înfășurare primară comună (care poate fi formată din maximum patru secțiuni) pentru una pînă la trei înfășurări secundare distincte, dispuse separat pe cîte un circuit magnetic și avînd caracteristici diferite (clasă de precizie diferită). Raportul de transformare efectiv (real) al transformatorului de curent se definește similar cu cel al transformatorului de tensiune. Verificarea prin măsurări a raportului de transformare nominal  $k_n$  al transformatorului de curent se face în același scop ca și în cazul transformatoarelor de tensiune, iar cauzele ce pot genera diferențe esențiale față de raportul indicat de fabrică sînt aceleași. Pentru efectuarea măsurărilor de verificare a raportului de transformare al transformatorului de curent este necesară o sursă de curent care să poată debita un curent avînd valoarea egală cu curentul nominal primar al transformatorului ce se măsoară. Aparatajele ce pot fi utilizate drept sursă de curent primar sînt *trusa tip TC-600-1* (fig. 5.43) sau *trusa TC-1200-1* (fig. 5.44), ambele portabile și construite de IRME București. Ele sînt asemănătoare din punct de vedere constructiv, avînd următoarele elemente

— un transformator monofazat, a cărui înfășurare secundară este formată din mai multe secțiuni, ce pot fi legate în serie sau paralel cu ajutorul unor eclise dispuse

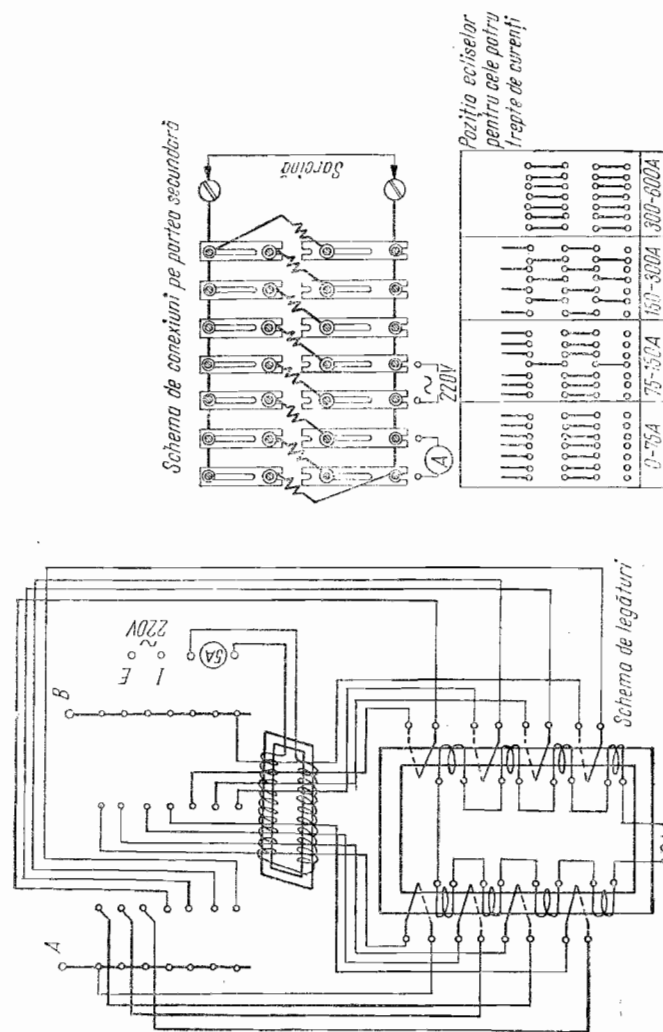
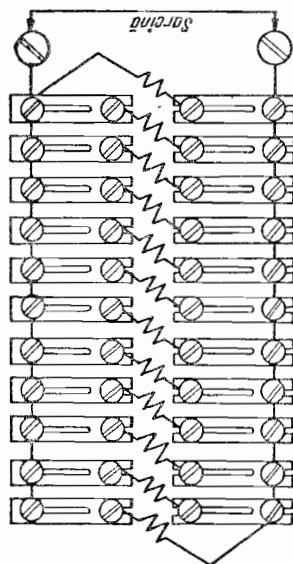


Fig. 5.43. Trusă TC-600-1.

Schema de conexiuni pe partea secundară

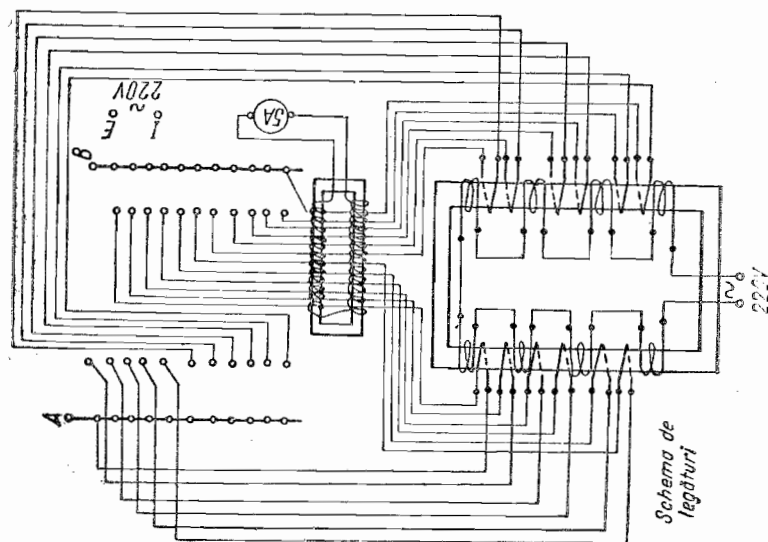


220V

Poziția ecliselor pentru cele șase trepte de curent

220V

0-100A	100-200A	200-300A	300-400A	400-600A	600-1200A



Schema de legături

pe o placă montată la partea superioară a cutiei (aceasta are o înfășurare primară, la care se aplică tensiunea reglabilă 0—220 V);

— un transformator de curent tip bară, pentru măsurarea curentului debitat de transformatorul monofazat de putere.

Pe placa superioară sînt montate bornele de alimentare ale trusei cu tensiune reglabilă, bornele prin care se debitează curent pe transformatorul de măsură și bornele la care se leagă ampermetrul pentru măsurarea curentului debitat (tabelul 5.16).

Caracteristicile tehnice ale truselor TC (IRME) Tabelul 5.16

Caracteristica	Trusa TC-1 200-1	Trusa TC-600-1
Tensiunea nominală, în V	220	220
Puterea absorbită de la rețea, în VA	2000	1500
Puterea nominală debitată de trusă pe toate treptele de curent, în VA	1000	1000
Durata admisibilă de funcționare la puterea nominală, în min	3	3
Clasa de precizie, în %	2,5	2,5
Treptele de curent ce se pot obține, în A	I=0—1200 II=0—600 III=0—400 IV=0—300 V=0—200 VI=0—100	I=0—600 II=0—300 III=0—150 IV=0—75
Durata de repaus a trusei între două funcționări, în min	10	10

— se alege treapta de curent a trusei, în funcție de valoarea curentului primar nominal al transformatorului de curent ce se verifică (dacă se verifică un transformator având raportul 600/5/5 A, cu trusa TC-600-1, pe aceasta se fixează treapta  $I(0-600 \text{ A})$ , respectiv dacă se utilizează trusa TC-1200-1, pe aceasta se va fixa treapta  $II(0-600 \text{ A})$ ; fixarea treptei se face prin dispunerea ecliselor conform schemei din fig. 5.43, respectiv 5.44;

— se leagă bornele notate cu *sarcină* prin două conductoare multifilare de cupru izolate, avînd minimum 240 mm<sup>2</sup> și o lungime cit mai scurtă, la bornele *K* și *L* ale transformatorului de curent;

— la bornele de alimentare notate pe trusă cu 220 V se leagă prin două conductoare bornele  $P_3$  și  $P_4$  ale pupitrului de comandă prin care se aplică trusei tensiunea reglabilă 0-220 V.

Determinarea prin măsurări a raportului de transformare al transformatorului de curent se poate face cu aparatul de mai sus, prin trei metode: metoda directă, metoda indirectă (ce se aplică în întreprinderi sub denumirea de verificare internă) și metoda comparației.

#### 5.10.3.1. Metoda directă

Aceasta este folosită în cazurile în care valoarea curentului primar nominal al transformatorului de curent ce se verifică este cuprinsă în limitele domeniului de măsură al ampermetrului  $A_2$  (fig. 5.45), cu care se măsoară direct curentul primar. În scopul efectuării măsurărilor se execută montajul din fig. 5.45, în care ampermetrele trebuie să aibă clasa de precizie corespunzătoare clasei de precizie a lui  $TC_v$ . Efectuarea măsurării constă în reglarea tensiunii cu ajutorul mînerului  $AT$  din  $PC$ , astfel încît la ampermetrul  $A_2$  să se citească succesiv următoarele valori ale curentului:  $0,1 I_{1n}$ ;  $0,2 I_{1n}$ ;  $I_{1n}$  și  $1,2 I_{1n}$ . În momentul cînd la ampermetrul  $A_2$  se citesc aceste valori, se vor citi și valorile

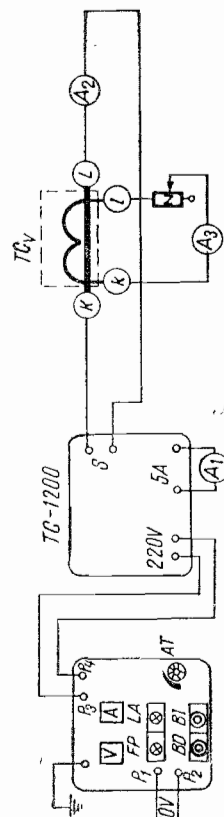


Fig. 5.45. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent prin metoda directă:

PC — pupitrul de comandă; TC — trusă de 1 200 A; TC<sub>0</sub> — transformator de verificat; A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> — ampermetre; Z — impedanță.

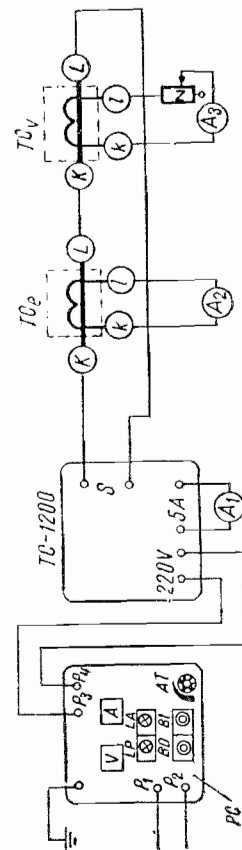


Fig. 5.46. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare a transformatoarelor de curent, prin metoda indirectă:

PC — pupitrul de comandă; TC — trusă de 1200 A; TC<sub>e</sub> — transformator de curent etalon; TC<sub>n</sub> — transformatorul supus verificării.

corespunzătoare indicate de ampermetrul  $A_3$ , montat în secundarul transformatorului de verificat. Prin împărțirea indicațiilor lui  $A_2$  la cele ale lui  $A_3$ , se obține valoarea raportului de transformare, după care se poate calcula eroarea de raport. Măsurarea se efectuează pentru fiecare înfășurare secundară a lui  $TC_v$  în parte. Este comod ca valorile citite la aparatele de măsurat în timpul măsurărilor să se treacă într-un tabel. Se consideră că transformatorul de verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare, dacă erorile de raport calculate sînt mai mici decît cele indicate în tabelul 5.17.

Tabelul 5.17

Valorile maxime admise ale erorii de raport  $\Delta_p$  în % [30]

Clasele de precizie ale lui $TC_v$	Valorile curentului $I_1$ , în % din $I_{1n}$			
	$0,1 I_{1n}$	$0,2 I_{1n}$	$I_{1n}$	$1,2 I_{1n}$
0,5	$\pm 1$	$\pm 0,75$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
1	$\pm 2$	$\pm 1,5$	$\pm 1$	$\pm 1$
3 sau D	—	—	$\pm 3$	—

#### 5.10.3.2. Metoda indirectă

Aceasta este folosită în cazul cînd nu se dispune de ampermetre pentru măsurarea directă a curentului din primar. În cadrul acestei metode, ampermetrul  $A_2$  se conectează nu în primar ci în secundarul unui transformator de curent etalon  $TC_e$  (fig. 5.46). Măsurarea se efectuează ca și în cazul metodei directe, fixîndu-se aceleași valori pentru curentul primar  $I_1$  care se citesc pe ampermetrul  $A_2$ , ținînd cont de raportul de transformare al lui  $TC_e$ . La această metodă se deosebesc două cazuri, și anume:

1. Cazul cînd transformatorul  $TC_v$  are același raport cu  $TC_e$ , astfel că ampermetrele ( $A_2$  și  $A_3$ ) trebuie să indice aceleași valori, fiind identice. Diferența dintre indicațiile celor două ampermetre reprezintă eroarea de raport a transformatorului  $TC_v$ , eroare ce se calculează cu formula  $\Delta_1 = \frac{A_3 - A_2}{A_2} 100 [\%]$ , în care  $A_2$  și  $A_3$  sînt indicațiile ampermetrelor respective.

2. Cazul cînd transformatorul  $TC_v$  are raport de transformare diferit de cel al transformatorului  $TC_e$ . În acest caz, eroarea de raport a lui  $TC_v$  se calculează cu relația  $\Delta_1 = \frac{k_v A_3 - k_e A_2}{k_e A_2} 100 [\%]$ , în care  $k_e$  și  $k_v$  reprezintă raporturile de transformare nominale ale lui  $TC_e$  respectiv  $TC_v$ , iar  $A_2$  și  $A_3$  reprezintă indicațiile ampermetrelor respective. Se consideră că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare dacă indicațiile sînt cele din tabelul 5.17.

#### 5.10.3.3. Metoda comparației

**Principiul de funcționare al trusei AIT.** Acesta rezultă din analiza schemei prezentate în fig. 5.47, schemă ce se utilizează la verificarea transformatorului de curent. Din schemă se observă că transformatorul de verificat  $TC_v$  și

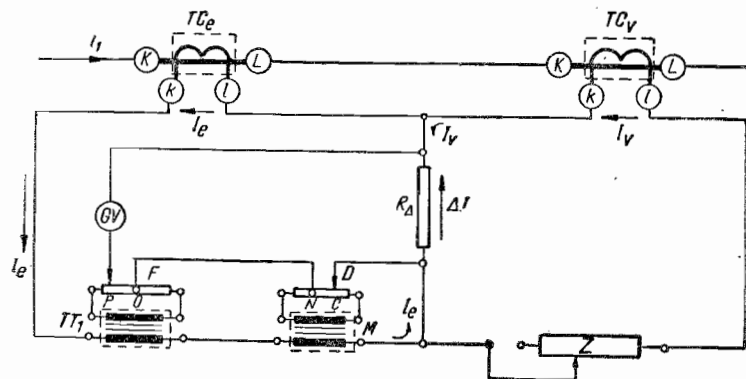


Fig. 5.47. Schema trusei AIT, folosită la verificarea transformatorilor de curent:

$TC_v$  — transformator de verificat;  $TC_e$  — transformator etalon;  $TT_1$  — transformator intermediar;  $M$  — regulator de fază;  $F$  și  $D$  — potențiometre cu fir;  $R$  — rezistență diferențială;  $Z$  — impedanță din circuitul secundar al transformatorului de verificat.

cel etalon  $TC_e$ , avînd același raport de transformare, au înfășurările primare legate în serie și parcurse deci de același curent  $I_1$ . Secundarul lui  $TC_e$  alimentează instalația de măsurare a trusei cu curentul  $I_e$ , iar secundarul lui  $TC_v$  o



alimentează cu curentul  $I_v$ . Prin rezistența  $R$ , cei doi curenți au sensuri contrare, ceea ce înseamnă că prin această rezistență va trece un curent egal cu diferența lor, adică  $\Delta I = I_e - I_v$ . Dacă cei doi curenți secundari sînt egali, prin rezistența  $R_\Delta$  curentul va fi zero, ceea ce înseamnă că transformatorul  $TC_v$  are același raport și aceleași eroare de raport și de unghi ca și transformatorul etalon  $TC_e$ . În cazul cînd  $TC_v$  are erorile de raport și unghi diferite de  $TC_e$ , prin rezistența  $R_\Delta$  va circula curentul  $\Delta I$ , determinat de diferența geometrică a curenților  $I_e$  și  $I_v$ , așa cum se vede și în diagrama fazorială din fig. 5.48. Curentul  $\Delta I$  din rezistența  $R_\Delta$  are două componente, și anume

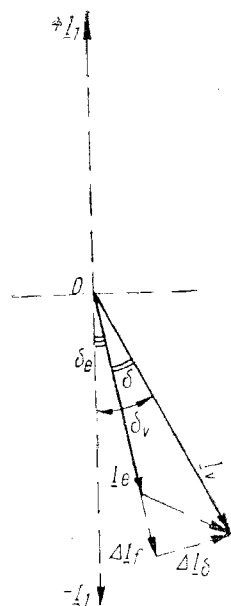


Fig. 5.48. Diagrama fazorială a curenților din schema de măsurare a trusei AIT.

una în fază cu curentul  $I_e$ , notată cu  $\Delta I_f$ , iar a doua de calată față de  $I_e$  cu  $90^\circ$ , notată cu  $\Delta I_\delta$ . Se observă de asemenea că dacă unghiul  $\delta_v$  este egal cu unghiul  $\delta_e$ , curentul  $I_v$  ar fi în fază cu curentul  $I_e$ , dar mai mare ca va

loare decît acesta, tocmai cu cantitatea  $\Delta I_f$ . Raportul  $\Delta_i = \frac{\Delta I_f}{I_e} [\%]$  este deci chiar valoarea cu care eroarea de raport a lui  $TC_v$  este mai mare decît eroarea etalonului  $TC_e$ , în cazul cînd  $I_v > I_e$  și mai mică cînd  $I_v < I_e$ . Eroarea de raport a transformatorului de verificat față de aceea a transformatorului etalon va fi:

$$\Delta_i = \Delta_{iv} - \Delta_{ie} = \frac{I_f}{I_e} 100 [\%].$$

Examinînd cea de-a doua componentă a lui  $\Delta I$ , și anume  $\Delta I_\delta$ , se observă că aceasta este proporțională cu tangenta unghiului  $\delta$  dintre curenții  $I_v$  și  $I_e$  ( $\delta = \delta_v - \delta_e$ ). Cînd  $\delta$  și componenta  $\Delta I_f$  au valori mici, atunci raportul  $\frac{\Delta I_\delta}{I_e}$  reprezintă chiar valoarea unghiului  $\delta$ , care este de fapt diferența dintre erorile de unghi ale celor două transformatoare. Ea se poate exprima prin relația

$$\delta = \delta_v - \delta_e = \frac{360 \cdot 60 \Delta I_\delta}{2\pi I_e} = 3438 \frac{\Delta I_\delta}{I_e} [\text{min}].$$

Eroarea  $\delta$  se consideră pozitivă cînd  $I_v$  este decalat înaintea lui  $I_e$  și negativă în cazul cînd  $I_v$  este decalat în urma lui  $I_e$ .

Curentul  $\Delta I$ , parcurgînd rezistența  $R_\Delta$ , provoacă o cădere de tensiune pe această rezistență. Aceasta are două componente corespunzătoare celor două componente ale curentului  $\Delta I$ . Cele două căderi de tensiuni se compensează în trusa AIT cu ajutorul căderilor de tensiune culese de pe porțiunea  $PO$  a potențiometrului  $F(U_{PO}$  în fază cu  $I_e$ ) și de pe  $NC$  a potențiometrului  $D(U_{NC}$  decalată cu  $90^\circ$  față de  $I_e$ ). Cu ajutorul potențiometrului  $F$  se reglează căderea de tensiune  $U_{PO}$ , cu care se compensează căderea de tensiune produsă de  $\Delta I_f$  pe rezistența  $R_\Delta$ , iar cu potențiometrul  $D$  se reglează căderea de tensiune  $U_{NC}$ , cu care se compensează căderea de tensiune produsă de componenta  $\Delta I_\delta$  pe rezistența  $R_\Delta$ . Rezultă că, la echilibrarea trusei, între valoarea rezistenței lui  $F$  și eroarea de raport a transformatorului de curent, precum și între rezistența lui  $D$  și

eroarea de unghi a transformatorului de curent, există o proporționalitate care dă posibilitatea gradării scalelor lui  $F$  și  $D$ , direct în unități de măsură a erorilor respective (% și min).

**Efectuarea măsurării erorilor transformatoarelor de curent cu trusa AIT.** Pentru efectuarea măsurării în laborator se folosește schema de montaj din fig. 5.49, iar pentru măsurări la transformatoarele de curent montate în instalații, schema din fig. 5.50, în care  $Z$  reprezintă sarcina din circuitul secundar exterior. Măsurarea erorilor transformatorului de curent cu trusa AIT comportă operații ca și la transformatoarele de tensiune, cu deosebirea că  $K_1$  al trusei AIT se fixează pe poziția de 5 A (respectiv 1 A când transformatorul  $TC_v$  are  $I_{2n}=1$  A), iar cutia de impedențe etalon ( $Z$  din fig. 5.49) se fixează la valoarea  $Z_{2n} = \frac{P_{2n}}{I_{2n}^2}$

a transformatorului  $TT_v$ . Pentru exemplificare, în tabelul 5.18 sînt indicate valorile obținute la măsurarea erorilor unui transformator CIRS-10 de 250/5/5 A, clasa 0,5/3,  $P_{2n}=10/30$  VA, avînd  $n<5/5$ , conectat pentru raportul de transformare de 100/5/5 A.

Tabelul 5.18

Rezultatele măsurării erorilor transformatorului CIRS-10 pentru clasa 0,5

Curentul primar de încercare $I_1$ , în A	Sarcina secundară $Z_2$ , în $\Omega$	Eroarea de raport $\Delta_i$ , în %	Eroarea de unghi $\delta_i$ , în min
0,1 $I_{1n}=10$	$Z_2 = \frac{P_{2n}}{I_{2n}^2} = \frac{10}{25} = 0,4$	-0,34	+12
0,2 $I_{1n}=20$		-0,21	+9
0,5 $I_{1n}=50$		-0,01	+2,5
$I_{1n}=100$		+0,1	-2,0
1,2 $I_{1n}=120$		+0,09	-1,5

Cu valorile din tabelul 5.18 se pot trasa curbele erorilor ( $\Delta_i$  și  $\delta_i$ ), în funcție de curentul  $I_1$  din primarul transformatorului.

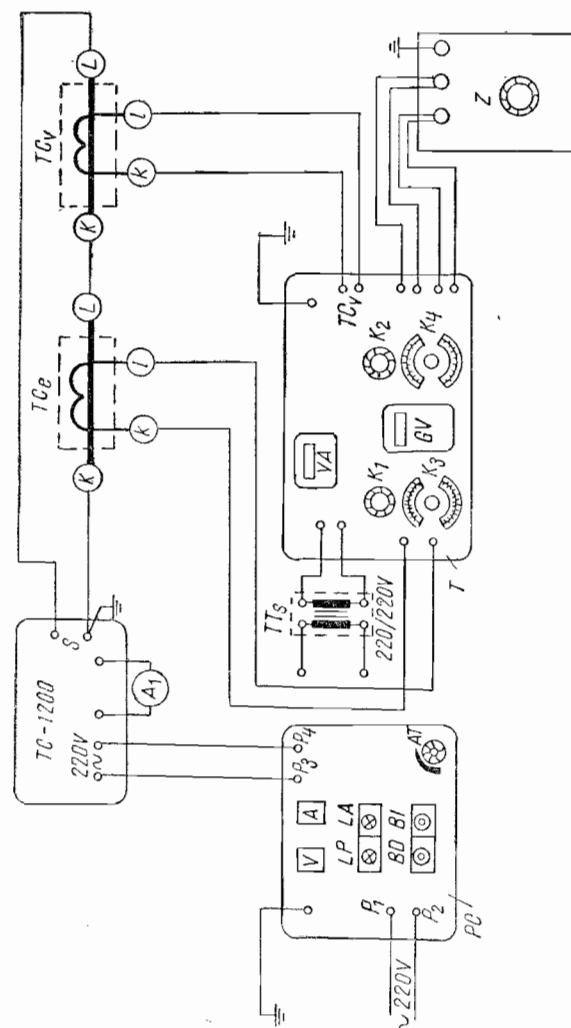


Fig. 5.49. Schema de montaj pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de curent cu trusa AIT, în laborator:  
 PC — pupitrul de comandă; T — trusă AIT; TT<sub>s</sub> — transformator de separare; TC — trusă de 1200 A;  
 TC<sub>v</sub> — transformator de curent etalon; TC<sub>e</sub> — transformator de curent ce se verifică; Z — cutie de impedențe etalon.

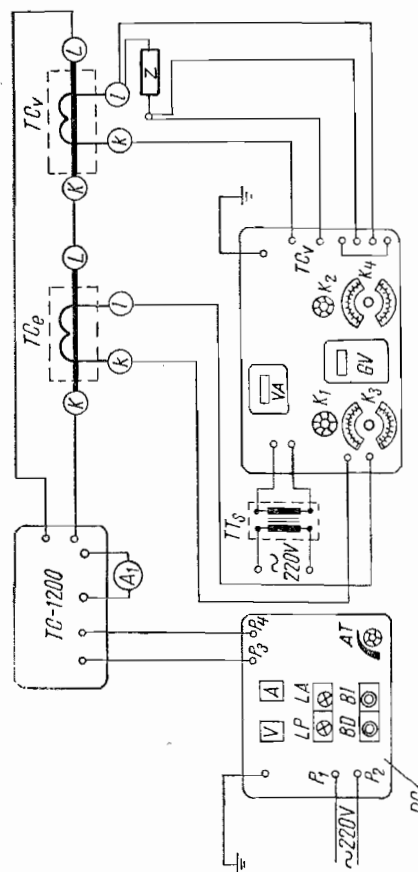


Fig. 5.50. Schema de montaj pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de curent montate în instalații, cu trusa AIT.

### 5.11. Ridicarea curbei volt-ampere a transformatoarelor de curent

Această măsurare se face la punerea în funcțiune a transformatoarelor de curent, după reparația miezului magnetic și a înfășurărilor, precum și în exploatare — în cazul cînd este necesară elucidarea unor funcționări incorecte ale protecțiilor — în cadrul analizelor de avarii. Pentru funcționarea corectă a unor protecții și automatizări, cum este cazul protecției diferențiale, a filtrelor de secvență homopolară etc., este necesar să se folosească transformatoare care să posedă caracteristici volt-ampere foarte apropiate (aproape identice). Prin caracteristică volt-ampere sau caracteristică de mers în gol se înțelege curba care reprezintă dependența dintre tensiunea la bornele înfășurării secundare și curentul ce parcurge această înfășurare, atunci cînd înfășurarea primară nu este conectată, adică curba  $U_{2n}=f(I_{2n})$ . Ridicarea acestei curbe se face cu ajutorul montajului din fig. 5.51 și comportă mai multe operații.

— Se dezleagă înfășurarea secundară și cea primară față de restul instalațiilor.

— Se măsoară rezistența de izolație a transformatorului de curent și, în cazul cînd se obțin valori corespunzătoare,

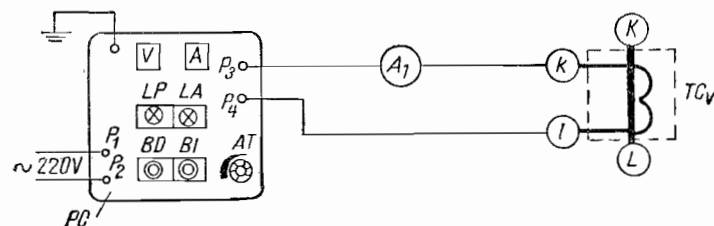


Fig. 5.51. Schema de montaj pentru ridicarea curbei volt-ampere a transformatoarelor de curent.

toare, se execută montajul din fig. 5.51 și apoi măsurările ce urmează:

— Cu ajutorul lui AT din PC, se aplică înfășurării secundare a transformatorului  $TC_v$  tensiuni între 0 și 220 V,

pentru fiecare valoare a tensiunii aplicate citindu-se valorile corespunzătoare ale curentului. Citirile se fac în timpul creșterii tensiunii și nu în timpul coborîrii acesteia (nu se va depăși  $2 I_n$ ).

— Cu valorile citite se trasează curba volt-ampere, care poate avea una din formele indicate în fig. 5.52. Transforma-

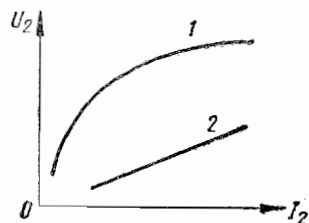


Fig. 5.52. Alura curbelor volt-ampere ale transformatoarelor de curent:  
1 — curba unui transformator corespunzător; 2 — curba unui transformator necorespunzător.

matorul verificat se consideră corespunzător dacă are o curbă volt-ampere de forma 1 și necorespunzător dacă are o curbă de forma 2. Toate transformatoarele de curent de același tip folosite la o protecție diferențială sau filtru de secvență homopolară trebuie să aibă curbe de forma 1 identice (sau aproape suprapuse).

## 5.12. Măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune

Această măsurare se efectuează la punerea în funcțiune și după reparația înfășurărilor, cu ajutorul montajului din fig. 5.53. Cu ajutorul pupitrului de comandă PC se ridică tensiunea pînă se ajunge la valoarea tensiunii nominale a înfășurării secundare a lui  $TT_v$ , care se citește pe voltmetrul  $V_1$ . În momentul cînd transformatorului  $TT_v$  i s-a aplicat  $U_{2n}$ , se citește la miliampermetrul  $A_1$  valoarea curentului absorbit de transformator. Transformatorul verificat  $TT_v$  se consideră corespunzător din acest punct de vedere, dacă valoarea măsurată a curentului nu diferă față de va-

lorile indicate de întreprinderea constructoare decît în limita clasei de precizie a aparatelor de măsurat.

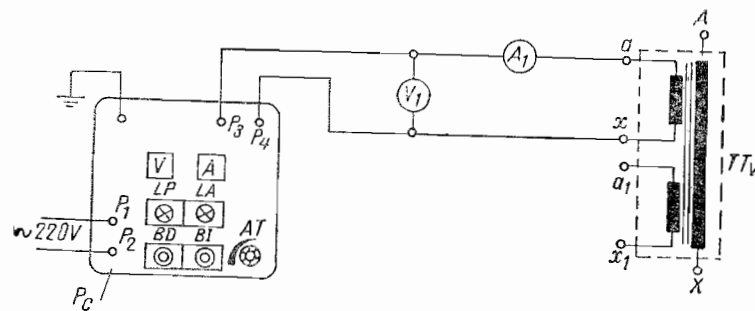


Fig. 5.52. Schema pentru măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune:

PC — pupitrul de comandă;  $TT_v$  — transformatorul supus verificării.

## 5.13. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură

### 5.13.1. Noțiuni generale

Cunoașterea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură prezintă o importanță deosebită, deoarece aceasta influențează erorile de măsură ale transformatoarelor. Din acest motiv trebuie să se măsoare sarcina secundară a transformatoarelor de măsură, la punerea lor în funcțiune și cînd apar modificări în circuitele secundare. Pentru a stabili dacă sarcina secundară a transformatoarelor de măsură nu este depășită, rezultatele măsurărilor trebuie comparate cu următoarele caracteristici ale acestora:

— Puterea nominală  $P_{2n}$  a transformatorului de tensiune, definită la § 5.10.2.

— Puterea nominală maximă  $P_{max}$  a transformatorului de tensiune (este puterea aparentă în volt-amperi, măsurată la bornele secundarului în regim de lungă durată, tensiunea primară avînd valoarea nominală, fără a se lua în considerare erorile și fără depășirea limitelor de încălzire admise ale diferitelor părți ale transformatorului).

— Puterea nominală  $P_n$  a transformatorului de curent exprimată în volt-amperi, care este definită ca fiind produsul dintre sarcina nominală  $Z_{2n}$ , în ohmi, și pătratul curentului nominal secundar  $I_{2n}$ , adică  $P_{2n} = Z_{2n} I_{2n}^2$ .

— Sarcina nominală secundară  $Z_{2n}$  este sarcina în secundarul transformatorului de curent, exprimată în ohmi (înscrisă pe plăcuța indicatoare), pentru care erorile nu trebuie să depășească limitele corespunzătoare clasei de precizie a transformatorului.

— Sarcina secundară  $Z_2$  a transformatorului de curent este impedanța în ohmi a circuitului secundar exterior (format din aparatele și conductoarele de legătură), conectat la înfășurarea secundară a transformatorului. Sarcina secundară conectată la transformatoarele de măsură poate fi apreciată după cum urmează:

1. În cazul transformatoarelor de tensiune este necesar să fie îndeplinită condiția  $P_{2n} > P_2$  ( $P_2$  fiind puterea absor-

Tabelul 5.19

Puterea consumată de aparatele conectate în secundarul transformatoarelor de tensiune [30]

Tipul aparatului	Denumirea aparatului	Puterea necesară pe fază, în VA
Indicator	Voltmetru electromagnetic	8
	Frecvențmetru	2,5
	Wattmetru ferodinamic	3,5
	Wattmetru de inducție	3,5
Înregistrator	Voltmetru	15-20
	Contor de inducție	6,7-5
Regulator	Regulator automat de tensiune tip BBC-1 B 1/1 la 110 V	40
Relee	Minimal de tensiune	7-12
	De distanță	15-65
	De protecție contra punerilor la pământ	15-25

bită de toate aparatele de măsurat și releele conectate la bornele secundare ale transformatorului, tabelul 5.19).

Dacă aparatele de măsurat și releele legate pe secundarul transformatorului de tensiune nu reprezintă sarcini pur active ci au un factor de putere  $\cos \varphi < 1$ , puterea absorbită de ele (sarcina legată la transformator) se determină cu relația

$$P_2 = \sqrt{(\sum S_{\text{aparat}} \cos \varphi_{\text{aparat}})^2 + (\sum S_{\text{aparat}} \sin \varphi_{\text{aparat}})^2} = \sqrt{(\sum P_{\text{aparat}})^2 + (\sum Q_{\text{aparat}})^2},$$

în care:  $\sum S_{\text{aparat}}$  este suma puterilor aparente absorbite de toate aparatele legate la secundarul transformatorului;

$\cos \varphi_{\text{aparat}}$  — factorul de putere al tuturor aparatelor legate la secundarul transformatorului;

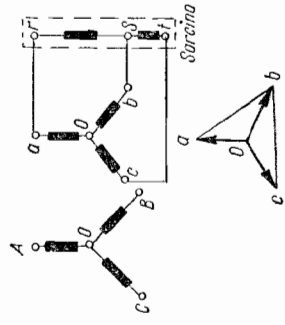
$\sum P_{\text{aparat}}$  — puterea activă absorbită de toate aparatele;

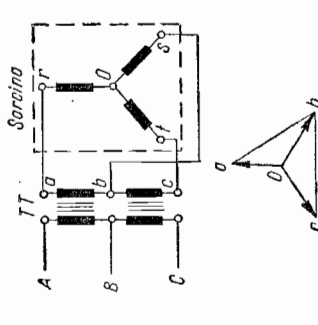
$\sum Q_{\text{aparat}}$  — puterea reactivă absorbită de toate aparatele.

Întrucît nu toate fazele transformatorului de tensiune sînt încărcate egal este necesar să se determine puterea fazei celei mai încărcate și apoi să se compare cu puterea disponibilă pe fază a transformatorului, ținînd cont de clasa de precizie necesară. La calculul puterii absorbite de aparatele de măsurat și rele (sarcina) din secundarul transformatorului monofazat de tensiune, respectiv a sarcinii pe o fază a transformatorului trifazat de tensiune, este necesar să se țină cont de schema de conexiuni a secundarelor transformatoarelor de tensiune și a aparatelor. Formulele de calcul al sarcinii fiecărei faze a transformatorului de tensiune, în funcție de schema de conexiuni a înfășurărilor secundare și a aparatelor la aceste secundare, sînt indicate în tabelul 5.20.

2. În cazul transformatoarelor de curent, este necesar să fie îndeplinită condiția  $Z_{2n} > Z_2$ . Sarcina secundară  $Z_2$  se calculează cu relațiile din tabelul 5.21, în funcție de schema

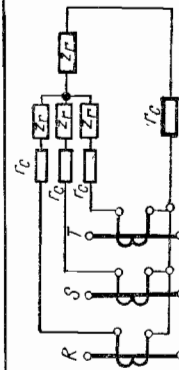
# Relațiile de calcul al sarcinilor pe fiecare fază a transformatorului de tensiune [33]

Denumirea schemei de conexiuni	Schema de conexiuni a înfășurărilor secundare ale transformatorului și a aparatelor	Faza	Re'atiile de calcul al sarcinilor activă și reactivă pe fază
Legarea aparatelor de tip wattmetric la tensiunea de linie, pe secundarul transformatorului trifazat		a	$P_{2a} = \frac{P_{rs}}{\sqrt{3}} \cos(\varphi_{rs} - 30^\circ)$ $Q_{2a} = \frac{P_{rs}}{\sqrt{3}} \sin(\varphi_{rs} - 30^\circ)$
		b	$P_{2b} = \frac{P_{rs}}{\sqrt{3}} \cos(\varphi_{rs} + 30^\circ) + P_{2st} \cos(\varphi_{st} - 30^\circ)$ $Q_{2b} = \frac{P_{rs}}{\sqrt{3}} \sin(\varphi_{rs} + 30^\circ) + P_{2st} \sin(\varphi_{st} - 30^\circ)$
		c	$P_{2c} = \frac{P_{rs}}{\sqrt{3}} \cos(\varphi_{st} + 30^\circ)$ $Q_{2c} = \frac{P_{st}}{\sqrt{3}} \sin(\varphi_{st} + 30^\circ)$

Legarea a două transformatoare monofazate în V și legarea în stea a aparatelor de tip wattmetric		ab	$P_{2ab} = \sqrt{3} P_{2r} \cos(\varphi_a + 30^\circ)$ $Q_{2ab} = \sqrt{3} P_{2r} \sin(\varphi_a + 30^\circ)$
		bc	$P_{2bc} = \sqrt{3} P_{2r} \cos(\varphi_a - 30^\circ)$ $Q_{2bc} = \sqrt{3} P_{2r} \sin(\varphi_a - 30^\circ)$

Tabelul 5.21

# Relațiile de calcul al sarcinii secundare $Z_2$ a transformatoarelor de curent [3]

Denumirea conexiunii secundarelor transformatoarelor de curent	Schema de conexiuni a secundarelor transformatoarelor de curent	Tipul scurtcircuitului	Relația de calcul al sarcinii $Z_2$ conectată la bornele secundare ale transformatoarelor de curent	Coefficient de schemă
Stea		Trifazat și bifazat	$Z_2 = r_c + Z_r + r_t$	1
		Monofazat	$Z_2 = 2r_c + Z_r + r_{r0} + r_t$	

Denumirea conexiunii a secundarelor transformatorilor	Schema de conexiuni a secundarelor transformatorilor de curent	Tipul scurtcircuitului	Relația de calcul al sarcinii $Z_2$ conectate la bornele secundare ale transformatorilor de curent	Coeficient de schemă
Stea incompletă		Trifazat	$Z_2 = \sqrt{3} r_c + Z_r + r_t$	1
		Bifazat și monofazat	$Z_2 = 2r_c + Z_r + r_t$	
Triunghi		Trifazat și bifazat	$Z_2 = 3r_c + 3Z_r + r_t$	$\sqrt{3}$
		Monofazat	$Z_2 = 2r_c + 2Z_r + r_t$	
În opt		Trifazat	$Z_2 = \sqrt{3}(2r_c + Z_r) + r_t$	$\sqrt{3}$
		Bifazat RT	$Z_2 = 4r_c + 2Z_r + r_t$	
		Bifazat RS și ST	$Z_2 = 2r_c + Z_r + r_t$	

de conexiuni a transformatorului de curent și în funcție de tipul scurtcircuitului.

Notațiile din acest tabel au următoarea semnificație:

$r_c$  este rezistența conductoarelor de legătură;

$r_t = 0,5 \dots 1 \Omega$  — rezistența de trecere (de contact);

$Z_r$  — impedanța totală a bobinelor releelor și aparatelor de măsurat (valorile ei se iau din prospectele aparatelor respective).

Calculul aproximativ al puterii consumate de aparatele conectate la bornele secundare ale transformatoarelor de curent se poate efectua utilizând datele din tabelele 5.22 și 5.23.

Tabelul 5.22

Puterea consumată de diferitele aparate conectate la bornele secundare ale transformatoarelor [30]

Tipul aparatului	Denumirea aparatului conectat la bornele înfășurării secundare a transformatoarelor de curent	Puterea necesară pe fază VA
Indicator	Ampermetru electromagnetic	0,7—3
	Ampermetru de inducție	3 —5
	Wattmetru ferodinamic	3 —5
	Wattmetru de inducție	1
Înregistrator	Ampermetru	6 —9
	Contor de inducție	0,6—2
Regulator	Regulator automat de tensiune tip BBC-1 B VI la 5 A	100—120
Relee	De supracurent, electromagnetic	5—9
	De supracurent, termic	5—14
	Diferențial de curent	5
	De distanță	5

Tabelul 5.23

Puterea consumată de conductoarele de legătură,  
la trecerea unui curent de 5 A [30]

Tipul conductorului și sec- țiunea corespunzătoare, în mm <sup>2</sup>	Puterea consumată într- un conductor bifilar cu o lungime de 10 m, în VA
Conductor de cupru de 2,5	3,5
Conductor de cupru de 4	2,2
Conductor de cupru de 6	1,5
Conductor de cupru de 10	0,9
Conductor de aluminiu de 2,5	11,5
Conductor de aluminiu de 4	7,5
Conductor de aluminiu de 6	5,0
Conductor de aluminiu de 10	3,0

### 5.13.2. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune

După cum s-a arătat la § 5.13.1, pentru ca transforma-  
torul de tensiune să nu iasă din clasa de precizie, este  
necesar să fie îndeplinită condiția  $P_{2n} > P_2$ . Puterea  $P_2$  a  
aparaturilor alimentate de transformator se poate scrie și  
sub forma

$$P_2 = U_{2n} I_2 = U_{2n} \frac{U_{2n}}{Z_2} = \frac{U_{2n}^2}{Z_2} = U_{2n}^2 Y_2,$$

unde  $Y_2$  este inversul impedanței și se numește *admitanță*.  
Se observă de aici că puterea absorbită de aparatele conec-  
tate la secundarul transformatorului va fi cu atât mai mică  
cu cât impedanța  $Z_2$  formată de acestea va fi mai mare.  
Din acest motiv, impedanța  $Z_2$  măsurată trebuie să fie mai  
mare decât impedanța nominală  $Z_{2n}$  a transformatorului  
de tensiune. Măsurarea impedanței  $Z_2$  se poate face prin  
metoda volt-ampermetrică și prin metoda de măsurare cu  
trusa AIT.

**Metoda volt-ampermetrică.** Aceasta constă în aplicarea  
unei tensiuni egale cu  $U_{2n}$ , circuitului format de toate apa-  
ratele conectate la secundarul transformatorului și măsu-  
rarea curentului absorbit de acest circuit. Măsurarea se  
efectuează cu ajutorul montajului din fig. 5.54, în care s-a  
luat, de exemplu, o celulă de măsură cu două transforma-  
toare de tensiune tip TIRB-15, având raportul de transfor-  
mare 15 000/100 V, legate în montaj V, care alimentează  
un circuit secundar compus din aparate de măsurat (V, W,  
var, Wh) și relee de tensiune RT. După ce transforma-  
toarele de tensiune s-au scos din funcțiune se dezleagă de la  
bornele secundare ax firele ce pleacă spre aparatele de  
măsurat și relee, apoi firele se leagă ca în montajul din  
fig. 5.54. Cu ajutorul minierului AT din PC, se reglează ten-  
siunea la valoarea  $U_{2n} = 100$  V (care se citește la voltmetrul  
 $V_1$ ) și când circuitului i s-a aplicat această tensiune, se ci-  
tește indicația ampermetrului  $A_1$ . Pentru obținerea valorii  
impedanței se împarte indicația voltmetrului  $V_1$  la aceea  
a ampermetrului  $A_1$  ( $Z_2 = V_1/A_1$ ). După efectuarea acestei  
măsurări, tensiunea se aplică prin permutări circulare la  
fazele ST și TR procedînd ca mai sus. Valoarea cea mai  
mică obținută la cele trei măsurări (RS, ST, TS), trebuie  
să fie mai mare decât  $Z_{2n}$ . În caz contrar, trebuie înlăturate  
o parte din aparate și relee sau trebuie alese alte reduc-  
toare cu  $P_{2n}$  mai mare.

Tabelul 5.24

Valoarea impedanței măsurate  $Z_2$

Fazele între care se apli- că tensiunea	Valorile citate		Valoarea calcu- lată ( $Z_2 = V_1/A_1$ ) $\Omega$
	la voltmetrul $V_1$	la ampermetrul $A_1$	
RS	100	1,2	83,3
ST	100	0,8	125
TR	100	0,7	143

La măsurare s-au citit valorile indicate în tabelul 5.24.  
Rezultă că impedanța  $Z_2$  de pe fazele ST și TR corespunde,  
avînd valori mai mari decât  $Z_{2n} = 111 \Omega$ , iar impedanța  $Z_2$



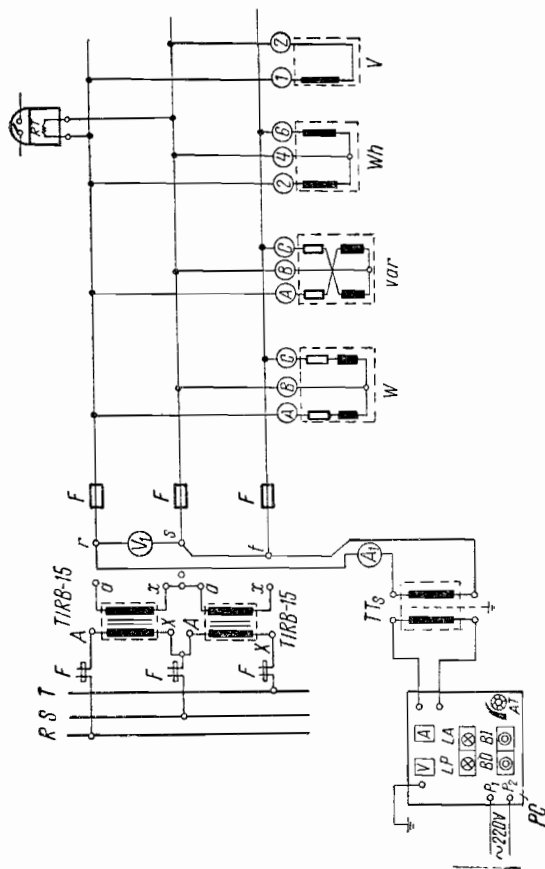


Fig. 5.54. Schema pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune, prin metoda volt-ampere:

PC — pupitrul de comandă  $TT_3$  — transformator de separare; V — voltmetru; W — wattmetru; var — varmetru; Wh — contor de energie activă; RT — releu de tensiune.

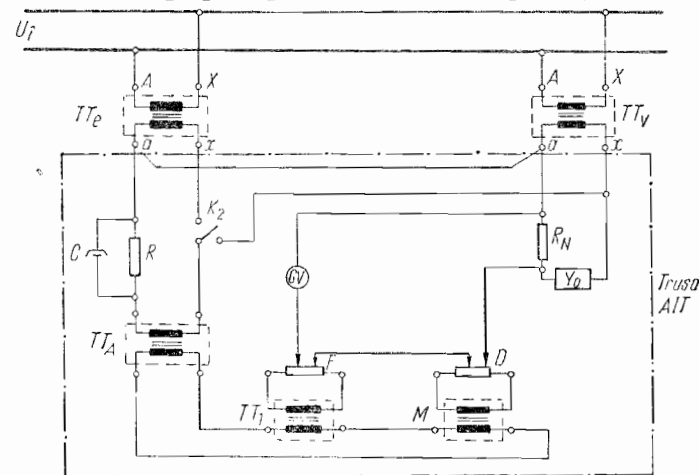


Fig. 5.55. Schema de principiu a trusei AIT pentru cazul măsurării sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune:

$TT_E$  — transformator etalon;  $K_2$  — comutator;  $C$  — condensator;  $TT_A$  — transformator auxiliar;  $TT_v$  — transformator de încercat;  $GV$  — galvanometru cu vibrații;  $R, R_N$  — rezistențe;  $TT_1$  — transformator;  $D, F$  — potențiometre cu fir;  $M$  — regulator de fază;  $Y_0$  — admitanță.

și  $D$ , care compensează căderea de tensiune de pe  $R_N$ . Rezistența  $R_N$  este legată în serie cu admitanța  $Y_0$ , conectată la bornele secundare ale lui  $TT_v$ . Prin comutatorul  $K_2$ , se alimentează de la secundarul lui  $TT_e$ , schema de măsură a trusei  $AIT$ , care cuprinde și transformatorul  $TT_A$ . Și în

acest caz, căderea de tensiune pe rezistența  $R_N$  are o componentă activă  $g$  și una reactivă  $b$ , compensate de potențiometrele  $F$ , respectiv  $D$ . Schema de montaj pentru măsurarea efectivă a sarcinii este redată în fig. 5.42, dar se poate utiliza și schema de montaj din fig. 5.56. Pentru măsurarea sarcinii se efectuează aceleași operații ca și la măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că  $K_2$  se fixează pe una din pozițiile scalei VIII. Citirea rezultatelor se face: pe scala I a lui  $K_3$  pentru pozițiile 10 și 100 ale lui  $K_2$ , sau pe scala II pentru pozițiile 3;

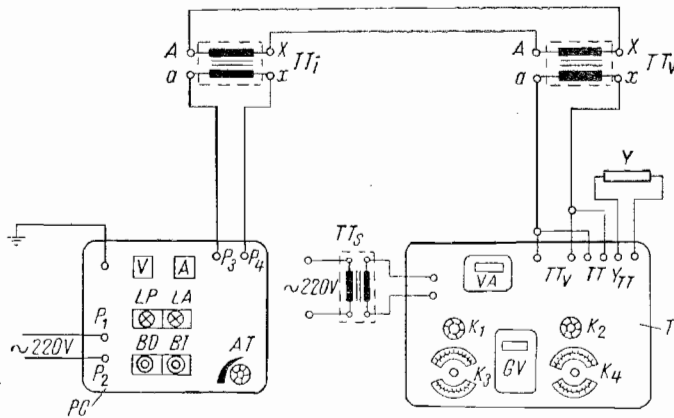


Fig. 5.56. Schema de montaj pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune:

$T$  — trusă AIT;  $TT_v$  — transformatorul ce se verifică;  $TT_i$  — transformator de încercare;  $PC$  — pupitrul de comandă;  $TT_s$  — transformator de separare;  $Y$  — cutie de impedanță.

30 și 300 ale lui  $K_2$  (pentru  $g_2$ ); pe scala IX pentru poziția 100 respectiv pe scala X pentru pozițiile 3; 30 și 300 ale lui  $K_2$  (pentru  $b_2$ ). Rezultatele citirilor se înmulțesc cu un coeficient  $K''$ , ale cărui valori sînt indicate în tabelul 5.25.

Valoarea sarcinii secundare se obține cu relațiile:

$$\begin{aligned} g_2 &= K'' \alpha; \\ b_2 &= K'' \beta; \\ Y_2 &= 1/Z = \sqrt{g_2^2 + b_2^2}, \end{aligned}$$

Tabelul 5.25

Valorile lui  $K''$  pentru diferite poziții ale lui  $K_2$  pe scala VIII [34]

Poziția lui $K_2$ pe scala VIII, $10^{-4} \text{ } 1/\Omega$	3	10	30	100	300
Valorile lui $K''$	$10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 10^{-4}$

în care  $\alpha$  și  $\beta$  sînt diviziunile citite pe scalele indicate mai sus (ale comutatoarelor  $K_3$  și  $K_4$ ).

Se poate calcula și factorul de putere al sarcinii secundare cu relația

$$\cos \varphi = g_2 / \sqrt{g_2^2 + b_2^2};$$

cu valoarea obținută pentru  $Y_2$  se calculează puterea absorbită de circuitul secundar ( $P_2 = U^2 Y_2$ ), care trebuie să fie mai mică sau cel mult egală cu  $P_{2n}$ .

### 5.13.3. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent

Conform celor precizate în § 5.13.1, condiția ce trebuie îndeplinită de transformatoarele de curent, din punctul de vedere al sarcinii ce poate fi conectată pe secundarul lor, este  $Z_{2n} > Z_2$ . Pentru măsurarea sarcinii secundare  $Z_2$  a transformatoarelor de curent, se pot utiliza metodele indicate mai jos.

**Metoda volt-ampermetrică.** Aceasta constă în alimentarea circuitului format de aparatele de măsurat și relele legate la bornele secundare ale transformatorului de curent cu un curent egal cu  $I_{2n}$  și măsurarea căderii de tensiune pe acest circuit. Pentru aceasta se dezleagă circuitul secundar exterior de la bornele  $k, l$  ale transformatorului și se leagă la sursa reprezentată prin pupitrul de comandă  $PC$ , conform fig. 5.57.

Valoarea sarcinii secundare se obține împărțind valoarea tensiunii citite pe voltmetrul  $V_1$  la valoarea curentului citit pe ampermetrul  $A_1$ . Valoarea obținută trebuie să fie mai mică sau cel mult egală cu  $Z_{2n}$ .

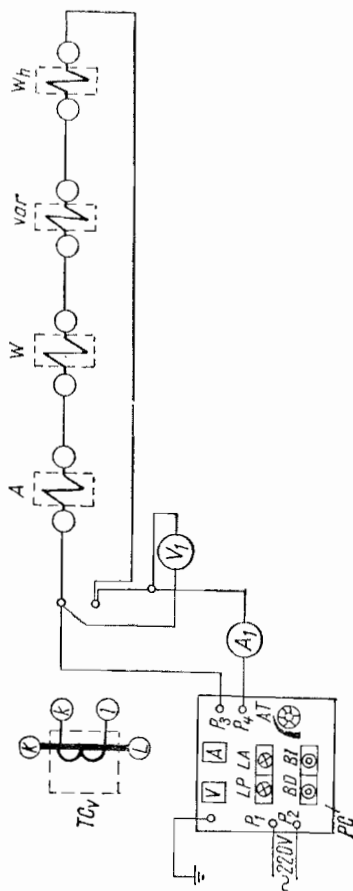


Fig. 5.57. Schema de montaj pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent:

PC — pupitrul de comandă; TC<sub>v</sub> — transformatorul la care se verifică sarcina secundară; A<sub>1</sub> — ampermetru; V<sub>1</sub> — milivoltmetru; W — bobina de curent a wattmetrului; var — bobina de curent a varimetrului; Wh — bobina de curent a contorului.

**Metoda de măsurare cu trusa AIT.** Schema de principiu folosită pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent cu trusa AIT este cea din fig. 5.58, principiul de funcționare fiind același ca la măsurarea sarcinii transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că în cazul de față, rezistența  $R_N$  este înlocuită de către divizorul de tensiune  $D_2$ , legat în paralel cu sarcina  $Z_2$  a circuitului secundar exterior. Cu ajutorul lui  $F$  și  $D$  se compensează căderile de tensiune activă și reactivă pe divizorul  $D_2$ . Schema de montaj pentru efectuarea practică a măsurării este cea din fig. 5.50, dar poate fi folosită și schema din fig. 5.59. Pentru efectuarea măsurării sarcinii secundare  $Z_2$ , se execută aceleași operații ca și la măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că indicațiile de pe scalele  $I$  sau  $II$  (pentru componenta activă  $R_2$ ), respectiv de pe scalele  $IX$  sau  $X$  (pentru componenta reactivă  $X_2$ ) se înmulțesc cu coeficientul  $K''$ , ale cărui valori sînt indicate în tabelul 5.26.

Tabelul 5.26

Valorile lui  $K''$  pentru diferite poziții ale lui  $K_2$  pe scala VII [34]

Poziția lui $K_2$ pe scala VII	0,3	1	3	10	30
Valorile lui $K''$	0,1	1	1	10	10

Valorile sarcinii secundare se obțin în felul următor:

$$R_2 = K'' \alpha;$$

$$X_2 = K'' \beta;$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}; \quad \cos \varphi = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}},$$

în care  $\alpha$  și  $\beta$  sînt diviziunile citite pe scalele  $K_3$  și  $K_4$ . Valoarea obținută pentru  $Z_2$  din relațiile de mai sus trebuie să fie mai mică, cel mult egală cu  $Z_{2n}$ .

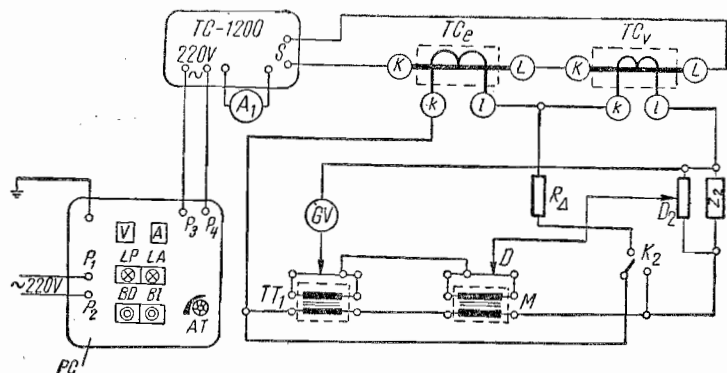


Fig. 5.58. Schema de principiu pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT:

PC — pupitrul de comandă; TC — trusă de 1200 A;  $TC_e$  — transformator de curent etalon;  $TC_v$  — transformatorul ce se încarcă.

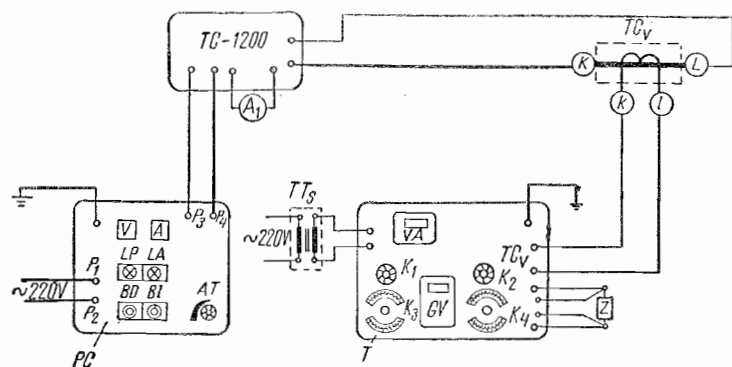


Fig. 5.59. Schema de montaj folosită pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent:

PC — pupitrul de comandă; TC — trusă de 1200 A;  $TC_v$  — transformatorul ce se încarcă;  $TT_s$  — transformator de separare; T — trusă AIT.

## Bibliografie

1. Aptov, I. S. și Homeakov, M. V. Cum se întreține uleiul electrizolant. București, Editura tehnică, 1963.
2. Avramescu, A. Solicitățile echipamentului de foarte înaltă tensiune. În: Revista Electrotehnica, nr. 12, 1959.
3. Badea, I. ș.a. Protecția și automatizarea sistemelor electrice. București, Editura tehnică, 1963.
4. Badea, I. ș.a. Exploatarea instalațiilor de protecție și automatizare ale sistemelor electrice. București, Editura tehnică, 1964.
5. Baida, L. I. ș.a. Curs general de măsuri electrice. București, Editura energetică de stat, 1953.
6. Butchevici, I. V. ș.a. Partea electrică a centralelor și a stațiilor electrice. București, Editura energetică de stat, 1953.
7. Constantinescu, V. Măsurarea rezistenței de izolație. București, Editura tehnică, 1963.
8. Cîrstea, D. ș.a. Încercarea transformatoarelor II. București, Editura tehnică, 1967.
9. Costina, D. ș.a. Studii experimentale privind nivelul de izolare la impuls de tensiune al seriei noi de transformatoare de 110 kV. În: Revista Electrotehnica, nr. 11, 1959.
10. Drăgan Șt. și Gavrila I. Îndrumător pentru lucrări de laborator la materiale electrotehnice. Cluj, Atelierul de multiplicare al bibliotecii centrale a Institutului Politehnic, 1965.
11. Drăgan, Șt. și Paian, S. Îndrumător pentru lucrări de laborator la aparate electrice. Cluj, Atelierul de multiplicare al bibliotecii centrale a Institutului Politehnic, 1965.
12. Dronault, A. Description du transformateur étalon de 1000 à 50 000 A, tension de service 220 kV. În: Révue Générale de l'Électricité, No. 9, 1966.
13. Gengeuil, J. C. Comportement des reducteurs de tension en régime transitoire. În: Révue Générale de l'Électricité, No. 6, 1966.
14. Hortopan, Gh. Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune. București, Editura tehnică, 1965.

15. Harry, S. Metode de întreținere în exploatare a uleiului de transformator. Vol. I și II, București, I.D.T., 1962.
16. Kondor, T. Tranzistoros feszültségátalakítók. În: Elektrotechnika, No. 4, 1965.
17. Lazu, C. și Corlățeanu, V. Mașini electrice. Vol. I, București, ESDP, 1962.
18. Lefebvre, M. Calcul et réalisation d'une maquette de transformateur de courant 220 kV, destiné à la mesure en régime transitoire. În: R.G.E., No. 9, 1966.
19. Mauduit, A. Installations électriques à haute et basse tension. Tom. II, Paris, Dunod, 1959.
20. Nanu, A. Încercarea materialelor electrotehnice. București, Editura tehnică, 1960.
21. Petry, H. Betriebssicherheit von Hochspannungsmesswandern und die zum Nachweiserforderlichen Prüfungen. În: ETZ—A, No. 10, 1966.
22. Rebus, W. Transformatoren. În: ETZ, 1966.
23. Sohler, J. ș.a. Comportament des transformateurs de courant en régime asymétrique de court-circuit. În: R.G.E., No. 6, 1966.
24. Steinberg, C. Teoria și proiectarea aparatelor electrice. Vol. I, București, ESDP, 1964.
25. Săndulescu, L. Încercarea la impuls a echipamentului electroenergetic aflat în exploatare. București, Sesiunea IRME, 1966.
26. Tutovan, V. Introducere în măsurări electrice și magnetice. București, ESDP, 1962.
27. D.G.M.S.I. Instrucțiuni nr. 75/1967 pentru verificarea transformatoarelor de tensiune, 1968.
28. D.G.M.S.I. Instrucțiuni nr. 69/1967 pentru verificarea transformatoarelor de curent, 1967.
29. M.E.E. Regulament de exploatare tehnică a centralelor și rețelilor electrice. București, O.D.P.T., 1967.
30. M.E.E. Normativ 3E-1-1967 de încercări și măsurări la echipamente și instalații electrice, la punerea în funcțiune și în exploatare. București, O.D.P.T., 1967.
31. M.I.C.M. Catalog de aparate electrice de I.T. Vol. II, București, O.D.P.T., 1967.
32. \* \* \* Instrucțiuni de exploatare pentru puntea Schering de gabarit mic, tip MD-16.
33. \* \* \* STAS 118-49; 286-63; 35-58; 811-61; 5489-56; 117-66; 23-50; 22-64; 38-64; 33-54; 6798-67; 178-49; 39-56; 30-51; 2740-60; 24-64; 7573-66.
34. \* \* \* Instrucțiuni de exploatare pentru trusa AIT.

## Cuprins:

<b>1. Principiile de funcționare ale transformatoarelor de măsură</b>	<b>3</b>
1.1. Bazele teoretice ale funcționării transformatoarelor de măsură	3
1.2. Rolul transformatoarelor de măsură și domeniul lor de utilizare	4
1.3. Clasificarea transformatoarelor de măsură	5
1.4. Caracteristicile transformatoarelor de măsură	7
1.4.1. Caracteristicile transformatoarelor de tensiune	7
1.4.2. Caracteristicile transformatoarelor de curent	8
1.5. Comportarea transformatoarelor de măsură în diferite regimuri de funcționare ale sistemului electroenergetic	9
1.6. Alegerea transformatoarelor de măsură	10
1.6.1. Alegerea transformatoarelor de tensiune	10
1.6.2. Alegerea transformatoarelor de curent	11
<b>2. Tipurile constructive și schemele electrice interioare ale transformatoarelor de măsură</b>	<b>15</b>
2.1. Transformatoare de fabricație românească	15
2.1.1. Transformatoare de tensiune	15
2.1.2. Transformatoare de curent	19
2.2. Transformatoare de fabricație străină	26
<b>3. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură</b>	<b>29</b>
<b>4. Schemele de legare a transformatoarelor de măsură în instalațiile electroenergetice</b>	<b>30</b>
4.1. Noțiuni generale	30
4.2. Schemele de legare a transformatoarelor de tensiune	33
4.2.1. Schema de legare pentru măsurarea tensiunii între faze	33
4.2.2. Schema de legare în V	34

4.2.3. Schema de legare în stea . . . . .	35
4.3. Schemele de legare a transformatoarelor de curent . .	39
4.3.1. Schema de legare a două transformatoare în stea incompletă . . . . .	39
4.3.2. Schema de legare a trei transformatoare în stea .	40
4.3.3. Schema filtrului de secvență homopolară . . . . .	41
4.3.4. Schema de legare în triunghi . . . . .	42
4.3.5. Schema de legare în opt . . . . .	44
4.3.6. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în serie . . . . .	47
4.3.7. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în paralel . . . . .	47
<b>5. Verificări și încercări ale transformatoarelor de măsură .</b>	<b>48</b>
5.1. Noțiuni generale . . . . .	48
5.2. Verificarea aspectului exterior . . . . .	50
5.3. Încercarea uleiului din transformatoarele de măsură .	51
5.4. Măsurarea rezistenței de izolație . . . . .	54
5.4.1. Noțiuni generale și aparatul folosit . . . . .	54
5.4.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor transformatoarelor de măsură . . . . .	58
5.5. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ( $\tan \delta$ ) al izolației transformatoarelor de măsură . . . .	59
5.6. Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială . . . . .	68
5.6.1. Noțiuni generale . . . . .	68
5.6.2. Efectuarea încercărilor . . . . .	69
5.7. Încercarea izolației cu tensiune de impuls . . . . .	74
5.8. Măsurarea rezistenței înfășurărilor . . . . .	76
5.8.1. Noțiuni generale și metode de măsurare . . . . .	76
5.8.2. Efectuarea măsurărilor . . . . .	79
5.9. Determinarea polarității bornelor . . . . .	81
5.9.1. Noțiuni generale . . . . .	81
5.9.2. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune . . . . .	83
5.9.3. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent . . . . .	87
5.9.4. Verificarea legării grupelor de trei transformatoare de curent folosite pentru protecția diferențială . . . . .	90
5.10. Determinarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi . . . . .	91
5.10.1. Noțiuni generale . . . . .	91
5.10.2. Măsurarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de tensiune . . . . .	103
5.10.2.1. Metoda directă . . . . .	105
5.10.2.2. Metoda comparației . . . . .	111

5.10.3. Măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent . . . . .	120
5.10.3.1. Metoda directă . . . . .	124
5.10.3.2. Metoda indirectă . . . . .	126
5.10.3.3. Metoda comparației . . . . .	127
5.11. Ridicarea curbei volt-ampere a transformatoarelor de curent . . . . .	133
5.12. Măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune . . . . .	134
5.13. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură . . . . .	135
5.13.1. Noțiuni generale . . . . .	135
5.13.2. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune . . . . .	142
5.13.3. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent . . . . .	147
<b>Bibliografie . . . . .</b>	<b>151</b>