

C. Cruceru

**Procedee  
de localizare  
a defectelor  
în rețelele  
de cabluri  
de energie**

83

colecția

electricianului



editura tehnică

Conf. univ. dr. ing. Constantin Crucheru

# **Procedee de localizare a defectelor în rețelele de cabluri de energie**

83



**Editura tehnică  
București — 1976**

Cartea prezintă procedeele de localizare a defectelor care apar în exploatarea rețelilor de cabluri de energie electrică.

După analizarea tipurilor de defec-te și a caracteristicilor acestora, sînt clasificate metodele de localizare utilizate; sînt examinate apoi procedeele de ardere a locului defect, instalațiile și modul de desfășurare a acestui proces. În continuare sînt analizate metodele relative și absolute de localizare a defectelor: metoda inducției, metoda măsurării în buclă, metoda capacitivă, metoda acustică, metodele prin impulsuri sau ecometrice, metoda descărcărilor oscilatorii, metoda de localizare a defectelor provocate de fenomenele de coroziune. Sînt expuse și unele metode noi, mai puțin aplicate în țara noastră: metode de localizare a descărcărilor parțiale, metoda undelor staționare.

Se insistă asupra metodelor de localizare a defectelor cu aplicabilitate largă în unitățile de exploatare electroenergetică din România. Astfel, cartea este utilă electricienilor care lucrează în exploatarea rețelilor de cabluri, atît în întreprinderile sistemului energetic, cît și în industrie.

Control științific: ing. *Emanoil Alexandru*

Redactor: ing. *Ion Ganea*

Tehnoredactor: *Elly Gorun*

Coperta: *Valentin Vișan*

---

*Bun de tipar: 21.04.1976. Coli de tipar: 8.*

*Tiraj: 13 000+70 ex. broșate.*

*C.Z.: 721.316.13..621.315.2..620.179.*

---

Tiparul executat sub comanda nr. 39 la întreprinderea poligrafică „Crișana”, Oradea, str. Moscovei nr. 5.  
Republica Socialistă România



## Prefață

*Ritmul înalt de dezvoltare a economiei noastre naționale determină creșterea corespunzătoare a consumului de energie electrică și — prin aceasta — dezvoltarea în continuare a sistemului energetic. În cadrul acestuia, rețelele electrice aeriene și în cablu au o pondere importantă, de buna lor funcționare depinzând continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor.*

*Exploatarea în condiții optime a rețelilor electrice în cablu impune supravegherea și întreținerea continuă a acestora, asigurarea stabilității funcționării lor în regim permanent și tranzitoriu. În acest scop, este necesar să se efectueze controlul lor preventiv, în vederea localizării la timp și în bune condiții a defectelor, ca și a înlăturării lor operative.*

*Pentru localizarea defectelor, pe liniile de cabluri de energie, unitățile de exploatare din România aplică actualmente mai multe metode. Fiecare dintre acestea presupune efectuarea unor măsurări preliminare în porțiunea de linie pe care se găsește defectul și apoi separarea acestuia, urmată de operația propriu-zisă de localizare a lui. În acest scop, metodele aplicate sînt diferențiate și depind de caracterul defectelor ce trebuie localizate: metode de tip punte; metoda măsurării capacităților (metoda capacitivă), pentru cazul întreruperii conductoarelor; me-*

tode prin impulsuri (ecometrice), bazate pe injectarea în cablul defect a unui impuls incident, care se reflectă la locul defect prin ecoul său, după care se determină timpul de „du-te-vino“ al impulsurilor incidente și reflectate și distanța de la capătul rețelei pînă la locul defect; metoda undelor staționare ș.a.

Defectele care se produc în cablurile de energie pot fi provocate, de asemenea, de coroziunea chimică sau electrochimică a cablurilor respective. În acest sens, cartea prezintă modul de manifestare a acestor defecte, ca și procedeele de localizare a lor, aplicate în țara noastră și în alte țări.

Pentru a oferi o imagine clară asupra metodelor aplicate, lucrarea se încheie cu un capitol care se referă la aparatele folosite în acțiunea de localizare a defectelor.

La întocmirea lucrării a fost folosit un bogat material documentar, precum și unele rezultate obținute în unitățile de exploatare din țara noastră. Mulțumesc, pe această cale, tovarășilor ing. A. Emanoil, de la Întreprinderea de distribuție a energiei electrice-București, și ing. N. Georgian, de la Centrala Industrială pentru Energie Electrică și Termică, pentru sugestiile pe care mi le-au dat la întocmirea lucrării.

AUTORUL

## 1. Determinarea caracterului defectului

Pentru cunoașterea modului de manifestare a defectelor care iau naștere în rețelele electrice de cabluri de energie și alegerea corectă a procedeeleor de localizare a acestora, este necesară în primul rînd stabilirea exactă a caracterului defectului. Apoi, se aplică metoda de localizare cea mai indicată, pentru determinarea distanței pînă la locul defect, se înlătură defectul și se procedează la remedierea lui.

Măsurările care se efectuează pentru determinarea caracterului defectului trebuie precedate de verificarea, cu indicatoare, a lipsei de tensiune pe cablu și de descărcarea fazelor conductoare ale acestuia, cu ajutorul unui scurtcircuitor legat la pămînt. După îndepărtarea scurtcircuitului, se fac măsurările propriu-zise asupra cablului, în vederea localizării defectului.

*Pe linii de cabluri de joasă tensiune* și pe circuite secundare, caracterul defectului se determină cu ajutorul megohmmetrului. În acest scop, se măsoară rezistența de izolație între fiecare conductor (fază) a liniei de cablu și pămînt, precum și între fiecare pereche de conductoare (faze). Continuitatea conductoarelor (fazelor) se verifică de la un singur capăt al cablului.

*Pe linii de cabluri de înaltă tensiune*, caracterul defectului se determină încercînd succesiv fiecare conductor, cu și fără legarea la pămînt a celorlalte conductoare (faze). Încercarea se efectuează cu tensiune redresată produsă de un Kenotron, mărind tensiunea progresiv pînă la valorile de încercare.

La determinarea caracterului defectului unui cablu de energie este necesară respectarea regulilor de securitate corespunzătoare: eliberarea unei autorizații speciale, controlul continuității fazelor cablului, verificarea stării izolației acestuia. Autorizația specială pentru începerea lucrărilor se dă de către organele de resort. Ca măsură de securitate, se verifică continuitatea cablului defect, a tuturor fazelor lui componente. În acest scop, de-a lungul unui circuit magistral complet (fără derivații) se înlătură prizele de pământ de la capătul de încercare al cablului. În cazul când fiecare fază a fost conectată la pământ, controlul continuității între fiecare din faze și pământ și între fazele propriu-zise ale cablului defect permite punerea în evidență a stării tehnice reale a tronsonului de cablu încercat.

După controlul continuității cablului defect, pentru stabilirea corectă a caracterului defectului, se verifică starea izolației acestuia procedînd la măsurarea rezistenței de izolație de la unul din capete. Dacă controlul continuității cablului defect indică o întrerupere, atunci operația de măsurare a rezistenței de izolație trebuie făcută de fiecare parte a întreruperii.

## **2. Tipurile defectelor care pot apare în rețelele de cabluri de energie**

Exploatarea, în condiții optime, a rețelelor electrice de cabluri de energie, presupune funcționarea lor neîntreruptă și eliminarea, la timp și operativă, a defectelor care iau naștere în aceste rețele.

În funcție de cauzele care le produc, defectele care apar în rețelele electrice de cabluri de energie se pot împărți în mai multe categorii, și anume:

— defecte de fabricație (fisuri ale învelișului izolan, fisuri ale mantalelor de plumb și aluminiu ale cablurilor, suprapunerea unor benzi de hîrtie în cazul cablurilor izolate cu hîrtie, cavități de aer sau gaze în dielectricul cablurilor, bavuri ale conductoarelor din cupru sau aluminiu);

— defecte de montaj (nelipirea gîtului manșoanelor, ruperea izolației la separarea conductoarelor, lipirea necorespunzătoare a clemelor de legătură, umplerea incompletă cu masă izolantă a manșoanelor de joncțiune sau terminale ș.a.);

— defecte de pozare (îndoirea bruscă la coturi, răsucirea cablurilor, ruperi, deformări ș.a.);

— străpungeri și deformări provocate de săpăturile efectuate pe traseele cablurilor;

— coroziunea mantalelor de plumb sau aluminiu ale cablurilor, datorită acțiunii curenților vagabonzi sau compoziției chimice a solurilor situate în vecinătatea cablurilor;

— supraîncălzirea și îmbătrînirea izolației cablurilor în timpul exploatării;

— ruperea conductoarelor liniilor de cabluri datorită tasării sau deplasării pămîntului pe traseul liniilor, cum și arderii conductoarelor în timpul unui scurtcircuit.

Ținînd seama de cele sus-menționate, defectele rețelelor de cabluri de energie pot fi clasificate astfel:

— defecte de izolație, care provoacă punerea la pămînt a unei faze;

— defecte de izolație, care provoacă punerea la pămînt a două sau trei faze sau scurtcircuitarea a două sau trei faze între ele, într-unul sau mai multe locuri;

— întreruperea uneia, a două sau a trei faze, fără punere la pămînt sau cu punere la pămînt, atît a conductoarelor întrerupte, cît și a celor neîntrerupte;

— străpungera trecătoare a izolației (a unei faze față de pămînt; a uneia, a două sau trei faze între ele, cu sau fără punere la pămînt).

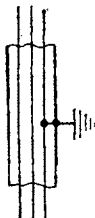
În funcție de caracterul defectelor în cablu și de rezistența de trecere la locul defectului, defectele pe liniile de cabluri de energie, operațiile care se efectuează pentru determinarea locului defect și aparatele utilizate în acest scop se pot clasifica după cum se indică în tabelul 1 [1].

În unele țări (U.R.S.S., Franța, R. F. Germania), clasificarea defectelor care apar în rețelele electrice de cabluri de energie și a metodelor de localizare a lor se face în funcție de rezistența de trecere și de tensiunea de străpungeră la locul defect, așa cum se arată în tabelul 2 [2].




**Tipuri de defecte pe linii de cabluri de energie și metode  
pentru determinarea locului defect**

Tipul defectului	Operațiile care se efectuează	Aparatele utilizate
1	2	3
Punerea la pământ a unei faze (celelalte faze au izolație normală).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Măsurarea rezistenței defectului.</li> <li>2. Dacă rezistența defectului este mai mare de <math>5 \Omega</math>, se trece la arderea defectului.</li> <li>3. Măsurarea distanței relative pînă la locul defectului, din ambele capete.</li> <li>4. Identificarea exactă a traseului cablului, defect, folosind fazele cu izolație bună, scurt-circuitate la un capăt.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Punte pentru măsurarea rezistenței ohmice</li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. a. Kenotron b. Gazotron c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune d. Sursă de curent alternativ, de joasă tensiune</li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Locotor de defecte prin impulsuri sau punte.</li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Metoda inducției (<math>f=800 \dots \dots 10\,000 \text{ Hz}</math>).</li> </ol>

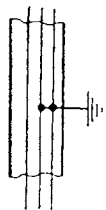


<p>Scurtcircuit între două faze, fără punere la pământ (a treia fază are izolație normală).</p>	<p>5. Se încearcă izolarea defectului prin injectarea bruscă a unui curent mare. În caz de reușită, se trece la determinarea locului defect prin metoda acustică.</p>	<p>5. a. Instalație de ardere în curent alternativ. b. Gazotron. c. Kenotron. d. Instalație pentru producerea șocurilor de tensiune (baterie de condensatoare).</p>
	<p>6. Descoperirea cablului pe porțiunea defectă rezultată din măsurări.</p>	<p>—</p>
	<p>7. Scoaterea în evidență a defectului, dacă nu e vizibil.</p>	<p>7. Instalație reglabilă de tensiune conectată între faza defectă și manta (plumb, aluminu) sau între faza defectă și inelul de gardă pentru cabluri în manta de materiale plastice sau elastomeri.</p>
	<p>1. Măsurarea rezistenței defectului.</p>	<p>1. Punte pentru măsurarea rezistenței ohmice.</p>
	<p>2. Dacă rezistența defectului este mai mare de 5 <math>\Omega</math>, se trece la arderea defectului.</p>	<p>2. a. Kenotron. b. Gazotron. c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune.</p>

Tabelul 1 (continuare)

1	2	3
		d. Sursă de curent alternativ, de joasă tensiune.
	3. Măsurarea distanței relative, pînă la locul defectului, din ambele capete.	3. Locotor de defecte prin impulsuri sau punte.
	4. Identificarea traseului cablului defect.	4. Metoda inducției ( $f=800 \dots 10\,000$ Hz).
	5. Determinarea exactă a locului defect.	5. Metoda inducției aplicată din ambele capete.
	6. Descoperirea cablului pe porțiunea defectă, rezultată din măsurători.	—
	7. Scoaterea în evidență a defectului, dacă nu e vizibil.	7. Instalație reglabilă de joasă tensiune.
	1. Măsurarea rezistenței defectului.	1. Punte pentru măsurarea rezistenței ohmice.
<p>Scurtcircuit între două faze cu punere la pământ (a</p>		

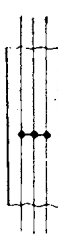
treia fază are izolația normală).



Scurtcircuit între cele trei

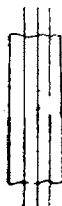
2. Dacă rezistența de defect este mai mare de $5 \Omega$ , se trece la arderea defectului.	2. a. Kenotron. b. Gazotron. c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune. d. Sursă de curent alternativ de joasă tensiune.
3. Măsurarea distanței până la locul defect din ambele capete.	3. Locator de defecte prin impulsuri sau punte.
4. Identificarea traseului cablului defect.	4. Metoda inducției ( $f = 800 \dots 10\,000 \text{ Hz}$ ).
5. Descoperirea cablului pe porțiunea defectă, rezultată din măsurări.	—
6. Scoaterea în evidență a defectului, dacă nu e vizibil.	6. Instalație reglabilă de joasă tensiune, conectată între două faze.
1. Măsurarea rezistenței defectului.	1. Punte pentru măsurarea rezistenței ohmice.

Tabelul 1 (continuare)


1	2	3
faze, fără punere la pământ.	2. Dacă rezistența de defect este mai mare de $5 \Omega$ , se trece la arderea defectului.	2. a. Kenotron. b. Gazotron. c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune. d. Sursă de curent alternativ, de joasă tensiune.
	3. Măsurarea distanței relative pînă la locul defectului, din ambele capete.	3. Locator de defecte prin impulsuri sau punte.
	4. Determinarea exactă a locului defect, din ambele capete.	4. Metoda inducției ( $f=800 \dots 10\,000 \text{ Hz}$ ).
	5. Descoperirea cablului, pe porțiunea defectă, rezultată din măsurări.	—
	6. Scoaterea în evidență a defectului, dacă nu este vizibil.	6. Instalație reglabilă de joasă tensiune, conectată între două faze.
O fază întreruptă, nepusă la	1. Determinarea naturii defectu-	1. a. Megohimmetru.

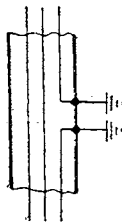
pământ

lui, prin măsurarea rezistenței de izolație și controlul continuității fazelor cablului.	b. Punte pentru măsurarea rezistenței.
2. Identificarea traseului cablului defect, prin scurtcircuitarea la un capăt a celorlalte două faze sănătoase.	2. Metoda inducției ( $f=800 \dots 10\,000$ Hz).
3. Dacă rezistența de izolație a fazei defecte, față de manta și față de celelalte două faze, este de peste $1\text{ M}\Omega$ , se determină distanța aproximativă până la locul defect, prin măsurarea la ambele capete, sau comparativ pe o fază cu izolație normală.	3. a. Punte universală (metoda capacitivă). b. Orice metodă de măsurare a capacităților când izolația față de manta și față de celelalte faze este de peste $1\text{ M}\Omega$ . c. Locator de defecte prin impulsuri.
4. Se încearcă transformarea defectului în defect bifazat (a se vedea defectul bifazat).	4. a. Kenotron. b. Gazotron. c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune. d. Sursă de curent alternativ, de joasă tensiune.
5. Se încearcă transformarea defectului în defect monofazat la manta, cu rezistență suficient	5. Idem, ca la punctul 4; set de condensatoare.



Tabelul 1 (continuare)

1	2	3
<p>O fază întreruptă și pusă la manta și pământ.</p> 	<p>de mare, pentru a aplica metoda acustică.</p> <p>Defectul se reduce la cazul precedent, pentru porțiunea din dreapta a fazei întrerupte.</p>	<p>—</p>
<p>O fază întreruptă și pusă la manta și pământ, pe ambele porțiuni ale fazei întrerupte.</p>	<p>1. Determinarea naturii defectului prin măsurarea rezistenței de izolație și controlul continuității fazelor cablului.</p> <p>2. Determinarea distanței până la locul defect, prin măsurători efectuate de la ambele capete.</p>	<p>1. Megohmmetru.</p> <p>2. Punte pentru măsurarea rezistenței ohmice.</p>
	<p>3. Se încearcă arderea izolației</p>	<p>2. Locator de defecte prin impulsuri.</p>
		<p>3. a. Kenotron,</p>



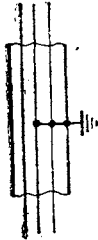
între faza întreruptă și una din fazele cu izolație normală pentru a transforma defectul în defect bifazat.

- b. Gazotron.
- c. Sursă de curent alternativ, de înaltă tensiune.
- d. Sursă de curent alternativ, de joasă tensiune.

4. În cazul când operația de la punctul 3 de mai sus, nu dă rezultate, se încearcă reizolarea unei porțiuni a fazei întrerupte față de manta; apoi se ia o valoare a rezistenței de izolație suficientă pentru a permite utilizarea metodei acustice.

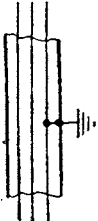
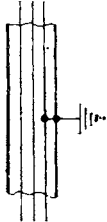
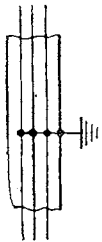
4. Metoda acustică.



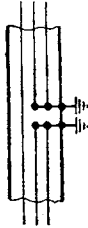
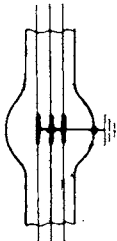
Tipurile defectelor și metodele de localizare a lor

Rezistența locului defect $\Omega$	Tensiune de străpungere la locul defectului kV	Tipul defectului	Metoda recomandată de localizare a defectului
1	2	8	4
0—100	0		1. Prin impulsuri. 2. Inductivă.



Tabelul 2 (continuare)

1	2	3	4
0—100	0		1. Prin impulsuri. 2. În buclă. 3. Acustică.
40—200	0		1. Prin impulsuri. 2. În buclă. 3. Acustică.
10—200	0		1. Prin impulsuri. 2. Acustică.

Sute de megohmi	Mai mare decît tensiunea de încercare.		1. Prin impulsuri. 2. Capacitivă.
Sute de megohmi	Mai mare decît tensiunea de încercare.		1. Prin impulsuri. 2. Capacitivă.
5 000	Pînă la tensiunea de încercare.		1. Prin impulsuri. 2. Capacitivă. 3. Acustică.
Sute de megohmi	Pînă la 8 kV, pînă la tensiunea de încercare.		1. Prin descărcări oscilatorii. 2. Acustică.

### 3. Metodele de determinare a locului defectului în rețelele de cabluri de energie

Alegerea metodei de localizare a unui defect în cablurile de energie trebuie făcută cu mare atenție și depinde de caracterul defectului și de modul lui de manifestare. Acțiunea de înlăturare a defectelor în rețelele electrice de cabluri capătă o importanță deosebită, dacă este privită comparativ cu cea de înlăturare a defectelor din celelalte instalații electrice din rețea. Aceasta derivă în primul rînd din faptul că, ponderea rețelei de cabluri fiind mult mai mare, deranjamentele sînt incomparabil mai numeroase în rețeaua de cabluri. În al doilea rînd, durata existenței defectelor din rețeaua de cabluri este mai mare decît a altor instalații defecte racordate la rețea, din cauza condițiilor cu totul diferite în care se desfășoară munca de înlăturare a defectelor. Pentru rețeaua de cabluri, munca de înlăturare a defectelor se desfășoară în exterior, în localități sau în locuri deschise pe distanțe mari, uneori în terenuri accidentate sau desfundate și de multe ori pe ploaie, în frig, pe ninsoare, lapoviță sau chiar pe viscol; în schimb, acțiunea de înlăturare a defectelor care apar în alte instalații electrice se desfășoară în interior, pe spații restrînse și la adăpost de orice intemperii.

Unul din cele mai importante mijloace de scurtare a duratei defectelor în rețelele de cabluri de energie este localizarea lor cît mai rapidă. De asemenea, durata înlăturării defectelor depinde de precizia localizării, care se manifestă prin aceea că durata necesară căutării și găsirii defectului va fi cu atît mai mică cu cît defectul este localizat cu o precizie mai mare. O precizie mare necesită însă metode de localizare corespunzătoare și aparatură de precizie adecvată care antrenează măsuri mai minuțioase și numeroase, calcule complicate și laborioase, care conduc astfel la mărirea duratei localizării. De aceea, în materiale de localizare, factorii precizie și durată sînt antagonici ceea ce generează o varietate foarte mare de metode, procedee de localizare și de aparate de măsură.

În legătură cu cele menționate, metodele de determinare a locului defect, în rețelele de cabluri de energie, trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- precizie înaltă, cu erori de maximum  $\pm 3$  m, dat fiind dificultatea săpăturilor, mai ales în cazul liniilor de cabluri pozate sub pavaje costisitoare;

- determinare rapidă, care să nu dureze mai mult de câteva ore, avînd în vedere necesitatea punerii rapide în funcționare a rețelilor de cabluri;

- siguranță mare a aparatelor utilizate;

- securitate corespunzătoare în timpul efectuării lucrărilor de localizare a defectelor.

Metodele actuale de determinare a locului defect în rețelele de cablu se împart în două grupe: metode relative care permit să se determine distanța de la locul de măsurare pînă la locul defectului și metode absolute care permit să se indice locul defectului direct pe traseu. Metodele relative asigură rapiditatea determinării orientative a locului defectului, unde trebuie trimise apoi aparatele de măsurat, pentru ca prin metode absolute să se precizeze locul prin săpături. Actualmente, atît România, cît și în alte țări, au căpătat o largă răspîndire următoarele metode de determinare a defectelor pe liniile de cablu:






- absolute: metoda inductivă și metoda acustică;

- relative: metode prin impulsuri sau ecometrice, metoda prin descărcare oscilatorie, metoda în buclă, metoda capacitivă.

În unele țări, întreprinderile de exploatare pentru transportul și distribuția energiei electrice (Tréfinmétaux — Franța, Fehlten und Guilleaume — R. F. Germania), clasifică metodele de localizare a defectelor și recomandă aparatura necesară, în funcție de tipul defectelor, așa cum se indică în tabelele 3, 4, 5, 6, 7, 8:

- metode de localizare a defectelor de izolație, utilizate pe linii de cabluri cu fazele scurtcircuitate sau puse la pămînt (tabelul 3);

**Metode de localizare a defectelor de izolație în cazul când fazele cablului sînt scurtcircuitate sau puse la pămînt**

Metoda de localizare utilizată	Aparatură necesară	Tipul defectului*				
						
Metoda căderii de tensiune în curent continuu	Pilă sau acumulator Potențiometrul Milliampermetru	Defectul are rezistență electrică mică și este foarte stabil				
		Montaj A	Montaj B	Montaj C	Montaj D	Montaj E
Bucla lui „Murray” în curent de joasă frecvență	Pilă sau acumulator Punte cu fir sau cu ploturi Galvanometru	Defectul are rezistență electrică mică și este instabil				
		Montaj F	Montaj G	Montaj H	Montaj J	Montaj K
Bucla lui „Murray” în curent continuu de înaltă tensiune	Sistem transformator Punte pentru înaltă tensiune Galvanometru	Defectul are o rezistență $\approx 1 \text{ M}\Omega$				
		Montaj L	Montaj M	Montaj N		

Bucla lui „Murray“ în joasă tensiune cu voltmetru electronic	Pilă sau acumulator Punte cu fir sau cu ploturi Voltmetru electronic	Defectul are o rezistență electrică foarte mare, adică $>1\text{ M}\Omega$			
		Montaj O	Montaj P	Montaj Q	
Bucla lui „Murray“ în curent alternativ de înaltă tensiune	Potențiometru Punte izolată pentru înaltă tensiune Contor de mare sensibilitate	Montajul este analog cu acela utilizat la bucla lui „Murray“ în curent continuu de înaltă tensiune			


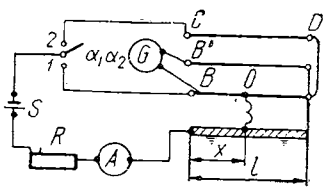

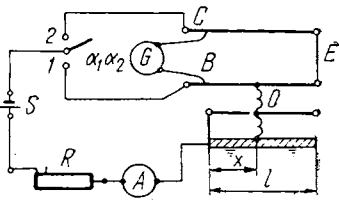
• Observații:

- izolația uneia din fazele cablului de energie este necorespunzătoare și există scurgeri de curent la pământ. (fig. I);
- izolația a două faze este defectă și există scurgeri de curent la pământ. (fig. II);
- contact între două faze ale cablului de energie. (fig. III);
- contact între trei faze ale cablului de energie. (fig. IV);
- contact între faze și scurgeri concomitente la pământ. (fig. V).


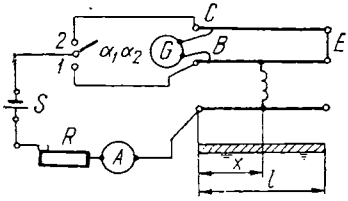

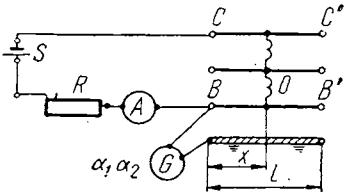

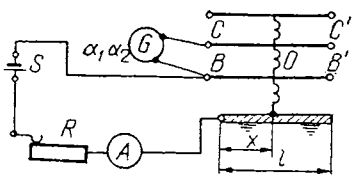
- metode de localizare a defectelor de izolație, bazate pe metoda căderilor de tensiune (tabelul 4);
- metode de localizare a defectelor de izolație, cu rezistență electrică mică la locul defect, bazate pe metoda buclei „Murray” (tabelul 5);
- metode de localizare a defectelor de izolație, cu rezistență electrică mare la locul defect, bazate pe metoda buclei „Murray” (tabelul 6);
- metode de localizare a defectelor pe liniile de cabluri de energie, cu faze întrerupte (tabelul 7);
- metode de localizare a defectelor pe liniile de cabluri de energie cu faze întrerupte (tabelul 8).

Tabelul 4

**Metode de localizarea defectelor de izolație bazate pe metoda căderilor de tensiune**

Simbol	Formule de calcul	Tipul defectului	Schema de principiu pentru detectarea defectului
1	2	3	4
A	$x = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} l$		
B	$x = \frac{2 \cdot \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} l$		


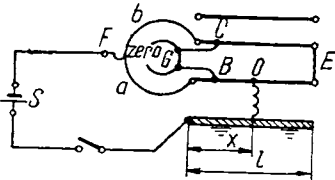

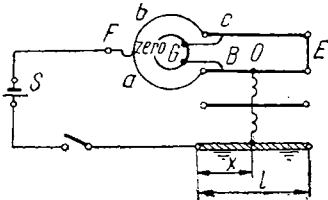

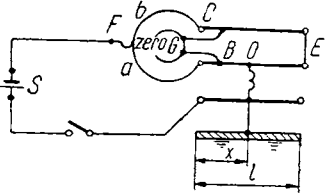

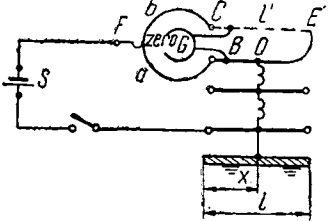
Tabelul 4 (continuare)

	2	3	4
C	$x = \frac{2 \cdot \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot l$		
D	$x = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} l$ <p><math>\alpha_1</math> este măsurat în același fel ca și <math>\alpha_2</math> însă la cealaltă extremitate a liniei (<math>B'C'</math>)</p>		
E	$x = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} l$ <p><math>\alpha_2</math> este măsurat în același fel ca și <math>\alpha_1</math> însă la cealaltă extremitate a liniei (<math>B'C'</math>)</p>		


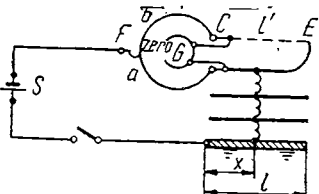


Tabelul 5

**Scheme de localizarea defectelor de izolație cu rezistență electrică mică, bazate pe metoda buclei „Murray“**


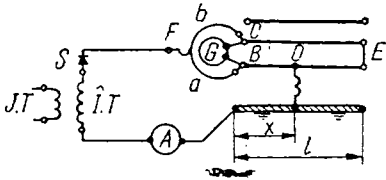

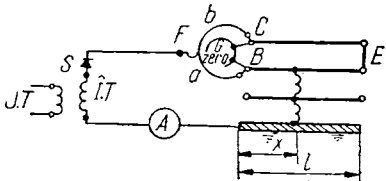
Simbol	Formula de calcul	Tipul defectului	Schema de principiu utilizată pentru detectarea defectului
1	2	3	4
F	$x = \frac{2a}{a+b} l$		
G	$x = \frac{2a}{a+b} l$		
H	$x = \frac{2a}{a+b} l$		
J	$x = \frac{2a}{a+b} (l+l')$		

Tabelul 5 (continuare)


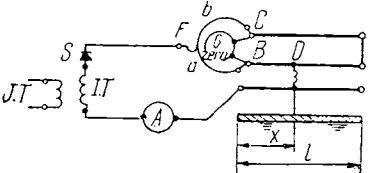

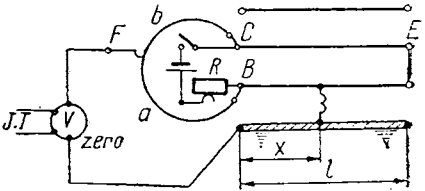

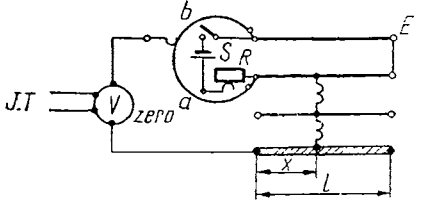

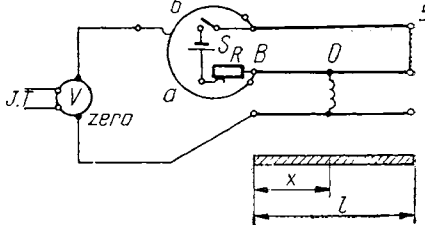
1	2	3	4
K	$x = \frac{a}{a+b}(l+l')$		

Tabelul 6




Metode de localizare a defectelor de izolație cu rezistență electrică mare la locul defect, bazate pe metoda buclei „Murray“

Simbol	Formula de calcul	Tipul defectului	Schema de principiu utilizată pentru detectarea defectului
1	2	3	4
L	$x = \frac{a}{a+b} l$		
M	$x = \frac{a}{a+b} l$		

Tabelul 6 (continuare)


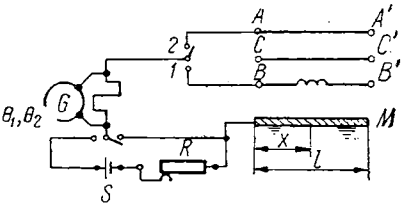

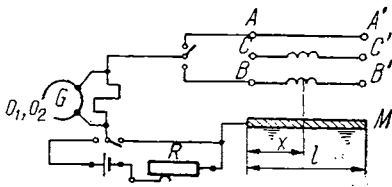

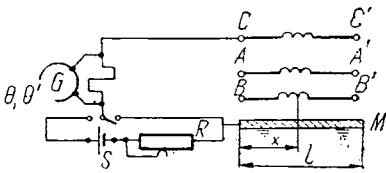

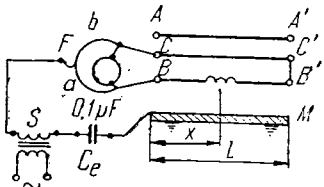
1	2	3	4
N	$x = \frac{a}{a+b} l$		
O	$x = \frac{2a}{a+b} l$		
P	$x = \frac{2a}{a+b} l$		
Q	$x = \frac{2a}{a+b} l$		

**Metode de localizare a defectelor cablurilor de energie,  
cu faze întrerupte**


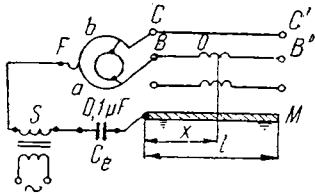

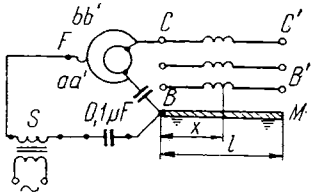
Metoda utilizată	Natura defectului Aparatura necesară			
Compararea capacităților în curent continuu	Pilă sau acumulator	Conductorul are izolație bună ( $R_i \cdot C \geq 1$ )		
	Galvanometru balistic	Montaj R	Montaj S	Montaj T
Puntea tip „Sauty” în curent de audio-frecvență	Sursă de audio-frecvență	Conductorul are izolația deteriorată iar rezistența la locul defect este $\approx 10\,000\ \Omega$		
	Puntea cu fir			
	Cască telefonică			
	Condensator etalon	Montaj U	Montaj X	Montaj Z
Puntea de tip „Nernst”	Sursă de audio-frecvență	Montajul este analog cu precedentul, dar cu o rezistență variabilă conectabilă în paralel cu capacitatea etalon		
	Condensator variabil			
	Rezistență variabilă			
	Cască telefonică			

Tabelul 8

**Scheme de montaj pentru localizarea defectelor cablurilor  
de energie, cu faze interrupte**

Simbol	Formula de calcul	Tipul defectului	Schema de principiu utilizată pentru detectarea defectului
1	2	3	4
R	$x = \frac{\Theta_1}{\Theta_2} l$		
S	$x = \frac{\Theta_1}{\Theta_2} l$		
T	$x = \frac{\Theta}{\Theta + \Theta'} l$ $\Theta'$ este măsurat în același fel ca $\Theta$ , la cealaltă extremitate a liniei (B'C')		
U	$x = \frac{2b}{a+b} l$		

Tabelul 8 (continuare)

1	2	3	4
X	$x = \frac{b}{a} : l$		
Z	$x = \frac{ab'}{ab' + a'b} l$  r' și b' sînt măsurate în același fel ca și a și b, însă de la cealaltă extremitate a liniei		

**Observații:** S — baterie sau acumulator pentru cazul schemelor R, S, T sau generator de frecvență tonală ( $f=800$  Hz) pentru cazul schemei U, X, Z; R — reostat potențiometric; G — galvanometru balistic; F — punte cu ploturi; T — cască telefonică;  $C_e=0,1\mu F$  — condensator etalon (în fig. U<sub>1</sub>, X<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>); M — mantaua metalică a cablului (plumb sau aluminiu).

**Condiții de funcționare a schemelor R—S—T.** În timpul funcționării se impune ca tensiunea de alimentare a cablului defect să fie riguros constantă, iar rezistența de izolație ( $R_i$ ) a conductorului defect (fazei defecte), măsurată în MΩ să fie superioară inversului capacității ( $C_x$ ) aceluiași conductor, măsurată în  $\mu F$ , adică să se respecte condiția că produsul  $R_i \cdot C_x > 1$ . După verificarea condiției menționate, se citesc deviațiile galvanometrului balistic, corespunzătoare manevrelor comutatorului pe cele două poziții 1, 2. Se măsoară apoi distanța  $x$ , pînă la locul defect cu relațiile indicate.

**Condiții de funcționare a schemelor U—X—Z.** Această metodă permite obținerea unor rezultate bune în cazul cînd rezistența de izolație a cablului defect este de cel puțin  $10\,000\Omega$ . După verificarea acestei condiții, cu ajutorul căștii telefonice T, se determină distanțele  $a$ ,  $b$  corespunzătoare situației inexistente zgomotului în casca telefonică. Se măsoară apoi distanța  $x$ , pînă la locul defect cu relațiile indicate.

Unele metode de localizare a defectului în liniile de cabluri de energie sînt mai puţin utilizate în România. Printre aceste metode cităm: metoda descărcărilor oscilatorii, metode de localizare a defectelor provocate din cauza descărcărilor parţiale care se produc în reţelele de cabluri de energie, metoda undelor staţionare, metode de localizare a defectelor în reţelele de cabluri de energie cu ajutorul gazelor şi izotopilor radioactivi.

Ținînd seama de cele arătate mai înainte, în continuare, se vor trata procedeele de localizare a defectelor în reţelele de cabluri de energie, prezentînd, în prealabil, procesul de ardere a defectelor şi apoi metodele de localizare a lor (metoda inducţiei, metoda măsurării în buclă, metoda capacitivă, metode prin impulsuri, metode de localizare a defectelor produse de fenomene de coroziune, metode de localizare a defectelor provocate din cauza descărcărilor parţiale, care se produc în reţelele de cabluri de energie, metodă de localizare a defectelor prin unde staţionare).

Activitatea de pregătire a localizării se termină cu alegerea mijlocului de localizare, a metodei şi procedeu-lui de localizare. În paralel cu pregătirea lucrului trebuie să se facă şi pregătirea materială care se referă la: alegerea aparaturii necesare a fi transportată pe teren constînd din selecţionarea aparatelor, accesoriilor, instrumentelor şi materialelor necesare; verificarea existenţei şi stării cordoanelor, deplasarea, în bune condiţii a aparaturii la locul măsurării, pe reţeaua defectă.

#### **4. Arderea locului defect pe liniile de cablu**

Pentru ca unele metode de localizare a defectelor pe liniile de cabluri de energie să poată fi corect aplicate, cu maximum de eficienţă, este necesar, în majoritatea oazurilor, ca rezistenţa de trecere la locul defect să fie practic neglijabilă, de ordinul ohmilor sau zecimilor de ohmi. În acest scop, se procedează în prealabil la arderea defectului, atunci cînd metoda de localizare impune acest lucru.

#### 4.1. Arderea defectelor pe cabluri de energie de înaltă tensiune

Procesul de ardere al unui defect depinde de tipul defectului și de tensiunea cablului, iar durata arderii variază în limite foarte largi. Dacă defectul se află pe cablul propriu-zis, atunci arderea decurge normal și după aproximativ 20—30 min, acesta poate fi ars. Dacă defectul se află pe un cablu care se găsește în apă, arderea poate dura mult mai mult, iar rezistența de defect nu poate fi micșorată pînă la valoarea dorită. Dacă defectul se găsește într-un manșon sau între terminale, durata arderii este de ordinul orelor, chiar zilelor. În general, durata de ardere a unui cablu depinde de puterea și tensiunea produsă de instalația de ardere.

**Instalații, aparate și scule utilizate.** Pentru arderea defectelor pe linii de cabluri de energie de înaltă tensiune, sînt necesare următoarele instalații, aparate și scule:

- instalație de redresare de înaltă tensiune pentru încercarea și străpungerea prealabilă, cu înaltă tensiune a locului defect;

- instalație de redresare cu gazotron pentru arderea izolației locului defect pînă la obținerea unei rezistențe de trecere mici, putîndu-se utiliza în acest scop și o instalație de ardere în curent alternativ, cu sau fără rezonanță;

- cablu de alimentare bifilar;

- conductor flexibil neizolat, pentru punerea la pămînt, cu secțiunea de cel puțin 25 mm<sup>2</sup>;

- punte pentru măsurarea rezistenței electrice a locului defect;

- megohmmetru de 500—1000 V;

- clește patent, cu mînere izolate, trusă de chei, șurubelnițe, cleme de legătură, cordoane cu papuci;

- cizme și mănuși electroizolante;

- bandă izolantă, lavete, plăcuțe avertizoare.

**Pregătirea și execuția operației de ardere.** Operația se execută în baza unei autorizații de lucru. În vederea arderii unui defect pe un cablu, acesta se deconcentrează la ambele capete prin întreruptoare și separatoare blocați mecanic. Se montează apoi dispozitivul de scurt-



circuitare (la capătul la care se face arderea), îngrădiri sau paravane de protecție și se afișează plăcuțe avertizoare la ambele capete.

În cazul când capătul opus al cablului se găsește într-un loc descoperit, accesibil din afară, sau dacă acesta este conectat la o linie aeriană, se procedează în aceleași condiții ca în cazul încercării cu tensiune mărită redresată, luându-se măsuri similare de protecția muncii și respectându-se aceleași distanțe de depărtare a fazelor între ele și față de pământ. Dacă cablul defect este pus în paralel cu un cablu bun, atunci cele două cabluri se vor separa, iar dacă există două sau mai multe cabluri defecte, puse în paralel, ele se vor arde separat.

La arderea defectelor pe liniile de cablu, locul unde se execută arderea trebuie să posede o sursă monofazată având puterea aparentă de circa 10 kVA. Înainte de a începe operația de ardere, întreaga instalație de ardere se leagă la pământ, printr-un conductor cu secțiunea de cel puțin 25 mm<sup>2</sup>. Se controlează apoi dacă operațiile pregătitoare au fost terminate și dacă personalul a fost evacuat în afara îngrădirii. Se trece, în prealabil, la operația de preardere, închizând întreruptorul instalației Kenotron din schema aleasă. În cazul cablurilor străpunse cu Kenotronul, se coboară tensiunea instalației Kenotron până la valori la care arderea să poată fi preluată de transformatorul de ardere sau de instalația gazotron și se cuplează apoi instalația de ardere. Se scade tensiunea de ardere a transformatorului de ardere sau a instalației gazotron, pe măsură ce curentul de ardere crește, după care, dacă mai este necesar, se trece la arderea în curent alternativ de joasă tensiune, prin cuplarea unui autotransformator reglabil sau prin cuplarea directă la rețea a cablului defect. După localizarea defectului, se reîncepe arderea, cu instalația Kenotron, și se continuă în aceleași condiții ca mai sus.

Dacă procesul de ardere durează câteva ore, fără nici un rezultat (rezistența de izolație a defectului și valoarea tensiunii de ardere nu coboară la valori neglijabile), atunci este indicat să se renunțe la ardere și să se aplice metoda acustică (metoda descărcărilor capacitive), metoda care necesită o rezistență de izolație relativ mare a lo-

cului defect și implicit tensiuni mari de străpungere. Când operația de ardere urmează după străpungerea cu instalația Kenotron, atunci procesul de ardere se va amorsa cu transformatorul de ardere, conectat pe tensiunea maximă.

În sensul celor menționate mai sus, se descrie, în continuare, o instalație de încercare și ardere utilizată, de unitățile de exploatare energetice. Această instalație, se montează pe platforma unei mașini-laborator mobil. Schema de principiu a instalației este reprezentată în fig. 1.

Ea este constituită din următoarele părți componente:

- un redresor cu Kenotron, pentru străpungerea prealabilă a izolației la locul defectului (7);

- un redresor cu gazotroane (6) pentru arderea izolației la locul defectului pînă la obținerea unei rezistențe de trecere mici;

- un generator de frecvență acustică (21), pentru măsurarea și arderea locului defectului prin metoda inductivă.

Arderea locului defectului în cablu trebuie începută cu instalația cu Kenotron și efectuată pînă cînd tensiunea de străpungere scade la circa 15 kV, după care se conectează instalația cu gazotroane, prin închiderea întreruptorului cu pîrghie (17). Apoi se conectează circuitul de încălzire (5) al Kenotronului (7) și se reglează după indicațiile voltmetrului (11). Se comută miliampermetrul (9) pe scara de 100 mA. După aceasta, se ridică tensiunea, observîndu-se cu voltmetrul valoarea tensiunii la care începe străpungerea. Cît timp valoarea curentului de ardere nu depășește 80 mA, nu este necesară supravegherea deosebită a Kenotronului (7). Dacă însă curentul crește pînă la 100—150 mA, anodul tubului se încălzește foarte rapid, ceea ce poate duce la distrugerea sa. De aceea, la ardere, tensiunea la Kenotronul (7) trebuie așa fel reglată încît curentul să nu depășească 100 mA, adică anodul Kenotronului (7) să nu se supraîncălzească. Se scade în continuarea tensiunea de străpungere la 16 kV și se conectează instalația de gazotroane și se încălzește circa 5—6 min. Se închide pornitorul magnetic (13) și se ridică tensiunea cu ajutorul transformatorului (30) pînă la valoarea maximă. Se închide întreruptorul cu pîrghie (17) care conectează în paralel Kenotronul (7) cu gazotroanele (6). Cînd ampermetrul (8) al instalației cu gazotroane indică un curent stabil, se deconectează Kenotronul (7). Se menține tensiunea la gazotroane la un anumit nivel, urmărind în acest scop ca valoarea admisibilă a curentului să nu depășească 1—1,5 A. Dacă în timpul funcționării gazotroanelor apar în interiorul lor scînteii vizibile, înseamnă că încălzirea este insuficientă și trebuie mărită tensiunea de încălzire. În aceste condiții, arderea se consideră terminată cînd curentul atinge valoarea maximă și rămîne constant. Pentru a verifica dacă arderea este suficientă, se închide la pămînt întreruptorul cu pîrghie (28). Dacă în acest caz se constată că indicația ampermetrului gazotroanelor variază

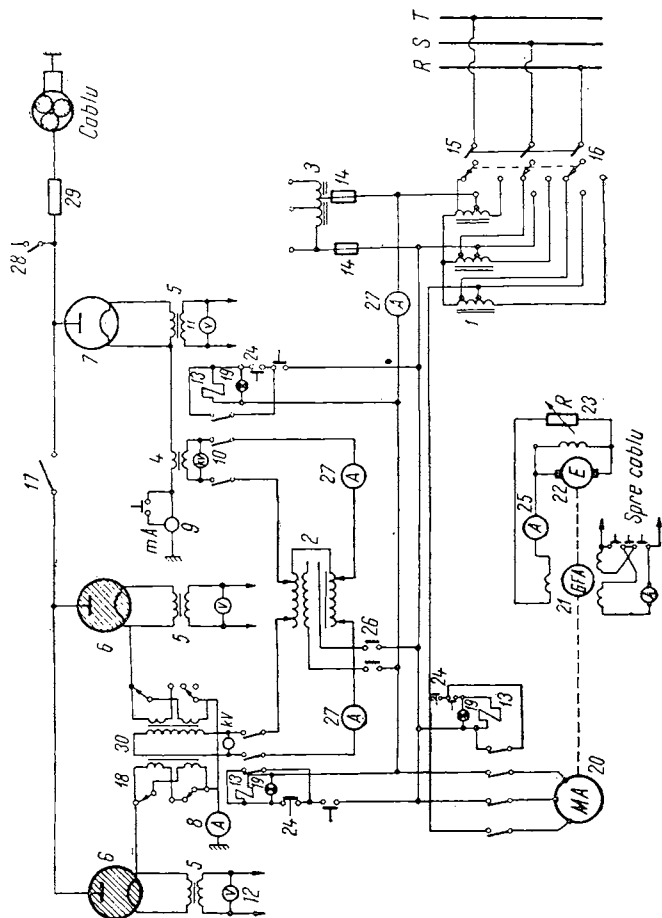


Fig. 1. Schema de principiu a unei instalații cu Kenotron și gazotroane:

1 — transformator de 120–220–380 V, 1 kVA; 2 — transformator de reglare de 0–250 V, 7 kVA; 3 — autotransformator de reglare 0–250 V, 1 kVA; 4 — transformator de încălzire de 220/42 500 V, 6 kVA; 5 — transformatoare de încălzire; 6 — gazotroane; 7 — Kenotron; 8 — ampermetru de 5 A; 9 — miliampermetru de 100 mA; 10 — kilovoltmetru de 45 200 V; 11 — voltmetru de 18 V; 12 — voltmetru de 6 V; 13 — porțnor magnetic; 14 — siguranțe de 5 A; 15 — întrerupător cu pîrghie tripolar de 500 V; 16 — comutator tripolar de 120–220–380 V, 50 A; 17 — întrerupător cu pîrghie monopolar de 5 A; 18 — comutator bipolar de 5–10 kV; 19 — lămpi de semnalizare; 20 — motor electric de 3 kW; 21 — generator de înaltă frecvență de 3 kW, 110–220 V, 1 000 Hz; 22 — excitatoare; 23 — reostat; 24 — buton de comandă (pornire, oprire); 25 — ampermetru de 1 A; 26 — contact bloc; 27 — ampermetre de 100 A; 28 — dispozitiv pentru legarea la pămînt a cablului; 29 — rezistență de 30 kΩ; 30 — transformator pentru gazotroane de 5–10 kV.

foarte puțin, atunci se consideră că rezistența la locul defect a ajuns la o valoare minimă necesară și arderea se termină. Valoarea rezistenței de trecere se determină cu inductorul.

În funcție de locul defectului în cablu, procesul arderii se desfășoară în mod diferit:

— dacă locul defectului se află pe o porțiune de cablu situat între două manșoane, arderea se desfășoară liniștit și după 5—10 min, rezistența scade rapid pînă la cîteva zeci de ohmi; fac excepție cablurile cu izolație de hîrtie impregnată cu mult ulei, la care arderea durează mai mult;

— dacă locul defectului se găsește în apă sau în pămînt umed, arderea decurge de asemenea liniștit, însă rezistența de izolație nu scade sub 2000  $\Omega$ , iar arderea ulterioară nu modifică deloc această valoare;

— dacă locul defectului se află în manșoane, arderea durează mai mult ca de obicei, iar rezistența variază între limite largi; acest fapt se datorește proceselor care iau naștere în manșoanele care ard. Caracterul instabil al rezistenței de izolație se poate prelungi uneori 1—2 h; dacă în acest interval de timp, rezistența nu scade, este necesar să se întrerupă arderea și să se efectueze măsurarea zonei defecte a liniei de cablu prin metoda descărcării oscilatorii, iar după aceea să se precizeze locul defectului prin metoda acustică.

Arderea defectului pe cablu se consideră terminată atunci cînd s-a ajuns la valori foarte mici ale rezistenței de trecere la locul defectului, făcîndu-se posibilă găsirea defectului printr-una din metodele uzuale. Valorile rezistenței de trecere la locul defect, după efectuarea arderii, trebuie să fie în mod obișnuit cel mult 5  $\Omega$ . Experiența a demonstrat că foarte multe dintre defectele monofazate pot fi transformate în defecte bifazate sau trifazate, continuînd procesul de ardere prin aplicarea într-un interval scurt de timp, a unor curenți mari, rezultați prin cuplarea directă a rețelei de joasă tensiune pe defectul monofazat. Cuplarea directă se face printr-un întreruptor de joasă tensiune, avînd o protecție maximă rapidă de curent.

## 4.2. Arderea defectelor pe liniile de cabluri de joasă tensiune, circuite secundare și fire pilot

Arderea defectelor pe liniile de cabluri subterane de joasă tensiune, circuite secundare și fire pilot, are drept scop reducerea rezistenței locului defect la o valoare care să permită utilizarea ulterioară a uneia din metodele cunoscute de localizare a defectului.

**Instalații, aparate și scule utilizate.** Pentru arderea defectelor pe linii de cabluri de joasă tensiune, circuite secundare și fire pilot, sînt necesare următoarele instalații, aparate și scule:

- transformator monofazat de joasă tensiune, cu putere suficientă pentru arderea defectului;
- autotransformator reglabil;
- întreruptor automat;
- întreruptor cu pîrghie;
- siguranțe de protecție;
- ampermetru și voltmetru portabile;
- cordon de alimentare bifilar;
- conductor flexibil pentru punerea la pămînt a instalației de ardere;
- inductor cu neon de joasă tensiune;
- clește patent, trusă cu șurubelnițe, chei fixe, cleme de legătură, cordoane cu banane și papuci, bandă izolantă, cisme și mănuși electroizolante.

**Pregătirea și execuția operației de ardere.** Și în acest caz, operația de ardere se execută pe baza unei autorizații de lucru, cu o echipă compusă din cel puțin două persoane. Pentru arderea defectului se deconectează circuitele din toate părțile mobile (doze de ramificații, tablouri de distribuție ș.a.), iar la capătul din care urmează să se efectueze arderea, se montează un scurtcircuitor. La cablurile trifazate, cu conductor neutru, se va deconecta și conductorul neutru.

Dacă sînt conectate două sau mai multe cabluri în paralel, este necesar ca ele să fie separate. În cazul cînd capătul opus al cablului este conectat la o linie aeriană, acesta se va separa, păstrîndu-se o distanță corespunzătoare față de cablu. Dacă, pe traseu, există o defecțiune a

cablului, atunci fazele sale se vor izola și distanța, iar locul respectiv se va îngrădi într-o cușcă special amenajată din lemn uscat sau pertinax. Locul unde se va executa arderea trebuie îngrădit față de restul instalației. Dacă cablul pe care trebuie să se efectueze arderea are ramificații de distribuție, acestea trebuie separate și izolate, protejându-se contra atingerii accidentale și afișându-se, în acest scop, plăcuțe avertizoare.

Amplasarea instalației de ardere trebuie făcută cât mai aproape de capătul cablului din care se va efectua arderea. Dacă arderea se face dintr-o mașină-laborator, se va îngrădi traseul conductorului de înaltă tensiune pentru ardere. Pe îngrădire se vor afișa plăcuțe avertizoare. Se conectează apoi instalația de ardere la centura de pământ și se suspendă conductorul de înaltă tensiune pe întregul traseu. Se leagă provizoriu la pământ, ca măsură de protecție, partea de înaltă tensiune a instalației de ardere. Natura defectului și rezistența locului defect fiind determinate, arderea se poate efectua atât între faze cât și între faze și manta, în funcție de rezistența de izolație, existentă la locul defect și de necesitatea transformării defectului respectiv în alt tip de defect mai ușor de localizat. În consecință se racordează, în vederea arderii, conductorul de înaltă tensiune la faza sau fazele cablului defect. Arderea defectului pe cablu se consideră terminată atunci când s-a ajuns la valori foarte mici ale rezistenței de trecere, care să permită utilizarea metodelor existente pentru determinarea locului defect.

## 5. Metoda inducției

Este o metodă absolută de determinare a locului defectului, care se bazează pe principiul formării unui cîmp magnetic, în jurul cablului, prin care trece un curent de înaltă frecvență. Metoda trebuie utilizată în toate cazurile când la locul defectului se poate realiza o legătură electrică cu unul sau două conductoare, printr-o rezistență de trecere mică. În cazul aplicării metodei inducției, prin

cablu trece un curent debitat de un generator de frecvență acustică ( $f=800 \dots 3000$  Hz). În jurul cablului se formează astfel un cîmp magnetic a cărui valoare este proporțională cu valoarea curentului din cablu. La suprafața pămîntului, deasupra cablului se poate auzi cu ajutorul unei sonde de recepție al unui amplificator și al unei căști telefonice, un sunet care apare de-a lungul cablului.

Prin metoda inducției pot fi determinate: locul defectului în cablu; traseul cablului; locul amplasării manșonului pe traseu; adîncimea de pozare a cablului.

Pentru descoperirea locului de atingere a unui conductor al cablului cu mantaua, în ultimul timp a fost elaborată o variantă a metodei inducției cunoscută sub numele de *procedeul de inducție prin comutație*.

**Determinarea locului defect pe liniile de cablu, în cazul unui scurtcircuit între conductoare.** Pentru determinarea locului defectului în cablu se folosește în acest caz, montajul din fig. 2, în care se injectează cu ajutorul generatorului de frecvență acustică *GFA*, un curent de circa 5—20 A, în două conductoare defecte ale cablului. În același timp, traseul cablului trebuie parcurs cu sonda *C* și casca telefonică *T*, ascultînd sunetul caracteristic provocat de tensiunea electromotoare indusă în sondă și amplificată. Sunetul va fi auzit pe toată porțiunea cablului în care circulă curentul produs de generatorul *GFA*, pînă la locul defectului. Deasupra locului defectului, unde curentul trece de la un conductor la altul, se produce o creștere a cîmpului magnetic, iar intensitatea sunetului în casca telefonică *T*, crește simțitor, atenuîndu-se în întregime, la o distanță de circa 0,5 m, după locul defectului, așa cum se remarcă din curba de audibilitate prezentată în fig. 2.

Curentul care trece prin conductoarele cablului crează două cîmpuri concentrice, în sensuri opuse (fig. 3). În cazul amplasării conductoarelor cablului în plan orizontal, cîmpul rezultat la suprafața pămîntului este mai intens decît în cazul amplasării acestora în plan vertical. Deoarece conductoarele cablului sînt răsucite cu un pas de 0,5—2,5 m, prin deplasarea pe traseu a cadrului de recepție a amplificatorului *A*, dispus vertical deasupra

cablului, se vor induce în cadrul  $C$  tensiuni electromotoare care variază periodic de la minimum (în poziția corespunzătoare amplasării verticale a conductoarelor) la maximum (în poziția corespunzătoare amplasării orizontale a acestora). Prin urmare, la deplasarea cadrului  $C$  pe traseul cablului, în telefonul  $T$  al amplificatorului  $A$  se aud sunete întărite și atenuate periodic, care se repetă

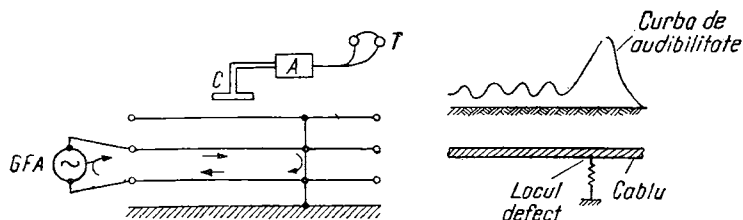


Fig. 2. Schemă pentru determinarea locului defectului prin metoda inducției, în cazul unui scurtcircuit între faze:

GFA — generator de frecvență acoustică; C — cadru; A — amplificator; T — telefon.

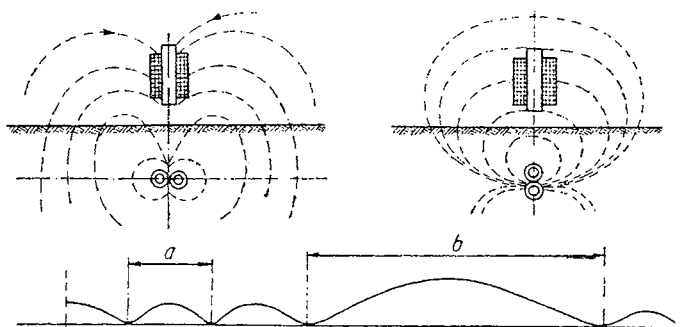


Fig. 3. Intersectarea cadrului de recepție cu cîmpul magnetic și curba de audibilitate:

a — pasul întreruperii cablului; b — zona de amplasare a manșonului.

cu mare precizie la anumite intervale de timp, în funcție de pasul de răsucire a conductoarelor cablului.

În locurile unde există manșoane, lungimea intervalului de audibilitate se modifică apreciabil și se aude un



sunet întărit brusc din cauza separării conductorului în manșon. Acest fenomen se utilizează pentru determinarea amplasării manșoanelor pe traseu. Cu toate acestea însă, nu totdeauna sunetul se aude bine pe toată lungimea cablului. În unele porțiuni ale traseului sunetul dispăre, iar în locul unui sunet intermitent caracteristic pentru schemele de alimentare bifazată a cablurilor de la un generator, se aude un sunet de intensitate foarte mică, aproape imperceptibil. Acest fenomen se datorește următoarelor cauze: răsucirea necorespunzătoare a conductoarelor cablului; adâncimea mare de pozare; ecranarea cablului cu țevi metalice. De aceea, trebuie acordată o atenție deosebită efectului de capăt. Dacă zgomotul se întrerupe treptat sau fără o întărire sensibilă, atunci cablul se află la o mare adâncime sau este montat într-o țeavă metalică. Dacă însă sunetul devine intens, cadrul  $C$  se găsește deasupra locului defect. În împrejurări îndoelnice sau dacă audibilitatea este slabă, se recomandă ca măsurarea să fie efectuată la ambele capete. În ambele cazuri, sunetul trebuie să se întrerupă în același loc al traseului.

**Determinarea locului defect pe liniile de cablu, în cazul unui scurtcircuit monofazat între un conductor și manta, prin metoda inducției, prin comutație.** În cazul conectării generatorului de frecvență acustică  $GFA$ , ca în fig. 4, în care una dintre borne este conectată la conductorul defect al cablului, iar cealaltă la manta, se

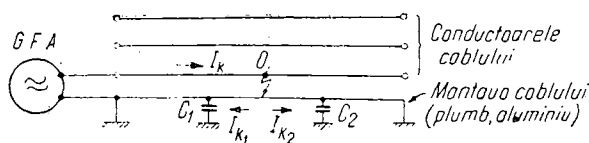


Fig. 4. Schema de conexiune a generatorului de frecvență acustică ( $GFA$ ), la sistemul fază defectă-pământ.

constată că de-a lungul traseului cablu-pământ, trec curenți diferiți. Curentul  $I_K$ , care trece prin conductorul defect, se ramifică în punctul  $O$ , în doi curenți  $I_{K1}$  și  $I_{K2}$ . Curentul  $I_{K1}$  circulă prin manta spre generator, iar curentul  $I_{K2}$  circulă prin manta în același sens ca și curenții

tul  $I_K$ , iar apoi se întoarce spre generatorul de frecvență acustică  $GFA$ , prin capacitatea  $C_2$  și pământ. Curentul total  $I_t$ , înaintea locului defect, este egal cu diferența dintre curenții care circulă prin conductor și prin manta. Conform primei legi a lui Kirchhoff aplicată în punctul de ramificație  $O$ , curentul total  $I_t$  este egal cu:

$$I_t = I_K - I_{K1} = I_{K2}. \quad (1)$$

Astfel, din relația de mai sus, se constată că, înainte și după locul defect  $O$  (fig. 4) curenții totali au aceeași valoare indiferent dacă ei reprezintă un singur curent sau diferența a doi curenți. Acest raționament explică faptul că nu este atât de ușor să se descopere cu detectorul conductoarele puse la pământ, în cazul conectării generatorului  $GFA$  conform schemei „fază defectă-pământ“.

Curenții  $I_K - I_t$  și  $I_{K1}$  creează un cîmp magnetic analog cu cel obținut în cazul conectării generatorului  $GFA$  între faze, conform fig. 3. Peste acesta se suprapune cîmpul magnetic creat de curentul  $I_t$ . Este important să se distingă cele două cîmpuri magnetice. Cîmpul magnetic creat de curenții  $I_K - I_t$  și  $I_{K1}$  (radial în raport cu cablul) scade proporțional cu pătratul distanței, adică mai repede decît cîmpul magnetic creat de curentul izolat, care urmînd legea lui Biot și Savart, scade liniar cu creșterea distanței pînă la cablu. Dacă se așează cadrul  $C$  cu axa magnetică verticală deasupra cablului, în casca detectorului  $T$  se aude un sunet minim clar în dreptul cablului, însoțit de două zone intense, pe ambele părți ale acestuia (fig. 5, b).

Cîmpul creat de curenții  $I_K - I_t$  și  $I_{K1}$  este localizat pe porțiunea de cablu cuprinsă între locul de conectare a generatorului de frecvență acustică  $GFA$  și locul defectului. Dacă se reușește descoperirea acestui cîmp, cu ajutorul amplificatorului  $A$ , atunci problema determinării precise a locului defectului în cablu este rezolvată.

Întrucît cîmpul magnetic creat de curenții  $I_K - I_t$  și  $I_{K1}$  este mult mai mic decît cîmpul creat de curentul  $I_t$ , cîmpurile magnetice pot fi estimate cu precizie, numai prin comutare. În acest scop, borna de ieșire a generatorului de frecvență acustică  $GFA$  ( $f = 1000 \dots 3000$  Hz) se

conectează, cu ajutorul unui comutator electronic *CE* pentru un timp scurt ( $t=0,15$  s) la conductorul normal *B* al cablului, legat la pământ cu capătul său opus (fig. 6). În serie cu faza defectă *C*, se conectează rezistența reglabilă *R*, care egalizează curenții în conductoare, ceea ce se

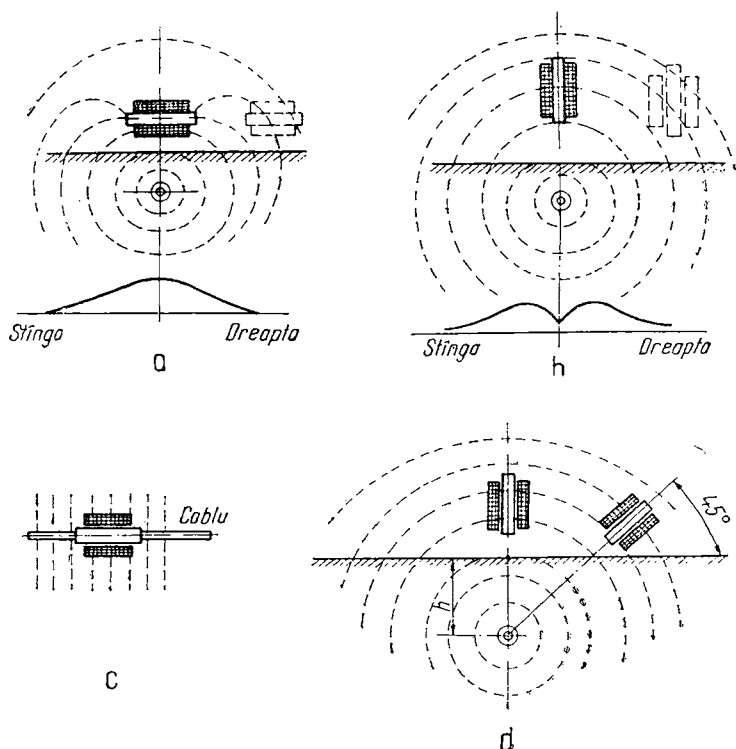


Fig. 5. Intersectarea cadrului de recepție cu liniile cîmpului magnetic:

*a*, *c* — în cazul amplasării orizontale a cadrului; *b* — în cazul amplasării verticale a cadrului; *d* — în cazul rotirii cadrului cu un unghi de 45°.

poate verifica cu ajutorul ampermetrului conectat între generatorul de frecvență acustică *GFA* și mantaua de plumb (aluminiu) a cablului. Valoarea curentului debitat de generatorul de frecvență acustică *GFA* în conductoa-

rele cablului variază de la 5 A pînă la 15 A, în funcție de adîncimea de pozare a cablului și de coeficientul de amplificare al detectorului.

Înainte de examinarea locului defect al cablului se recomandă să se determine zona defectului fie cu ajutorul

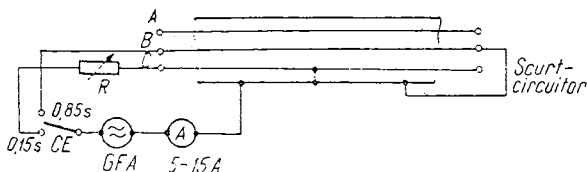


Fig. 6. Schema de conectare a comutatorului electronic la conductoarele cablului.

metodei cu impulsuri (metoda ecometrică) fie prin metoda în buclă și să se efectueze examinarea în această zonă.

În cazul conectării comutatorului electronic CE la faza defectă C, deasupra traseului cablului, se aud semnale scurte („puncte“), iar în cazul conectării la faza normală B se aud semnale lungi („liniute“), așa cum ilustrează fig. 7, a.

La suprafața solului, deasupra cablului, se poate auzi cu ajutorul cadrului, amplificatorului și telefonului, un sunet de-a lungul cablului. Aspectul cîmpului magnetic fiind cel din fig. 7, exact deasupra cablului se observă impulsuri scurte de curent („puncte“), care circulă pe traseul cablului între generator și locul defectului și sînt datorite cîmpului creat de cele două conductoare parcurse de curenții  $I_K - I_t$  și  $I_{K1}$ . Dincolo de locul defectului se observă impulsuri lungi de curent („liniute“), care circulă de la locul defectului pînă la capătul cablului conectat la pămînt. De ambele părți ale cablului, față de axa verticală, se observă cîmpul creat de curentul care se scurge prin mantaua cablului spre generatorul de frecvență acustică GFA. Înaintea defectului, cîmpul magnetic produce semnale scurte și lungi, iar după defect, numai semnale lungi (fig. 7, b). Astfel, după variația ritmului semnalelor recepționate (puncte și liniute) se poate stabili locul defectului pe traseul cablului.

**Determinarea traseului liniei de cablu.** Pentru determinarea traseului cablului, o bornă a generatorului de frecvență acustică *GFA* se conectează la un conductor normal (fără defecte) al cablului, iar celălalt la mantaua

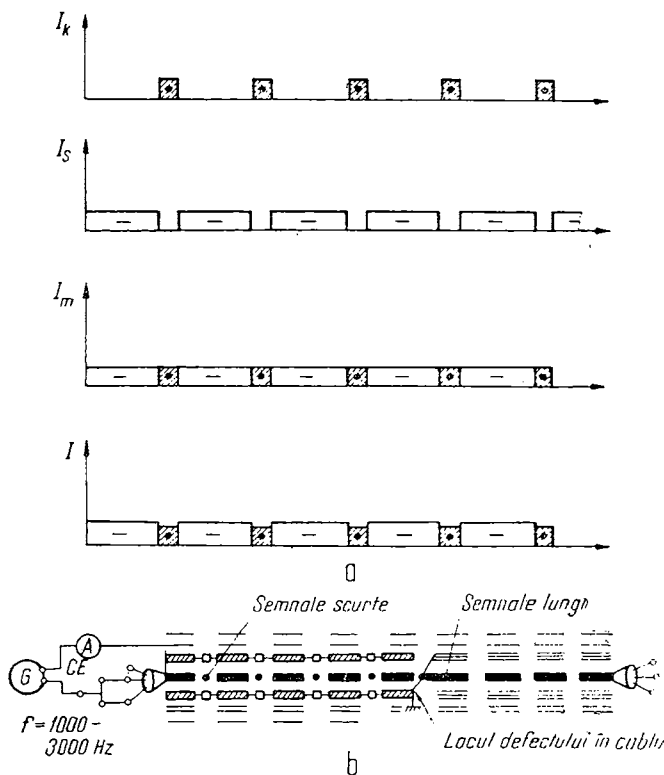


Fig. 7. Aspectul cîmpului magnetic deasupra traseului cablului:

*a* — repartizarea semnalelor în timp; *b* — forma semnalelor;  
 $I_k$  — curent electric care trece prin conductorul defect (faza defectă);  $I_s$  — curent electric care trece prin conductorul bun (faza nedefectă);  $I_m$ ,  $I$  — curenți rezultanți.

de plumb (aluminiiu) a cablului conectată la pămînt (fig. 8). Valoarea curentului debitat de generatorul de frecvență acustică se stabilește la 50 mA pînă la cîțiva

amperi. Dacă există paraziți puternici, sau dacă adâncimea de pozare a cablului este mare, curentul generatorului trebuie mărit pînă la 15—20 A. Liniile de forță ale cîmpului magnetic al sistemului de curenți „conductor-

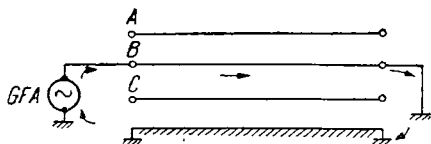


Fig. 8. Schema de comutare a generatorului de frecvență acustică, pentru determinarea traseului liniei de cablu.

pămînt“ au forma unor cercuri concentrice. Dacă axa cadrului de recepție al detectorului este situată orizontal, în planul cîmpului concentric al cablului (fig. 5, a), atunci în spirele acestuia se induce o tensiune electromotoare maximă, deoarece spirele cadrului cuprind fluxul magnetic maxim. În cazul depărtării cadrului de cablu, tensiunea electromotoare scade. Această proprietate este folosită pentru determinarea orientativă a traseului. Dacă axa cablului este situată exact vertical deasupra cablului, tensiunea electromotoare este egală cu zero, întrucît spirele cadrului nu sînt străbătute de fluxul magnetic (fig. 5, b). În cazul depărtării cadrului de cablu, tensiunea electromotoare crește brusc și apoi descrește încet. Această împrejurare este utilizată pentru determinarea precisă a traseului cablului. Dacă axa cadrului detectorului este situată paralel cu axa cablului (fig. 5, c), tensiunea electromotoare este egală cu zero. Cînd acest paralelism este deranjat, tensiunea electromotoare crește. Acest lucru este utilizat pentru determinarea direcției traseului cablului.

Uneori, datorită rezistenței mari a pămîntului, curentul de punere la pămînt se scurge de la borna generatorului de frecvență acustică prin mantalele vecine, care se găsesc în acest timp sub tensiunea de regim. În acest caz, sunetul minim se obține deasupra cablului prin care trece acest curent, iar deasupra cablului conectat la generator, nu se aude nici un sunet. În asemenea cazuri, este

necesar să se utilizeze schema de alimentare cu două conductoare conectate în scurtcircuit, la capetele opuse (fig. 9).

**Determinarea adâncimii de pozare a cablului.** Pentru determinarea adâncimii de pozare a cablului se utilizează

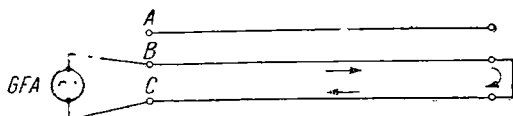


Fig. 9. Schema alimentării cu două conductoare, conectate în scurtcircuit, pentru precizarea traseului cablului, prin metoda inducției.

aceeași schema de alimentare ca și pentru determinarea traseului cablului (fig. 8). Cadrul amplificatorului se așează în acest caz în poziția orizontală și se determină traseul cablului. Locul traseului se marchează cu o linie. Se rotește cadrul astfel încât axa lui să fie înclinată la  $45^\circ$  față de planul vertical care trece prin cablu (fig. 5, d). Se deplasează cadrul pe direcția liniei marcate, deasupra traseului cablului. În zona în care tensiunea electromotoare este nulă, lipsește sunetul în cască și se marchează a doua linie. Distanța dintre prima linie trasată și cea de a doua este egală cu adâncimea de pozare  $h$  (fig. 5, d).

Echipamentul utilizat pentru localizarea locului defect pe linii de cabluri, prin metoda inducției este următorul [1, 2]:

- un generator de frecvență acustică ( $f=800 \dots 1\,000$  Hz), capabil să dea la ieșire un curent de 5—20 A, pe defect;

- receptor portativ cu sondă acordată pe frecvența emițătorului (generatorului), cu filtru pentru frecvență industrială;

- ampermetru pentru controlul curentului de ieșire;

- voltmetru;

- megohmmetru de 500—1 000 V;

- autotransformator reglabil;

- cleme și cordoane de conexiune diferite;

- mănuși și cisme electroizolante pentru operatori.

## 6. Metoda măsurării în buclă

### 6.1. Considerații generale

În cazurile când conductorul cu izolație defectă nu este întrerupt, iar cablul posedă un conductor normal, fără defecte, distanța pînă la locul defectului poate fi determinată prin metoda în buclă, bazată pe principiul punții. Ea face parte din categoria metodelor relative de determinare a locului defect și se poate aplica în cazul defectelor de tipul scurtcircuitelor între faze, sau între faze și manta, atunci cînd cel puțin unul din conductoarele cablului nu este defect.

Potrivit principiului punții, dacă presupunem patru rezistențe  $A, B, C, D$ , dispuse pe laturile unui patrulater în a cărui diagonală se conectează galvanometrul  $G$ , atunci acul galvanometrului nu deviază și se situează pe poziția „zero”, în cazul cînd între rezistențele  $A, B, C, D$  există relația:

$$\frac{A}{C} = \frac{B}{D} \quad (2)$$

Schema de principiu pentru măsurarea în buclă este indicată în fig. 10. Schema este alimentată de o baterie de

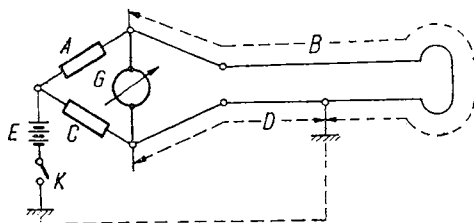


Fig. 10. Schema de principiu a metodei în buclă.

acumulatori  $E$  și este conectată la sursa de tensiune cu ajutorul întreruptorului  $K$ . Pentru a aplica metoda măsurării în buclă este necesar ca de la un capăt al liniei de cablu să se conecteze conductorul defect cu cel sănătos,



printr-un scurtcircuitor cu secțiunea cel puțin egală cu cea a conductorului cablului, asigurându-se astfel un contact cu o rezistență de trecere mică. Scurtcircuitorul se confecționează din conductor flexibil de cupru și se leagă cu cleme de alamă. La celălalt capăt al cablului se conectează, la același conductor, o punte de măsură, cu un galvanometru cu ac indicator sau spot luminos. Rezistențele  $A$  și  $C$  se reglează pe puntea de măsură, iar rezistențele  $B$  și  $D$  sînt alcătuite din conductoarele cablului, astfel încît rezistența  $D$  corespunde rezistenței conductorului de la capătul măsurat pînă la locul defectului, iar rezistența  $B$  corespunde distanței de la locul defectului pînă la celălalt capăt al conductorului, plus lungimea conductorului sănătos. Astfel rezistența buclei  $(B+D)$  trebuie să fie egală totdeauna cu rezistența celor două conductoare ale cablului:  $B+D=2R$ , unde  $R$  este rezistența conductorului bun (fără defecte). Deoarece la aceeași secțiune a conductoarelor rezistențele sînt proporționale cu lungimea, se poate scrie relația:

$$D=l_x=\frac{2LC}{A+C} \quad (3)$$

în care:  $l_x$  este distanța pînă la locul defectului;  
 $L$  — lungimea cablului.

După stabilirea echilibrului punții, cu relația de mai sus, se determină distanța căutată. Deoarece rezistențele conductoarelor cablului sînt mici în raport cu rezistențele  $A$  și  $C$  ale punții, conductorul dintre cablu și punte influențează de asemenea asupra rezultatelor măsurării. De aceea, este necesar ca galvanometrul să fie conectat la capetele conductoarelor cablului care se măsoară, iar conexiunile de la punte pînă la conductorul cablului se confecționează, în acest caz, din conducte flexibile de cupru cu secțiunea de 4 mm<sup>2</sup>.

Rezistența de punere la pămînt la locul defectului trebuie să fie cel mult 10 000  $\Omega$ . În caz contrar, sensibilitatea punții scade simțitor. Dacă rezistența de punere la pămînt este mai mare decît 10 000  $\Omega$ , este necesar ca ea să fie micșorată prin ardere. De regulă tensiunea bateriei de alimentare depinde de rezistența de trecere la locul

defectului și variază între 4 V și 120 V, pentru rezistențe de trecere de 100  $\Omega$  pînă la 10 000  $\Omega$ .

Ordinea efectuării operațiilor, prin aplicarea metodei în buclă, este următoarea:

- se determină rezistența de trecere la locul defectului, cu ajutorul megohmmetrului;

- la capătul opus al liniei se instalează un scurtcircuit între conductorul sănătos și cel defect;

- la aceleași conductoare se conectează, la capătul măsurat al liniei, conductoarele care vin de la punte;

- se instalează puntea, galvanometrul și bateria la o distanță de cel puțin 0,6—1 m de părțile conductoare de curent aflate sub înalta tensiune;

- la bornele punții se conectează conductoarele cablului, prina de pămînt și bateria;

- se conectează conductoarele care vin de la galvanometru.

Puntea se reglează prin variația treptată a rezistențelor de măsurare.

Metoda în buclă nu poate fi aplicată în cazul unui scurtcircuit între toate fazele cablului decît prin folosirea unui conductor auxiliar. Ea nu poate fi utilizată nici în cazul cablurilor de energie cu conductoare (faze) întrerupte. De altfel, aceste aspecte sînt ilustrate și în tabelele 4, 5 și 6 care pun în evidență variante de localizare a defectelor în izolație cu ajutorul metodei în buclă cunoscute sub denumirea de *buclă Murray*. Fiecărei scheme, indicate în tabelele 4, 5 și 6, îi sînt afectate tipul defectului și formula de calcul a distanței pînă la locul defect. Se menționează de asemenea că schema de principiu a metodei în buclă prezintă mai multe variante în funcție de schema de localizare utilizată și anume: schema Murray, schema GRAF, schema Wurnbach.

## 6.2. Metoda Murray

În schema Murray, două din brațele punții sînt constituite dintr-una din fazele sănătoase ale cablului și faza defectă, scurtcircuitate împreună la capătul opus. Princi-

piul de funcționare al schemei Murray este indicată în fig. 11. După cum reiese din această figură, schema se compune din patru brațe din care două sînt fazele sănătoase și faza defectă, iar celelalte două brațe sînt constituite din rezistențele  $a$  și  $b$  ale punții. Rezistența defec-

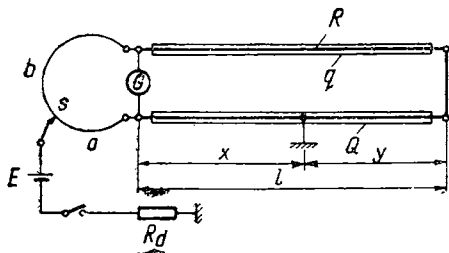


Fig. 11. Schema Murray pentru măsurarea distanței pînă la locul defect:

$x$  — distanța pînă la locul defect;  $y$  — distanța de la capătul opus al cablului pînă la locul defect;  $R$  — faza sănătoasă;  $Q$  — faza defectă;  $R_d$  — rezistența defectului;  $a, b$  — brațele punții;  $l$  — lungimea cablului;  $G$  — galvanometru;  $E$  — baterie de alimentare;  $q$  — secțiunea conductorului de fază.

tului  $R_d$  nu influențează procesul de echilibrare a punții, deoarece  $R_d$  este în serie cu sursa de curent. Ținînd seama de acest lucru, distanța pînă la locul defect, conform fig. 11, se determină cu relația:

$$x = 2l \cdot \frac{a}{a+b} \quad (4)$$

unde:  $l$  este lungimea cablului, în m;

$a, b$  — rezistența electrică a brațelor punții, în  $\Omega$ .

Pentru asigurarea preciziei măsurării, prin schema Murray, este indicat să se efectueze măsurări și în capătul opus al cablului. În acest caz, distanța pînă la locul defect se notează cu  $y$ . Dacă măsurările sînt corecte, atunci trebuie satisfăcută condiția  $x+y=l$ , în care  $l$  este lungimea cablului supus verificării.

Schema de montaj Murray îmbracă diferite forme, în funcție de tipul defectelor pe liniile de cabluri de energie,

aşa cum este ilustrat în tabelele 3, 4 şi 5, în care se indică de asemenea şi schemele concrete de montaj şi relaţiile de calcul a distanţei pînă la locul defectului.

În schemele Murray *A, B, C, D, E* (tabelul 4), notaţiile au următoarele semnificaţii: *S* — reprezintă sursa de curent (pilă sau acumulator); 1, 2 — comutator cu două poziţii; *R* — rezistenţă variabilă (potenţiometru); *A* — miliampermetru; *G* — galvanometru. Schemele Murray *A, B, C* (tabelul 4) presupun că  $\alpha_1$  şi  $\alpha_2$  sînt valorile unghiurilor de deviere a galvanometrului *G*, corespunzătoare poziţiei comutatorului pe contactele 1 şi 2. Schemele Murray *D* şi *E* (tabelul 4) presupun că  $\alpha$  şi  $\alpha'$  sînt valorile unghiurilor de deviere a galvanometrului *G*, corespunzătoare fiecărei extremităţi a cablului defect. În vederea asigurării unei precizii corespunzătoare, schemele Murray *F, G, H, J* şi *K* (tabelul 5) necesită ca firul de conectare scurtcircuitor, care formează bucla, să aibe o secţiune cel puţin egală cu secţiunea conductorului defect. Pentru toate schemele Murray *A, B, C, D, E, F, G, H, J, K* (tabelele 4 şi 5) este necesar să se ţină seama de acţiunea electrolitică a solului la locul defect, deoarece în cazul existenţei unei asemenea acţiuni, galvanometrul va înregistra o deviaţie prealabilă, înainte de începerea măsurătorilor, care falsifică măsurătorile. În acest caz, este necesar să se noteze poziţia acului indicator al galvanometrului, iar după conectarea bateriei să se reechilibreze puntea.

Unităţile de exploatare energetice din România utilizează, pentru aplicarea metodei în buclă după schema Murray următoarele aparate: punte pentru măsurarea defectelor (tip Neptun; P 333 ş.a.); megohmmetru de 500, 1 000 sau 2 500 V; scule (cleşte, şurubelniţe ş.a.); accesorii de legătură.

Utilizînd metoda Murray în cazul reţelelor în cablu, compuse din tronsoane de diferite secţiuni şi din diferite

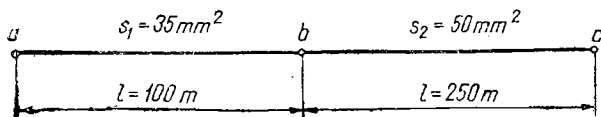


Fig. 12. Linia de cablu care se măsoară.

materiale, calculul distanţei pînă la locul defect presupune mai multe etape. Pentru exemplificare se consideră, conform fig. 12, o reţea în cablu cu două secţiuni, una din

cupru, avînd secțiunea de 35 mm<sup>2</sup>, iar cealaltă din aluminiu, avînd secțiunea de 50 mm<sup>2</sup>. Rezistența conductoarelor cablului se determină cu relația

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega] \quad (5)$$

în care:  $\rho$  este rezistivitatea conductorului, în  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;  
 $l$  — lungimea conductorului, în m;  
 $s$  — secțiunea conductorului, în mm<sup>2</sup>.

În expresia distanței, pînă la locul defectului, scrisă mai înainte,  $D = 2LC(A + C)$ , la determinarea lungimii  $L$  a cablului se consideră că porțiunile  $B$  și  $D$  (fig. 10) au aceeași secțiune și sînt din același material. În cazul cînd secțiunile sînt diferite, lungimea se recalculează, pentru o secțiune oarecare, reducîndu-se linia de cablu la una omogenă, cu aceeași rezistență.

Formula de bază pentru recalcularea lungimii este în acest caz

$$\frac{\rho_1 \cdot l_1}{s_1} = \frac{\rho_{rap} \cdot l_{rap}}{s_{rap}}.$$

În exemplul de față întreaga lungime a cablului se raportează la un conductor de aluminiu cu secțiunea de 50 mm<sup>2</sup>. Pentru porțiunea  $ab$  (fig. 12) sînt date:  $l_1 = 100$  m,  $s_1 = 35$  mm<sup>2</sup>,  $\rho_1 = 0,0175$   $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

Se consideră:  $s_{rap} = 50$  mm<sup>2</sup>,  $\rho_{rap} = 0,0293$   $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , iar lungimea raportată a tronsonului  $ab$  este

$$l_{rap} \cdot 50 \text{ mm}^2 = \frac{l_1 \cdot s_{rap} \cdot \rho_1}{s_1 \cdot \rho_{rap}} = \frac{100 \cdot 50 \cdot 0,0175}{35 \cdot 0,0293} = 89,1 \text{ m}.$$

Prin urmare, lungimea totală raportată este

$$l_{tot} = 89,1 + 250 = 339,1 \text{ m}.$$

Presupunem că măsurarea s-a efectuat din punctul  $c$  și  $a$  dat distanța  $l_x = 140$  m. În acest caz, nu este necesară nici o recalculare suplimentară și trebuie să se caute defectul la distanța de 140 m de la punctul  $C$ .

Dacă distanța  $l_x$  rezultă egală, de exemplu, cu 300 m, adică după punctul  $b$ , trebuie să se efectueze o recalculare astfel: lungimea de la  $c$  la  $b$  este de 250 m; lungimea raportată care ră-

mine este  $300-250=50$  m și trebuie recalculată pentru a se determina lungimea reală:

$$l_{real} = 35 = \frac{50 \cdot 0,0293}{50 \cdot 0,0175} = 56 \text{ m}$$

prin urmare defectul trebuie căutat la distanța de  $250+56=306$  m de la punctul c.

Corectitudinea efectuării măsurărilor, prin metoda Murray, se pune în evidență făcând măsurările de la ambele capete ale cablului defect. Localizarea de la ambele extremități ale cablului defect, se verifică, așa cum s-a mai menționat, dacă este îndeplinită condiția

$$l_1 + l_2 = L$$

în care:  $l_1, l_2$  sînt distanțele pînă la locul defect măsurate de la ambele capete ale acestuia;  
 $L$  — lungimea totală a cablului defect.

În realitate, din cauza erorilor care intervin la măsurarea rezistențelor și lungimilor și a aproximațiilor admise la deducerea formulei de localizare, precum și din alte cauze care scapă de sub control, această condiție nu poate fi satisfăcută, existînd totdeauna o abatere

$$\Delta l = \pm (l_1 + l_2 - L). \quad (6)$$

De aceea, distanța pînă la locul defect, măsurată la un capăt se corectează cu ajutorul relației

$$l_{1c} = l_1 \left( 2 - \frac{l_1 + l_2}{L} \right) \quad (7)$$

valabilă cînd corecția este mică și cînd se poate admite că este proporțională cu lungimile.

În general erorile care apar, prin metoda Murray, pot fi eroarea de rezistență ohmică, eroarea de lungime și eroarea cauzată de sensibilitatea schemei de măsurare. Eroarea de rezistență ohmică este suma patrată a erorilor care se fac la măsurările de localizare.

Din cele menționate, asupra metodei Murray, rezultă că eroarea metodei depinde, în mare măsură, de aparatura

folosită și că este cu atât mai mică, cu cât sînt mai mici lungimile cablului defect, rezistența buclei și eroarea cauzată de sensibilitatea schemei de măsurare.

### 6.3. Metoda GRAF

O metodă bazată pe metoda Murray, constituind o îmbunătățire a acesteia, este metoda propusă de Graf și schema de localizare corespunzătoare. Realizarea schemei de localizare a defectului, conform *metodei și schemei Graf*, necesită în afară de faza defectă, două faze cu izolația bună (ambele din cablu, unul din cablu și altul auxiliar sau ambele auxiliare). De asemenea, la locul măsurat, trebuie să se dispună de o priză de pământ de măsurare; în lipsă, conductorul respectiv se va suda la mantaua cablului. Avantajul metodei constă în faptul că influența rezistenței cordonului de măsură se elimină prin modul de efectuare a măsurărilor chiar dacă firele cordonului de măsură au rezistențe diferite. Ca atare, metoda este specifică localizării precise a defectului. Măsurarea, prin metoda Graf, necesită pentru localizarea unui defect, trei mă-

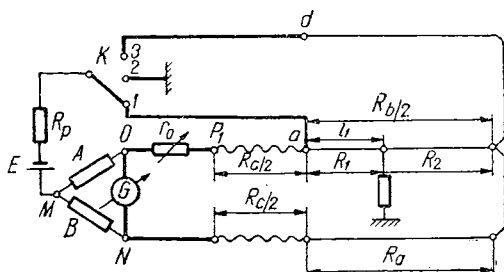


Fig. 13. Metoda Graf, folosind puntea cu raport constant:

$E$  — sursă de alimentare;  $G$  — galvanometru;  
 $K$  — cheie de contact.

surări. Puntea utilizată în metoda Graf poate fi cu raport constant sau cu raport variabil, a brațelor punții.

**Puntea cu raport constant.** Schema de principiu este indicată în fig. 13, iar cele trei măsurări se execută cu același raport  $A/B=p$  al brațelor punții.

Prima măsurare se execută cu cheia  $K$  în poziția 1, a doua cu cheia în poziția 2, iar a treia, cu cheia în poziția 3. Pentru fiecare din aceste măsurări, echilibrând puntea, se poate scrie:

$$\frac{A}{B} = p = \frac{r_{01} + \frac{R_c}{2}}{\frac{R_c}{2} + R_d + \frac{R_b}{2}}; \quad (8)$$

$$\frac{A}{B} = p = \frac{r_{02} + \frac{R_c}{2} + R_1}{\frac{R_c}{2} + R_a + R_2}; \quad (9)$$

$$\frac{A}{B} = p = \frac{r_{03} + \frac{R_c}{2} + \frac{R_b}{2}}{\frac{R_c}{2} + R_a}; \quad (10)$$

de unde se deduce că:

$$R_1 = \frac{1}{p+1} (r_{01} - r_{02}); \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{1}{p+1} (r_{02} - r_{03}). \quad (12)$$

Pentru a localiza defectul se ține seama că:

$$\frac{l_1}{L} = \frac{l_1}{l_1 + l_2} = \frac{R}{R_1 + R_2} \text{ și că } \frac{l_2}{l_1 + l_2} = \frac{R}{R_1 + R_2}.$$

Făcînd înlocuirile lui  $R_1$  și  $R_2$  se obțin relațiile de localizare, în funcție de cele două extremități a defectului:

$$l_1 = L \frac{r_{01} - r_{02}}{r_{01} - r_{03}} \text{ și } l_2 = L \frac{r_{02} - r_{03}}{r_{01} - r_{03}}. \quad (13)$$

Aceste relații sînt independente nu numai față de rezistența cordonului de măsură, dar și față de rezistența ohmică a celor două faze cu izolație bun.



**Puntea cu raport variabil.** Pentru deducerea relațiilor de echilibrare punții, se ține, în acest caz, seama că pe de o parte schema de principiu (fig. 14) diferă de cea din fig. 13, deoarece la această punte nu există brațul cu rezistența variabilă  $r_0$  și din acest motiv,  $r_{01}=r_{02}=r_{03}=0$ . Echilibrarea punții, cu raport variabil, făcându-se prin variația brațelor  $A$  și  $B$ , la fiecare din cele trei măsurări se

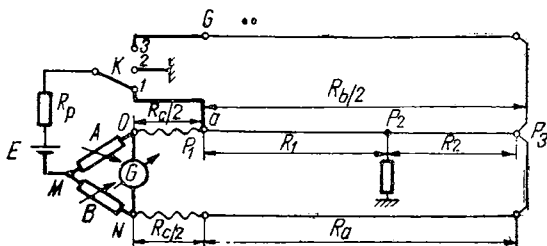


Fig. 14. Metoda Graf, folosind puntea cu raport variabil:  
 $E$  — sursă de alimentare;  $G$  — galvanometru;  $K$  — cheie de contact.

va obține, la echilibru, o altă valoare pentru raportul  $A/B$  și anume rapoartele  $p_1$ ,  $p_2$  și  $p_3$ . În acest caz, cele trei relații de echilibru din varianta precedentă devin:

$$p_1 \left( \frac{R_b}{2} + R_a + \frac{R_c}{2} \right) - \frac{R_c}{2} = 0; \quad (14)$$

$$p_2 \left( R_a + R_2 + \frac{R_c}{2} \right) - R_1 - \frac{R_c}{2} = 0; \quad (15)$$

$$p_3 \left( R_a + \frac{R_c}{2} \right) - \frac{R_b}{2} - \frac{R_c}{2} = 0. \quad (16)$$

Substituind  $R_2 = R_b/2 - R_1$ , se obține:

$$R_1 = \frac{R_b}{2} \cdot \frac{(p_2 - p_1)(p_3 + 1)}{(p_2 + 1)(p_3 - p_1)}. \quad (17)$$

Substituind  $R_1 = R_b/2 - R_2$ , se obține

$$R_2 = \frac{R_b}{2} \cdot \frac{(p_3 - p_2)(p_1 + 1)}{(p_2 + 1)(p_3 - p_1)} \quad (18)$$

Substituind pe  $R_1$  și  $R_2$ , în relațiile de mai sus, prin  $R_1 = \frac{l_1}{s}$  și  $R_2 = \frac{l_2}{s}$  se obțin lungimile de cablu pînă la locul defect

$$l_1 = \frac{(1+p_3)(p_2-p_1)}{(1+p_2)(p_3-p_1)} \text{ și } l_2 = \frac{(1+p_1)(p_3-p_2)}{(1+p_2)(p_3-p_1)}. \quad (19)$$

Înlocuind în relațiile (19), rapoartele  $p_1=A_1/B_1$ ,  $p_2=A_2/B_2$  și  $p_3=A_3/B_3$ , se obține:

$$l_1 = L \frac{(A_3+B_3)(A_2B_1-A_1B_2)}{(A_2+B_2)(A_3B_1-A_1B_3)} \text{ și } l_2 = L \frac{(A_1+B_1)(A_3B_2-A_2B_3)}{(A_2+B_2)(A_3B_1-A_1B_3)} \quad (20)$$

Pentru ca precizia măsurării distanței pînă la locul defect efectuate prin metoda GRAF să fie cît mai mare, se recomandă ca rezistența de trecere la locul defect să fie de cel mult 0,5  $\Omega$ . Pentru a realiza această condiție, se procedează în prealabil la arderea locului defect cu un transformator avînd o puterea medie de 8 kVA, așa fel încît valorile curenților și tensiunilor de ardere să fie egale cu cele înscrise în tabelul 9.

Tabelul 9

**Valorile curentului de ardere în funcție de tensiunea de ardere aplicată**

Curentul de ardere	40 A	10 A	4 A	1 A	350 mA	200 mA	100 mA
Tensiunea de ardere	100 V (c.a)	400 V (c.a)	1 kV (c.a)	2 kV (c.a)	10 kV (c.c)	40 kV (c.c)	70 kV (c.c)

#### 6.4. Metoda Wurnbach

O altă variantă a schemei Murray, aplicată la determinarea locului defect, în cabluri de energie, cunoscută sub denumirea de *schema Wurnbach*, este indicată în fig. 15. Schema este alimentată de un transformator de înaltă tensiune  $T$  și un redresor  $R$ . Variante ale aceleiași

scheme sînt ilustrate și în tabelul 6. Relația de determinare a distanței, pînă la locul defect, este în acest caz,

$$x = 2l \frac{a}{a+b} \quad (21)$$

în care:  $a, b$  sînt indicațiile brațelor punții, la echilibru;  
 $l$  — lungimea cablului.

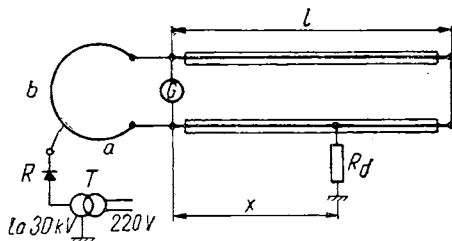


Fig. 15. Schema Wurnbach, cu redresor de tensiune, pentru măsurarea distanței pînă la locul defect:

$a, b$  — brațele punții;  $T$  — transformator de înaltă tensiune;  $R$  — redresor;  $R_d$  — rezistența de trecere la locul defect;  $G$  — galvanometru;  $l$  — lungimea cablului;  $x$  — distanța pînă la locul defect.

## 6.5. Metoda Varley

Una din metodele, foarte cunoscute, aplicate la localizarea defectelor, în rețelele de cabluri de energie este *metoda Varley*. Deosebirile dintre metoda Murray și metoda Varley constau în aceea că măsurările efectuate prin metoda Varley se obțin cu ajutorul punții cu raport constant.

Metoda Varley cuprinde două procedee: cu fir bun și cu fir auxiliar.

**Metoda Varley cu fir bun.** Are la bază schema de principiu și echivalentă din fig. 16 care, la echilibru, permite scrierea relației:

$$\frac{X}{Y} = \frac{r_{01} + R_1 + 2R_2 \frac{R_{BP}}{R_{BP} + R_{Fm}}}{R_1 + 2R_2 \frac{R_{BP}}{R_{BP} + R_{Fm}}} = \frac{r_{01} + R_1}{R_b - R_1} \quad (22)$$

în care:  $r_{01}$  este citirea la punte, în momentul echilibrului;

$R_{BP}$  — rezistența firului  $BB_1P$ ;

$R_{Pm}$  — rezistența firului  $Pm$ ;

$R_b, R_1, R_2$  — au semnificațiile de pe figură.

Conform premiselor luate în considerație, în cazul acestei metode, s-a adoptat  $2R_2 = R_b - 2R_1$ . Raportul  $X/Y$

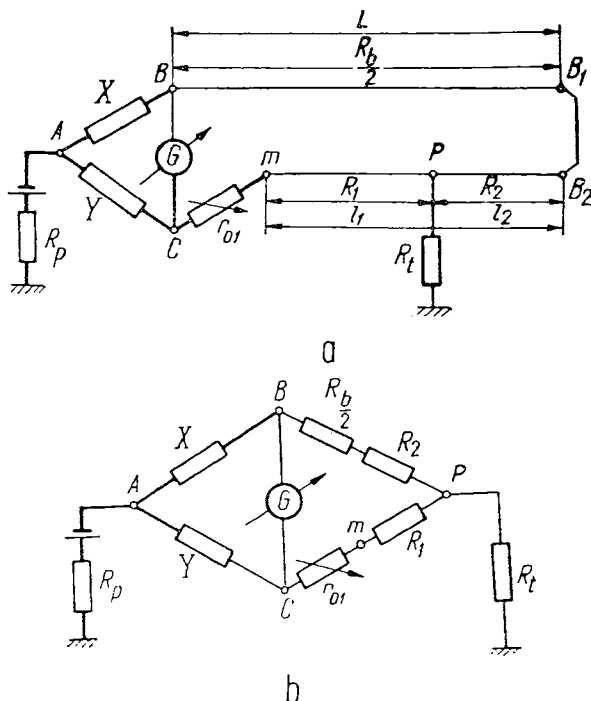


Fig. 16. Metoda Varley cu fir bun:  
a — schema de principiu; b — schema echivalentă.

fiind constant și notind  $X/Y = K$ , valoarea aleasă pentru raportul brațelor punții, se obține:

$$R_1 = \frac{R_b}{K+1} \left( K - \frac{r_{01}}{R_b} \right) \quad (23)$$

Cu ajutorul relației (23), trecînd de la rezistențe la lungimi, se obține distanța  $l_1$ , pînă la locul defect, cu relația:

$$l_1 = \frac{2L}{K+1} \left( K - \frac{r_{01}}{R_b} \right). \quad (24)$$

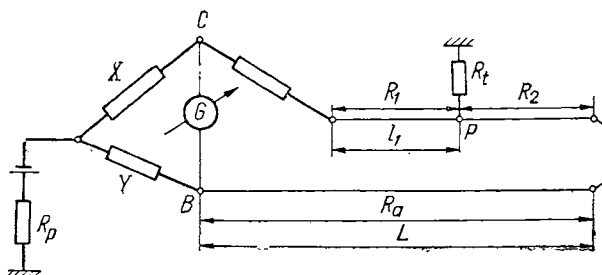


Fig. 17. Metoda Varley cu fir auxiliar.

Dacă alegem prin măsurare, raportul  $K=1$ , atunci:

$$l_1 = L \left( 1 - \frac{r_{01}}{R_b} \right). \quad (25)$$

**Metoda Varley cu fir auxiliar.** Are la bază schema de principiu din fig. 17, care, la echilibru, permite scrierea relației:

$$\frac{X}{Y} = K = \frac{r_{01} + R_1}{R_a + R_2} \quad (26)$$

sau

$$R_1 = K(R_a + R_2) - r_{01}. \quad (27)$$

Trecînd de la rezistențe la lungimi se obține, și în acest caz, distanța pînă la locul defect, adoptînd pentru raportul  $K=1$ ,

$$\rho \cdot \frac{l_1}{s} = \rho \frac{L}{s} + R_2 - r_{01} \quad (28)$$

sau

$$l_1 = \frac{\rho \frac{L}{s}}{\frac{\rho}{s}} + \frac{R_2 - r_{01}}{\frac{\rho}{s}}. \quad (29)$$

Deci distanța pînă la locul defect este:

$$l_1 = L + \frac{s}{\rho} (R_2 - r_{01}), \quad (30)$$

unde:  $L$  este lungimea totală a cablului defect, în m;  
 $s$  — secțiunea conductorului defect (fazei defecte), în mm<sup>2</sup>;  
 $\rho$  — rezistivitatea electrică a conductorului (fazei), în  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;  
 $R_2, r_{01}$  — au semnificațiile de pe fig. 17.

## 7. Metoda capacitivă

Această metodă face parte din categoria metodelor relative pentru determinarea locului defect, în rețelele de cabluri de energie. Măsurarea distanței pînă la locul defect, prin această metodă, se bazează pe faptul că între lungimea și capacitatea cablului măsurat există o proporționalitate. Metoda capacitivă se poate aplica numai în cazul defectelor, apărute în exploatarea rețelilor în cablu, la care în urma apariției s-au întrerupt una sau mai multe faze. Avantajul metodei constă în precizia ei suficient de mare și în aceea că nu necesită arderea la locul defect. Capacitatea cablului, se poate determina atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

**Măsurarea capacității în curent alternativ.** O variantă larg aplicată a metodei capacitive în curent alternativ este cea ilustrată în fig. 18, care este alimentată de un generator cu tuburi electronice de 1 000 Hz, avînd puterea aparentă de 10—20 VA și este prevăzută cu un telefon  $T$ , în calitate de indicator de „zero”. Instalația respectivă din fig. 18 este, prin urmare, o punte de impedanțe, care la echilibru satisface relația:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \quad (31)$$

în care  $Z_1, Z_2, Z_3$  și  $Z_4$  sînt impedanțele punții. În majoritatea cazurilor, impedanțele  $Z_1$  și  $Z_4$  ale punții sînt rezistențe, iar impedanțele  $Z_2$  și  $Z_3$  sînt compuse din rezistențe și capacități. Dacă alimentăm schema din fig. 18, cu

curent alternativ, în impedanțele  $Z_2$  și  $Z_3$  are loc un defazaj între tensiune și curent, defazaj de care depinde raportul dintre valorile rezistenței și a capacității care compun impedanțele  $Z_2$  și  $Z_3$ .

Dacă defazajul și valoarea absolută a reactanței conectate între punctele  $A-D$  sînt egale cu cele ale reac-

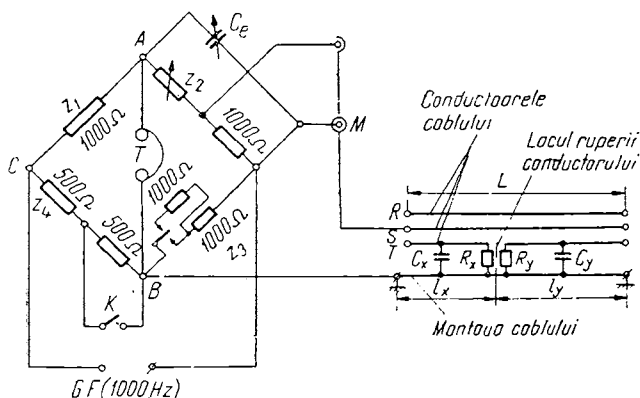


Fig. 18. Schema punții capacitive în curent alternativ:  
 $T$  — telefon;  $C_e$  — capacitatea etalon,  $R, S, T$  — fazele cablului defect ( $T$  — faza întreruptă a cablului defect);  
 $GF$  — generator cu tuburi electronice de 1 000 Hz și cu puterea aparentă de 10–20 VA.

tanței dintre punctele  $B-D$ , în punctele  $A-B$  potențialele sînt egale, iar în casca telefonică  $T$  nu se aude nici un sunet. În caz contrar, echilibrul este deranjat și curentul de egalizare provoacă în telefon un sunet. Reglînd rezistența  $R_3$  și capacitatea etalon  $C_e$ , se poate elimina sunetul în telefonul  $T$ , iar capacitatea cablului  $C_{cablu}$  se poate determina cu relația

$$C_{cablu} = C_e \frac{Z_1}{Z_4}. \quad (32)$$

Cu ajutorul punților de curent alternativ se pot măsura capacități, în cazul unor rezistențe de punere la pămînt de cel puțin 5 MΩ. La valori mai mici ale rezistențelor, precizia punții scade. În toate cablurile de măsurare a capacităților, conductoarele cablului, în afară de cel care

este supus măsurării, se conectează la pământ, pentru a se micșora influența lor asupra capacității care se măsoară.

**Măsurarea capacității în curent continuu prin metoda capacitivă.** Măsurarea capacității în curent continuu prin metoda capacitivă se poate aplica de asemenea, numai în cazul conductoarelor întrerupte, când rezistența de trecere la locul defectului este de cel puțin 20 M $\Omega$ . Schema de măsură principală este ilustrată în fig. 19. Ea este alimentată de o baterie de curent continuu  $E$ , de 110—220 V. Funcționarea schemei din fig. 19 se face astfel: stabilindu-se cu ajutorul potențiometrului  $P$  sensibilitatea minimă a galvanometrului  $G$ , se așază cheia  $K_2$  în poziția 1; în acest caz, curentul de încărcare circulă de la bateria  $E$  la conductorul cablului prin galvanometrul  $G$  și face să devieze acul indicator al acestuia cu unghiul  $\beta_1$ ; se mărește apoi sensibilitatea galvanometrului cu ajutorul potențiometrului  $P$ , pînă cînd se obține deviația maximă a acului indicator, pentru capacitatea dată; se repetă co-

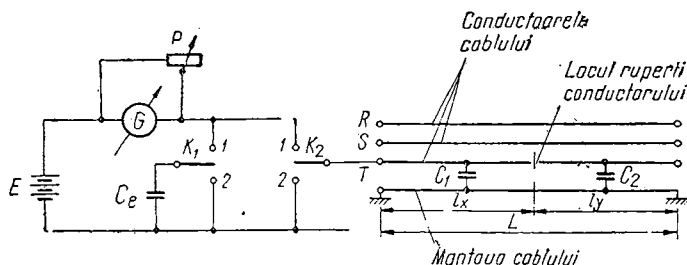


Fig. 19. Schemă de principiu pentru măsurarea capacității în curent continuu:

$P$  — potențiometrul;  $G$  — galvanometru;  $C_e$  — condensator etalon;  $C_1$  — capacitatea conductorului defect;  $E$  — baterie de acumulare.

nectarea de 3—4 ori și se ia valoarea medie; apoi, la aceeași poziție a potențiometrului  $P$ , se închide cheia  $K_1$  în poziția 1, iar curentul circulă de la bateria  $E$  la condensatul etalon  $C_e$  prin galvanometrul  $G$ , făcînd să devieze acul indicator al acestuia cu unghiul  $\beta_2$ . Pe baza celor menționate, capacitatea căutată a cablului este:

$$C_{\text{cablu}} = C_e \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (33)$$



Pentru determinarea distanței pînă la locul defect se procedează astfel:

— În cazul întreruperii unui conductor, se măsoară, în prealabil, capacitatea  $C_1$  a acestuia la un capăt, iar după aceea capacitatea  $C_2$  la celălalt capăt (fig. 19). Întrucît lungimea cablului se împarte proporțional cu capacitățile obținute, distanța pînă la locul defectului se determină cu relația

$$L_x = \frac{L \cdot C_1}{C_1 + C_2} \quad (34)$$

în care  $L$  este lungimea cablului.

— În cazul cînd conductorul întrerupt are la un capăt o punere la pămînt directă, se măsoară capacitatea  $C_1$  a unei porțiuni și capacitatea  $C$  a întregului conductor, iar distanța pînă la locul defectului se determină cu relația

$$l_x = \frac{L \cdot C_1}{C} \quad (35)$$

— În cazul cînd capacitatea conductorului întrerupt poate fi măsurată numai de la un singur capăt, iar celelalte conductoare au o punere la pămînt directă, distanța pînă la locul defectului se determină cu relația

$$l_x = \frac{1\,000 \cdot C_1}{C_0} \quad (36)$$

în care:  $C_0$  este capacitatea specifică a conductorului măsurată în  $\mu\text{F/km}$ , la tensiunea dată (conform tabelului 10, pentru conductoare de cupru). Capacitatea  $C_0$  pentru conductoare de aluminiu se găsește de asemenea în tabele constructive pentru cabluri de aluminiu.

Metoda capacitivă, fiind o metodă relativă de determinare a distanței pînă la locul defect, se poate folosi combinată cu metoda acustică, ca metodă absolută. Precizia determinării locului defect, prin metoda capacitivă, este satisfăcătoare în cazul unei bune izolări a locului defect respectiv. Ea scade atunci cînd pe un cablu avariât, în

afara întreruperii unei faze, pe care se face măsurarea, există o punere la pământ a unei alte faze. Metoda capacitivă nu se poate utiliza în cazul cablurilor de joasă tensiune, când pe porțiunea supusă măsurării se găsesc ramificații.

**Variante ale metodei capacitive.** Unele firme străine aplică și alte variante ale metodei capacitive, așa cum se arată în tabelul 7 și tabelul 8. În esență, principiul măsurării distanței până la locul defect, este același, unele din variante utilizând punți de curent continuu (tabelul 8, variantele R, S, T), iar alte variante utilizând punți de curent alternativ (tabelul 8, variantele U, X, Z). În cazul variantelor care utilizează punți de curent continuu (tabelul 8, R, S, T), sursa de alimentare S a schemelor este o baterie de acumulare, iar în cazul variantelor care utilizează punți de curent alternativ (tabelul 8, U, X, Z), sursa de alimentare S a schemelor este un generator de audiofrecvență ( $f = 800 \dots 1\,000$  Hz).

Tabelul 10  
Valorile capacităților electrice ale unor secțiuni de cabluri, măsurate în funcție de tensiunea lor nominală

Secțiunea mm <sup>2</sup>	3 × 4	3 × 6	3 × 10	3 × 16	3 × 25	3 × 35	3 × 50	3 × 70	3 × 95	3 × 120	3 × 150	3 × 185	3 × 240
Tensiunea 1 000 V	0,2	0,225	0,310	0,360	0,450	0,635	0,650	0,670	0,685	0,700	0,740	0,780	0,850
6 000 V	0,125	0,150	0,200	0,250	0,280	0,300	0,350	0,370	0,420	0,450	0,500	0,600	0,650
10 000 V	0,050	0,080	0,105	0,150	0,180	0,200	0,210	0,220	0,230	0,270	0,290	0,320	0,360

## 8. Metoda acustică

Această metodă face parte din grupa metodelor absolute de determinarea locului defect și este mai puțin utilizată în România. Este cunoscută și sub numele de *metoda descărcărilor capacitive*. Esența metodei constă în ascultarea oscilațiilor acustice generate deasupra locului defect, datorite descărcărilor prin scintei produse de un generator de impulsuri. Procedul metodei rezidă în aceea că în cazul punerii la pământ a unei faze, între faza defectă și manta se aplică șocuri de tensiune într-un anumit ritm, șocuri care se obțin prin încărcarea și descărcarea unui condensator pe faza defectă. Străpungerea locului defect datorită șocurilor de tensiune provoacă vibrații sonore care se propagă prin sol și pot fi sesizate la suprafața solului, cu un detector acustic (microscop cuplat la un etaj de amplificare sau stetoscop). Șocurile de tensiune se produc cu ajutorul unei scheme în care sursa de tensiune este o instalație de tensiune redresată (Kenotron). Generatorul de șoc sau de impulsuri cuprinde o instalație cu Kenotroane  $K$ , un eclator  $E$  de 10—20 kV și un condensator  $C$  de 2—4  $\mu F$  (fig. 20, a).

Schema de principiu din fig. 20 se poate aplica pentru determinarea locului defect, în cazul când rezistența de trecere la locul defectului este mică.

Metoda acustică începe cu conectarea prealabilă a conductorului de înaltă tensiune al instalației Kenotron ( $K$ ) la faza supusă încercării, iar celelalte faze se leagă la pământ prin conectare la o instalație mobilă de punere la pământ. Se scoate apoi legătura la pământ pe faza supusă măsurării și se trece la producerea șocurilor de tensiune. Pentru ascultare ușoară pe traseu, nivelul de tensiune aplicat asupra locului defect trebuie să fie de cel puțin 10 kV. Tensiunea aplicată în momentul descărcării, trebuie să se mențină aproximativ constantă o durată mai lungă de timp. În cazul defectării unei singure faze a cablului, se poate utiliza drept condensator una din fazele sănătoase ale cablului, care se încarcă cu ajutorul instalației Kenotron și se descarcă pe faza defectă.

Pentru ascultarea pe traseu, se stabilește în prealabil, cu exactitate, traseul cablului și locul manșoanelor. Se ascultă manșoanele prin amplasarea microfonului pe sol, deasupra acestora. Amplasarea greșită a microfonului față de locul descărcării, la distanțe de peste 2 m, poate duce la ratarea găsirii defectului, întrucât solul amortizează puternic oscilațiile sonore.

În cazul cînd nu se descoperă defectul, se va asculta întregul traseu, așezînd microfonul pe sol din metru în

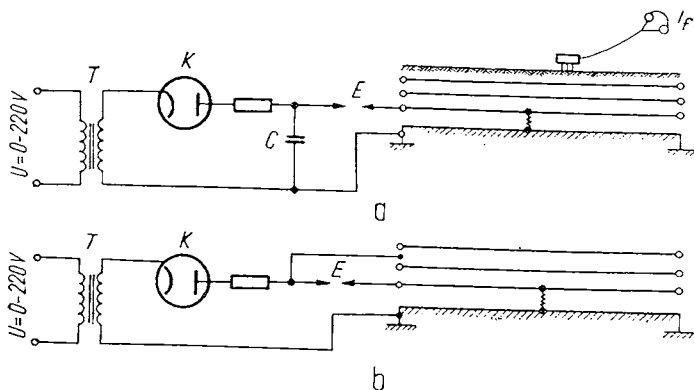


Fig. 20. Schema de principiu pentru determinarea locului defectului prin metoda acustică, în cazul cînd rezistența de trecere la locul defectului este mică:

a — cu condensator; b — cu folosirea capacității conductoarelor normale (nedefecte); T — transformator de înaltă tensiune; K — Kenotron; E — eclator; T<sub>f</sub> — telefon.

metru, operație foarte dificilă care se va aplica numai în ultimă instanță. Deoarece amplificatorul portativ, folosit în scopul ascultării, are o sensibilitate mare, se recomandă ca ascultarea descărcărilor să se facă în perioadele lipsite de zgomot ale străzilor. Se recomandă de asemenea, ca periodic, să se controleze continuitatea existenței descărcărilor utilizînd, în acest scop, sonda inductivă a aparatului întrebuințat în cazul metodei inductive.

După găsirea locului defect, instalația Kenotron se deconectează de la rețeaua de alimentare și se efectuează descărcarea cablului și condensatorului prin legarea provizorie la pămînt, timp de circa 5 min, a instalației Keno-

tron. După aceea, cablul supus încercării se leagă la pământ, printr-o instalație mobilă de legare la pământ.

În cazul străpungerilor trecătoare în manșoane, când tensiunea de străpungere nu scade, se utilizează ca generator de impulsuri, instalația de Kenotron  $K$  și cablul în-

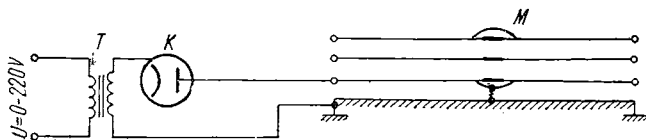


Fig. 21. Schemă de principiu pentru determinarea locului defectului prin metoda acustică, în cazul unei străpungeri trecătoare în manșon:

$T$  — transformator de înaltă tensiune;  $K$  — Kenotron;  $M$  — manșon de joncțiune.

suși (fig. 21). Atât în cazul străpungerii temporare în manșon (fig. 21), cât și la o descărcare a condensatorului în cablu (fig. 20), energia de descărcare a defectului se determină cu relația:

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

în care:  $W$  este energia electrică, în J;

$C$  — capacitatea, în  $\mu F$ ;

$U$  — tensiunea de străpungere, în kV.

Din relația de mai sus, reiese că energia de descărcare este direct proporțională cu capacitatea cablului și cu pătratul tensiunii de străpungere. Pentru ca la suprafața pământului să se audă sunetul generat de descărcarea electrică, la locul defectului, trebuie să existe un orificiu în mantaua cablului și o rezistență de trecere suficientă pentru formarea descărcării prin scînteii. Prima condiție este de obicei realizată prin procesul de ardere a locului defect cu ajutorul Kenotroanelor cu gazotroane sau a generatoarelor de frecvență acustică. A doua condiție nu este îndeplinită în toate cazurile.

În cazul străpungerilor trecătoare, într-un manșon defect, după determinarea zonei defectului prin metoda acustică, se trasează pe un plan de situație pozițiile manșoanelor

de joncțiune la care este posibil să existe străpungeri. Apoi, asupra cablului se aplică din nou tensiunea generată de Kenotron și se procedează la ascultarea descărcărilor, cu ajutorul detectorului cu cadru. După aceea, se procedează la ascultarea manșoanelor. Sunetul provocat de descărcări are intensitatea maximă direct deasupra locului străpungerii. Trebuie remarcat că unda sonoră se propagă prin mantaua de plumb a cablului cu o atenuare mai mică decât prin pământ și de aceea descărcarea poate fi auzită uneori, oarecum atenuată, în manșoanele vecine. La suprafața solului sunetul provocat de descărcări se aude clar numai în apropierea locului străpungerii, ceea ce dă posibilitatea să se indice cu precizie locul acesteia. La examinarea fiecărui manșon de joncțiune, dacă descărcările nu se aud cu ajutorul stetoscopului este necesar să se verifice existența descărcărilor în cablu cu ajutorul detectorului. Aceasta dă certitudinea măsurării corecte și scutește deplasările inutile cu aparatele pe traseu. Cu ajutorul stetoscopului și al detectorului de cablu se pot asculta 2—3 manșoane în timp de câteva minute, ceea ce permite să se stabilească rapid manșonul defect, deasupra căruia se aud descărcări.

## 9. Metode prin impulsuri sau ecometrice

### 9.1. Generalități

Metoda de determinare a locului defect prin impulsuri, denumită și *metoda ecometrică*, este o metodă relativă care se bazează pe reflexia impulsurilor electrice la locul defectului datorită modificării, în acest loc, a impedanței caracteristice a cablului și pe măsurarea intervalului de timp dintre momentul transmiterii impulsului și momentul sosirii impulsului reflectat.

Practic, pe linie se trimite un impuls electric, care se repetă periodic, numit *impuls incident* sau *de sondaj*. Acesta se reflectă la locul unde se află o neomogenitate

a cablului și apoi apare, pe ecranul unui osciloscop, sub forma unui impuls reflectat.

Dacă se notează prin  $v$ , viteza de propagare a impulsului electric pe linie și prin  $t_x$  timpul în care impulsul parcurge distanța pînă la punctul de reflexie și înapoi, atunci distanța pînă la locul reflexiei (locul defect) se determină cu relația

$$l_x = v \frac{t_x}{2}. \quad (37)$$

Valoarea numerică a vitezei de propagare a impulsului și impedențele caracteristice determinate experimental pentru o serie de linii electrice, sînt indicate în tabelul 11.

*Tabelul 11*

**Vitezele de propagare ale impulsului injectat și impedența caracteristică ale unor linii aeriene și în cabluri de energie**

Tipul liniei	Viteza de propagare a impulsului m/ $\mu$ s	Impedența caracteristică $\Omega$
Linii aeriene de transport de energie electrică de 35—110— —220—400 kV	295	350—500
Linii aeriene de telecomunicații cu conductoare de bronz și bi-metal	286	540—600
Linii aeriene de telecomunicații cu conductoare de oțel	230	1 400—1 500
Linii în cablu de energie 1—6— —35—110 kV—220 kV	160	30—40

Aparatele pentru localizarea defectelor în cabluri prin metoda impulsurilor, sînt prevăzute cu tub catodic pe ecranul căruia se citește direct intervalul de timp între impulsul incident și impulsul reflectat. Unele aparate rea-

lizează aceasta prin marcarea bazei de timp, iar altele prin aplicarea unei întârzieri a dispozitivului de baleiaj. Metoda este deosebit de avantajoasă, deoarece poate fi aplicată tuturor tipurilor de defecte și este una dintre cele mai precise metode relative cunoscute.

În afară de locul defect, aparatul indică cu precizie și natura defectului, datorită coeficientului de reflexie

$$p = \frac{Z_c - Z_d}{Z_c + Z_d},$$

unde:  $Z_c$  este impedanța caracteristică a cablului;

$Z_d$  — impedanța caracteristică a defectului.

Din relația de mai sus, se constată că dacă linia este închisă pe impedanța sa caracteristică, coeficientul de reflexie  $p$ , devine zero, adică pe linie nu se produce nici o reflexie. Dacă pe linie s-a produs un scurtcircuit, coeficientul de reflexie devine negativ, iar dacă linia se află în gol, coeficientul de reflexie devine pozitiv. Din cele menționate, rezultă că coeficientul de reflexie dă o imagine completă asupra caracterului defectului.

Dacă impedanța de defect este mai mare decât impedanța caracteristică a cablului ( $Z_d > Z_c$ ), impulsul reflectat va avea același semn cu impulsul incident, iar dacă impedanța caracteristică a defectului este mai mică decât impedanța caracteristică a cablului ( $Z_d < Z_c$ ), atunci impulsul reflectat va fi de semn contrar impulsului incident.

Fiecărui impuls incident îi corespunde un anumit spectru de amplitudine. Considerînd un cablu fără pierderi, adică cu rezistența longitudinală egală cu zero și cea transversală infinită, toate oscilațiile, care compun spectrul impulsului, se propagă în lungul cablului de energie defect, cu aceeași viteză, menținînd invariabile amplitudinea și defazajul. Eco-ul în punctul de discontinuitate va fi deci identic cu impulsul incident în cablu. Din experiențele efectuate a reieșit că, pentru a obține această identitate, pe cabluri defecte avînd lungimea pînă la 1 km, este necesar ca forma impulsului incident să fie dreptunghiulară.

Un rol deosebit în aplicarea metodelor prin impulsuri îl are durata impulsului. Impulsurile, cu o durată mare,



generează un ecou, la locul defect cu o amplitudine de circa 30—40% din amplitudinea impulsului incident, iar impulsurile cu durată mică generează un ecou, la locul defect, cu amplitudinea de 10—15% din amplitudinea impulsului incident. Pentru deranjamente care sînt îndepărtate de capătul inițial al cablurilor defecte, impulsul de lungă durată este cel mai adecvat, pentru determinarea precisă a locului defect. În cazul deranjamentelor apropiate de capătul inițial al cablurilor, este indicat să se utilizeze impulsuri de scurtă durată.

Forma impulsului reflectat sau ecoului, are de asemenea o importanță mare, deoarece este influențată de discontinuitatea impedanței caracteristice a cablului la locul defect.

Pentru măsurarea intervalelor de timp, care au loc între impulsul emis și ecoul său, baza de timp este gradată în timp de întârziere cu impulsuri produse de un oscilator cu frecvență fixă, etalonată în mod convenabil, iar curba de răspuns poate fi aplicată pe axa de timp printr-un circuit de defazaj etalonat, făcînd să coincidă succesiv impulsul de plecare și impulsurile reflectate cu o linie de marcare trasată pe ecran; întârzierea impulsurilor poate fi citită pe circuitul de defazare. În acest caz nu intervine defectul de liniaritate a bazei de timp, iar tubul catodic al ecometrelor funcționează ca un instrument de zero.

Durata bazei de timp este reglabilă în raport cu lungimea cablului supus încercării. Ecometrele pentru determinarea locului de defect sînt dotate cu baze de timp variabile între 1 și 200  $\mu$ s, la care corespund lungimi de cablu, supuse verificării, de la circa 80 pînă la 15 000 m. Pentru ca măsurarea distanței pînă la locul defect să se efectueze în cele mai bune condiții, se impune ca ecranul osciloscopelor sau oscilografelor ecometrelor să redea cît mai bine distanța dintre impulsul emis și cel reflectat, rămînînd totuși cu imaginea în limitele ecranului.

Metodele ecometrice, pentru localizarea defectelor pe linii de cabluri de energie, se pot clasifica în două grupe distincte: metode ecometrice de joasă tensiune și metode ecometrice de înaltă tensiune.

## 9.2. Metode ecometrice de joasă tensiune

Metodele econometrice de joasă tensiune sînt utilizate pentru localizarea fazelor întrerupte ale unui cablu de energie cu o rezistență măsurată față de pămînt diferită de impedanța lui caracteristică. Rezistența de izolație a cablului la locul defect trebuie să fie, în acest caz, de cel mult 200—300  $\Omega$ .

Metodele ecometrice de joasă tensiune sînt de mai multe feluri: metodă directă, metoda comparării fazelor în raport cu pămîntul, metoda diferențială.

**Metoda directă.** În acest caz, ecometrul se conectează la cablul defect între conductorul de fază și ecranul cablului puse împreună la pămînt, fie direct cu ajutorul unui fir de conexiune, fie utilizînd adaptoare de impedanță.

Se calculează mai întîi viteza de propagare a impulsurilor pe un conductor de fază corespunzător, fără defect, cu relația

$$v = \frac{2L}{t} \quad (38)$$

în care:  $v$  este viteza de propagare a impulsului incident, în m/ $\mu$ s;

$L$  — lungimea totală a cablului, în m;

$t$  — timpul de parcurs „du-te vino” al impulsului injectat în cablu, în  $\mu$ s.

După aceea se conectează ecometrul la conductorul de fază defect și se măsoară timpul  $t$ , necesar parcurgerii impulsului pînă la locul defect și revenirea lui la sursă. Distanța care separă capătul cablului pînă la locul defect, se determină în acest caz cu relația

$$x = \frac{v}{2} t_d = L \frac{t_d}{t} \quad (39)$$

O atenție deosebită trebuie acordată reflexiilor care se observă pe ecogramă spre a nu confunda relaxiile impulsurilor cutiilor de joncțiune cu cele ale locului defect. Reflexiile provocate de cutiile de joncțiune au o alură proprie; ele se compun dintr-o reflexie de același semn cu impulsul incident urmată de o reflexie de semn opus

(fig. 22). Prima reflexie mărește impedanța undei ( $Z_d > Z_c$ ), iar a doua o micșorează ( $Z_c < Z_d$ ).

În cazul cînd impulsul incident întâlnește locul derivației a două cabluri, de construcție diferită, ecoul deri-

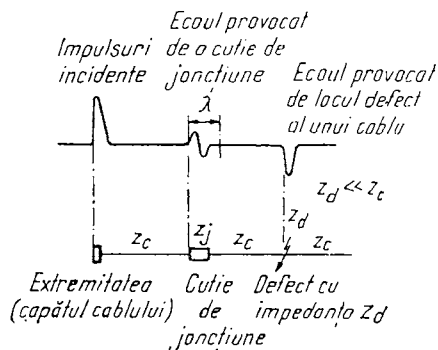


Fig. 22. Forma ecourilor provocate de o cutie de joncțiune și de un defect de cablu:

$z_c$  — impedanța caracteristică a cablului;  
 $z_d$  — impedanța locului defect.

vației se confundă adesea cu ecoul defectului; în asemenea împrejurări pentru a evita erorile este bine să cercetăm planul de amplasare a rețelei în cablu sau ecograma unui

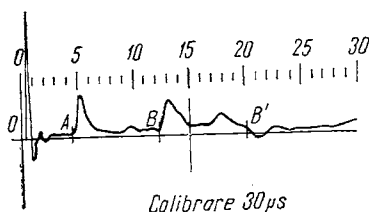


Fig. 23. Ecograma unei conexiuni care comportă cabluri de construcție diferită.

conductor de fază cores-punzător (fără defect). Ilustrarea acestui caz este făcută în fig. 23, în care ecoul B, reprezintă defec-tul de continuitate al unui conductor de fază, iar eco-ul A este ecoul unui punct de joncțiune al unui cablu de aluminiu de o anumită secțiune cu un cablu de cupru avînd secțiunea de două ori mai mică.

**Metoda comparării fazelor în raport cu pămîntul.** Prin-cipiul de măsură al acestei metode este, în mare parte identic, cu cel expus în metoda precedentă. Această me-

toată facilitează determinarea defectelor în rețele complexe ramificate. Metoda recomandă, în acest caz, ca ecometrul să fie conectat atât pe un conductor de fază defect, cât și pe un conductor de fază fără defect, printr-un dispozitiv de comutare electronică care permite superpoziția ecogramelor celor doi conductori de fază, pe ecranul ecometrului. Punctul de separare al ecogramelor celor doi conductori de fază, la variația impedanței unei faze în raport cu a doua, reprezintă locul defect. Pentru ilustrarea acestui caz se prezintă în fig. 24, ecograma unui cablu trifazat defect de 6 kV, cu un conductor de fază întrerupt, cu secțiunea  $3 \times 300 \text{ mm}^2$ , izolat cu hîrtie impregnată, avînd lungimea de 980 m. Conform ecogramei, distanța pînă la locul defect, așa cum reiese din fig. 24, este de 838 m de la extremitatea cablului unde se face măsurarea.

**Metoda diferențială.** Această metodă permite localizarea celor mai mici variații ale impedanței caracteristice a defectului. Principiul metodei constă în efectuare, cu ajutorul unui transformator simetric, a diferenței amplitudinilor ecoului impulsurilor emise, în concordanță de fază, pe două conductoare de fază ale unui cablu de energie. Prin aceasta, se poate pune în evidență disimetria de amplitudine și fizică a impulsurilor reflectate. Semnul ecoului impulsurilor incidente nu depinde de natura defectului. Un exemplu de utilizare a acestei metode este indicat în fig. 25, în care se reprezintă ecograma unui cablu de energie care posedă o derivație, iar pe conductorul de fază defect două întreruperi, una situată la o distanță de 130 m de cutia de joncțiune, iar a doua la 13 m de extremitatea cablului principal. Cablul secundar de-

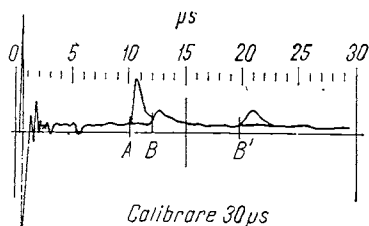
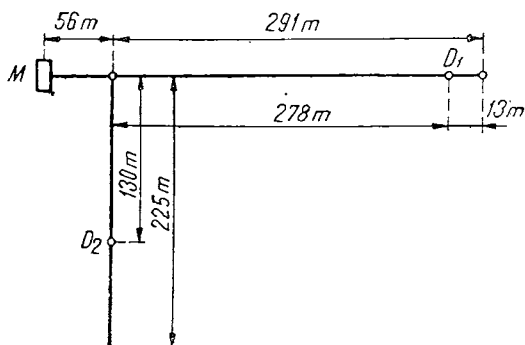


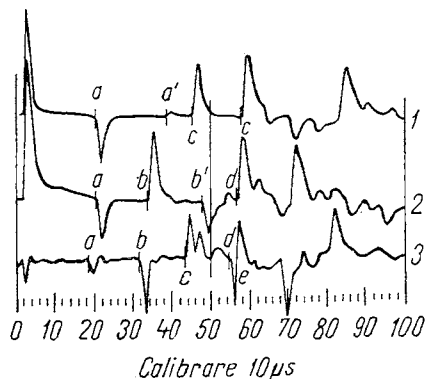
Fig. 24. Ecograma unui cablu defect de 6 kV cu un conductor de fază întrerupt:

A — reprezintă ecoul extremității unuia din conductoarele de fază, fără defecte (viteza de propagare a impulsului este de  $161 \text{ m } \mu\text{s}$ ); B — reprezintă impulsul reflectat la locul defect; B' — reprezintă a doua reflexie a impulsului la locul defect.

rivat se afla la 56 m de extremitatea de măsură, iar conductorul de fază defect se găsește la 324 m de punctul  $M$ .



a



b

Fig. 25. Amplasarea unei rețele în cablu și ecogramele defectelor acesteia:

$a$  — planul de amplasare al rețelei;  $b$  — ecogramele defectelor;  $M$  — punct de măsurare;  $D_1$ ,  $D_2$  — locuri defecte; *curba 1* — ecograma unui conductor de fază, fără defecte; *curba 2* — ecograma unui conductor de fază defect; *curba 3* — ecograma obținută prin metoda diferențială.

**Observații asupra metodelor ecometrice de joasă tensiune.** Metodele ecometrice de joasă tensiune sînt complementare una alteia și de aceea este necesar ca, în funcție

de natura defectului și de dificultățile întâmpinate în efectuarea măsurării, să se apeleze cînd la o metodă cînd la cealaltă. În acest sens în fig. 26 sînt prezentate eco-

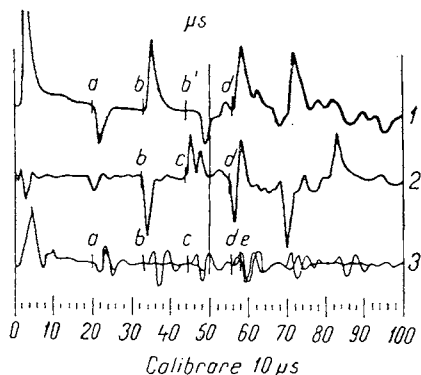


Fig. 26. Ecogramele unui cablu de energie defect, obținute prin diferite metode ecometrice de joasă tensiune:

1 — ecograma obținută prin metoda directă aplicată pe un conductor de fază defect; 2 — ecograma obținută prin metoda diferențială aplicată pe același conductor de fază defect; 3 — ecograma obținută prin metoda comparației fază cu fază; a — punct de derivație; b — punct de întrerupere a unui conductor de fază pe un cablu secundar derivat, conectat pe cablul principal; c — punct de întrerupere pe un conductor de fază al cablului principal; d — extremitatea cablului secundar derivat; e — extremitatea cablului principal.

gramele unui cablu defect, înregistrate prin diferite metode ecometrice de joasă tensiune.

**Localizarea defectului unui cablu de joasă tensiune în timpul funcționării.** Pentru a determina locul defect într-un cablu de joasă tensiune, în timpul funcționării, prin metode ecometrice de joasă tensiune, se apelează la un artificiu care constă în conectarea ecometrului la cablul defect prin intermediul unui divizor de tensiune cu frecvența de 50 Hz (fig. 27).

Divizorul de tensiune este constituit dintr-o capacitate de 1—2  $\mu\text{F}$  izolată față de tensiunea rețelei, avînd o inductanță de

0,5 mH. Capacitatea are o impedanță practic nulă la impulsuri și foarte mare la 50 Hz (de circa 2 000  $\Omega$ ). Inductanța are o impedanță mare la impulsuri și una foarte mică la 50 Hz (de circa 0,15  $\Omega$ ).

După conectarea ecometrului la cablul defect, se reglează divizorul de tensiune la tensiunea de măsură și se

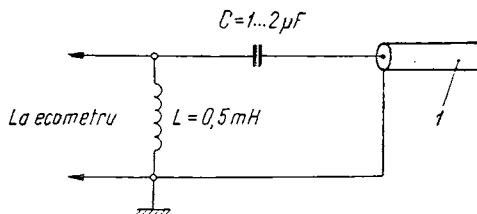


Fig. 27. Schemă de conectare a ecometrului la un cablu defect, în timpul funcționării:

C — capacitate electrică; L — inductanță; 1 — cablu defect.

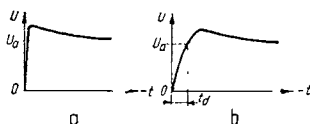


Fig. 28. Deformarea frontului unei unde de șoc emise (a impulsului incident):

a — forma impulsului incident emis, în fază inițială; b — forma impulsului după propagarea lui de-a lungul cablului până la locul defect.

injectează în cablu impulsuri al căror ecou se înregistrează de un oscilograf. Forma ecogramei, astfel înregistrate permite determinarea locului defectului. Metoda descrisă de localizarea defectului, în cablurile de energie, nu este recomandabilă la detecția defectelor cablurilor verticale și a cablurilor cu neutru excentric.

Impulsul incident injectat în rețeaua de cabluri de către aparatul de măsurat se deformează așa cum se arată în fig. 28.

### 9.3. Metode ecometrice de înaltă tensiune

Metodele ecometrice de înaltă tensiune se utilizează de asemenea în defectoscopia rețelelor electrice de cabluri de energie. Se cunosc trei metode ecometrice uzuale de înaltă tensiune: metoda directă, metoda diferențială și

metoda relaxării. Metodele ecometrice de înaltă tensiune sînt aplicabile cablurilor de energie cu defecte care au rezistențe electrice foarte mari. La baza lor stă principiul injectării în cablurile defecte a unor impulsuri de tensiune de circa (3...70) kV care, ajunse la locul defect, sînt reflectate pe ecranul ecometrului. Reflectarea impulsului

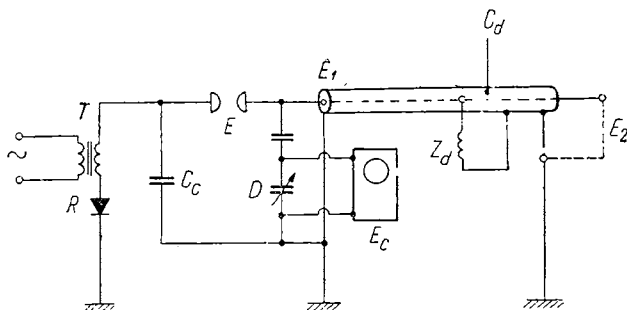


Fig. 29. Schema de principiu a instalației utilizate pentru aplicarea metodei ecometrice de înaltă tensiune:  $T$  — transformator pentru ridicarea tensiunii la nivelul tensiunii de măsură;  $R$  — redresor de înaltă tensiune;  $C_c$  — capacitatea de șoc;  $E$  — eclator;  $D$  — divizor de tensiune;  $Z_d$  — impedanța arcului la locul defect;  $E_c$  — ecometru cu osciloscop;  $C_d$  — cablu defect.

incidente la locul defect este posibilă dacă impedanța defectului de inferioară impedanței caracteristice a cablului.

**Metoda ecometrică directă.** Aplicarea metodei ecometrice directe, de înaltă tensiune se face cu ajutorul unui ecometru (fig. 29), care înregistrează impulsuri generate, printr-un transformator ( $T$ ) în secundarul căruia se află un redresor ( $R$ ) și un condensator ( $C_c$ ) care înmagazinează energie electrică, la tensiune înaltă. Apoi energia electrică este descărcată prin eclatorul  $E$  în circuitul cablului defect  $C_d$ . Impulsul incident generat prin descărcarea condensatorului ( $C_c$ ) ajunge la locul defect și este apoi reflectat pe ecranul ecometrului ( $E_c$ ). Dacă ecometrul este conectat între eclatorul ( $E$ ) și cablul ( $C_d$ ), printr-un divizor de tensiune, atunci baleiajul se va amorsa la trecerea impulsului incident. Poziția defectului va fi determinată măsurînd timpul de parcurs al impulsului incident pînă



la locul defect și al ecoului său de la locul defect pînă la extremitatea cablului unde se afla conectat ecometrul. În timpul localizării defectului, prin metoda descrisă, la locul defect ia naștere un arc electric de impedanță ( $Z_d$ ) a cărei mărime se corelează cu timpul de declanșare a arcului. Acest timp este condiționat de doi factori și anume: deformarea frontului impulsului incident și forma impulsului reflectat. Cei doi factori menționați întîrzie, într-o oarecare măsură, declanșarea arcului cu un anumit timp ( $t_d$ ) a cărui mărime depinde de:

— condițiile de propagare a undei de-a lungul cablului defect;

— durata de ionizare a defectului care este cuprinsă între o mărime minimală și alta maximală.

Pe baza unui studiu efectuat pe cabluri de energie de 20 kV și 110 kV, montate în canale, s-a determinat și trasat curba de variație a timpului de ionizare  $t_i$ , în funcție de tensiunea aplicată (fig. 30).

Din fig. 30 se constată că timpul maxim de ionizare se apropie de timpul minim de ionizare cu atît mai repede, cu cît tensiunea este mai ridicată. Măsurările au demonstrat că cercetarea defectelor reale, confirmă faptul că timpul de ionizare poate avea valori ridicate de ordinul 3—4  $\mu$ s, ceea ce reprezintă, în lungime de cablu,

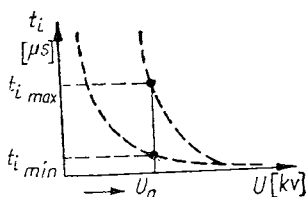


Fig. 30. Variația timpului de ionizare ( $t_i$ ) în funcție de tensiunea de amorsare  $U_a$ .

o eroare de 250—350 m. De aceea este posibil pentru punerea în evidență a timpului de ionizare, să se emită impulsuri, avînd un nivel al tensiunii superior tensiunii de amorsare și de a injecta apoi două impulsuri succesive, timp de 5—7 s, pentru a deioniza defectul. În aceste condiții, pe ecranul ecometrului se observă de-

plasarea primului ecou determinat de întîrzierea amorsajului provocat de timpul de ionizare. Unda de șoc folosită în cadrul metodei ecometrice directe de înaltă tensiune, se definește prin: valoarea creșterii tensiunii, fixată prin

ecartamentul eclatorului  $E_c$  (fig. 29); durata frontului undei, care depinde de impedanța generatorului de impulsuri; durata ( $\tau$ ) a spatelui undei care este o funcțiune de capacitatea de șoc  $C_c$  și de impedanța circuitului de descărcare. Durata spatelui undei de șoc se calculează cu relația

$$\tau = C \cdot Z_c$$

în care:  $C$  este capacitatea șocului, în  $\mu\text{F}$ ;

$Z_c$  — impedanța caracteristică a cablului defect, în  $\Omega$ .

Alegerea nivelului tensiunii minimale a undelor de șoc este impus de tensiunea de amorsare a defectului, ținînd seama de atenuarea undei, în timpul propagării. Tensiunea de amorsare depinde de grosimea radială a izolației cablului. Valoarea tensiunii de amorsare trebuie să fie de circa 30 kV pentru cabluri de 20 kV și de 170—180 kV pentru cabluri de 110 kV. Dacă cablul defect este de mică lungime, adică de circa 1—2 km, iar tensiunile de șoc se iau de 45 kV pentru cabluri de 20 kV și de 160 kV pentru cabluri de 110 kV, atunci pentru a evita supratensiunile este necesară conectarea la pămînt a extremității opuse a cablului.

Interpretarea oscilogramelor obținute, prin unda de impuls în cazul metodei directe, trebuie să fie făcută cît mai fidel. În acest scop, ne vom referi la ecograma obținută, pentru localizarea defectului într-un cablu, prezentată în fig. 31.

După cum se vede în fig. 31, alura generală a ecogramei are forma unei sinusoidă amortizate, care reprezintă descărcarea oscilantă, într-un cablu defect, cu conductoarele de fază puse în scurtcircuit, a unei unde de șoc peste care se suprapun ecourile provocate de reflexiile defectului către extremitatea incidentă a cablului. Tot din ecograma prezentată în fig. 31, mai rezultă că modificarea tensiunii de amorsare a undei de șoc se face pe porțiunea  $aa'$ ,  $bb'$  și  $cc'$ , în timpii  $\epsilon_1 < \epsilon_2 < \epsilon_3$ . Analiza ecogramei arată că timpul care separă prima reflexie (1) de origine este superior timpilor care separă celelalte două reflexii (2) și (3), adică  $t_1 > t_2$ . Aceste diferențe de timp

se explică prin întârzierea amorsajului care se adaugă timpului de parcurs, a unei incidente de-a lungul cablului. Calculul distanței care separă capătul cablului de lo-

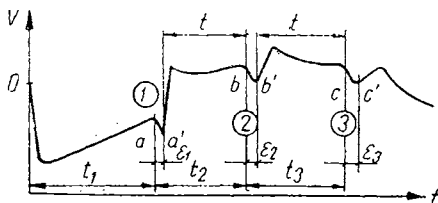


Fig. 31. Ecograma localizării defectului prin unda se șoc:

$Oa$  — unda emisă (incidentă);  $ab$  — prima reflexie;  $bc$  — a doua reflexie.

cul defect și al timpilor care separă diferitele ecouri succesive, dau o eroare sistematică de circa 100—150 m.

**Metoda diferențială de înaltă tensiune.** Metoda directă de înaltă tensiune este aplicabilă numai cablurilor de energie cu variații mici ale impedanței lor caracteristice. Aplicarea acestei metode la rețele electrice formate din cabluri în derivație devine dificilă datorită variațiilor mari ale impedanței caracteristice a acestor rețele, precum și imposibilității interpretării corecte a ecogramelor reflexiilor suplimentare ale impulsurilor incidente și reflectate. Pentru a elimina această dificultate, în vederea determinării locului defect, se recomandă utilizarea metodei diferențiale de înaltă tensiune. Această metodă presupune emiterea simultană a mai multor unde de șoc, în cablul defect, pe unul din conductorii de fază care nu prezintă defecte, cât și pe conductorii de fază cu defecte. În acest scop, pe ecranul ecometrului apare ecograma unei tensiuni proporționale cu diferența impulsurilor de tensiune emise și reflectate, precum și reflexiile multiple provocate de locul defect cu condiția ca variațiile impedanței caracteristice să fie aceleași pe fiecare din conductorii de fază. Schema de principiu utilizată, în cazul metodei diferențiale de înaltă tensiune, este indicată în fig. 32.

Exemplificăm în continuare aplicarea metodei diferențiale și calculul distanței până la locul defectului într-un cablu de energie de înaltă tensiune. În acest scop, se consideră un cablu de 20 kV cu lungimea de circa 2500 m, izolat cu hîrtie

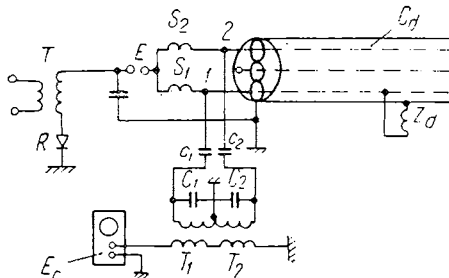


Fig. 32. Schema de principiu utilizată în cazul metodei diferențiale, de înaltă tensiune:

$C_d$  — cablu defect;  $Z_d$  — impedanța arcului la locul defect;  $T$  — transformator ridicător;  $R$  — redresor de joasă tensiune;  $E_c$  — ecometru;  $C_c$  — capacități de șoc;  $c_1, c_2$  — capacități de înaltă tensiune;  $C_1, C_2$  — capacități de joasă tensiune;  $T_1, T_2$  — transformatoare;  $S_1, S_2$  — impedanțe de decuplare;  $E$  — eclator.

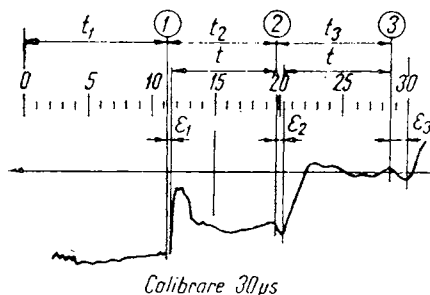


Fig. 33. Ecograma unui cablu defect de 20 kV, cu lungimea de 2500 m.

impregnată. Se determină mai întâi tensiunea de amorsare a defectului și se găsește că este de circa 4 kV; se face apoi o măsurare cu ecometrul de joasă tensiune situat la una din extremitățile cablului la circa 30 μs, ceea ce conduce la o viteză de propagare a undelor de 160 m/μs. Se măsoară cablul cu unde de impuls de înaltă tensiune de 20 kV, ceea ce permite relevarea

ecogramei din fig 33, în care: primul ecou (1) introduce erorile datorită întârzierii amorsajului și situează defectul la  $t_1=13 \mu\text{s}$  sau la distanța  $x=160 \cdot 13/2=1040 \text{ m}$ ; al doilea ecou (2) definit prin timpul  $t_2=9 \mu\text{s}$ , conduce la distanța de 720 m; al treilea ecou (3) stabilește defectul la  $t_3=9,7 \mu\text{s}$  și la distanța de 776 m. Dacă luăm timpul pe care îl definim prin  $t=t_2-\varepsilon_1$  sau prin  $t=t_3-\varepsilon_3$ , obținem  $t=8,5 \mu\text{s}$  sau distanța pînă la locul defect de 680 m.

**Metoda relaxării.** Această metodă se aplică pentru localizarea defectelor cu rezistență foarte mare care se comportă de fapt, ca un eclator. Pentru determinarea defectului, în astfel de cazuri, este necesar să se încerce cablul cu un generator de înaltă tensiune continuă, deoarece amorsajul arcului la locul defect, se produce numai atunci cînd tensiunea atinge o anumită valoare. Defectele de cablu localizate cu această metodă au uneori valori ale rezistenței practic infinite. Ele se pot măsura cu un megohmmetru de 5 000 V și se întîlnesc adesea numai la rețele în cablu care funcționează la tensiuni nominale de peste 60 kV și mai puțin în rețele de cabluri de energie de joasă tensiune.

Metoda relaxării satisface principiul potrivit căruia un cablu încărcat electric și pus în scurtcircuit este supus unor oscilații cu o lungime de undă  $\lambda/4$  ( $\lambda$  este lungimea de undă a oscilațiilor de înaltă tensiune care se deplasează de-a lungul cablului defect). Scurtcircuitul este creat de arcul care ia naștere la locul defect și care are o rezistență practic nulă. Schema de principiu utilizată în cazurile metodei relaxării este indicată în fig. 34. Localizarea precisă a defectului prin această metodă, nu este posibilă decît dacă sursa de tensiune de curent continuu nu comportă prezența vreunui condensator în paralel sau dacă impedanța de decuplare are o valoare de cel puțin zece ori mai mare decît impedanța caracteristică a cablului. Presupunînd satisfăcute condițiile menționate și ținînd seama de ipoteza simplificatoare a lui Heaviside ( $R/L=G/C$ ), în care  $R$ ,  $L$ ,  $G$ ,  $C$  sînt constantele de propagare ale cablului cu semnificațiile cunoscute, descărcarea oscilantă, într-un cablu defect, are alura din fig. 35. În fig. 35 sînt ilustrate două ecograme, una pentru cazul  $R/L=G/C$ , iar cealaltă pentru cazul  $R/L \neq G/C$ , care

este de fapt și cazul real. Timpul  $\tau$  necesar undei de șoc, avînd viteza de propagare  $v$ , ca să parcurgă cablul, cu lungimea  $x$  este egal cu  $\tau = x/v$ . Timpul  $t=0$  corespunde momentului cînd se produce amorsajul arcului la locul defect, iar timpul  $\tau$  corespunde momentului cînd pe eco-

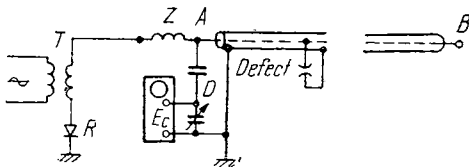
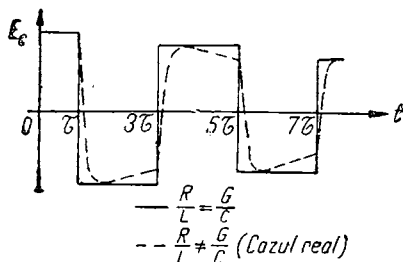


Fig. 34. Schemă de principiu utilizată în cazul metodei relaxării:

$T$  — transformator ridicător;  $R$  — redresor de înaltă tensiune;  $D$  — divizor de tensiune;  $E_c$  — ecometru;  $Z$  — impedanță de decuplaj ( $Z=300\Omega$ ).

Fig. 35. Descărcarea oscilatorie într-un cablu defect:

$E_c$  — tensiunea pe sarcină a cablului;  $\tau$  — timpul necesar undei de șoc pentru a se propaga de-a lungul cablului cu lungimea  $x$ .



metru apare o variație de tensiune produsă la capătul cablului unde se face măsurarea. Suprapunerea, pe același grafic, a curbei de tensiune obținute cu respectarea condiției lui Heaviside ( $R/L = G/C$ ) și a curbei de tensiune obținute în cazul real ( $R/L \neq G/C$ ) demonstrează practic eficiența metodei. Localizarea unui defect prin metoda relaxării presupune deci cunoașterea timpului necesar unei unde de șoc pentru parcurgerea distanței pînă la locul defect și apoi reîntoarcerea (reflectarea) ei de la locul defect către capătul cablului unde se află ecometrul. Aceste oscilații de „du-te-vino“ a undelor de șoc, se mențin în cablu, pînă la disiparea completă a energiei

consumate în arc, prin efect Joule. Declanșarea baleiajului ecometrului are loc în momentul cînd unda de șoc sosită la locul defect se reîntoarce la ecometru. Acest aspect constituie un avantaj al metodei, deoarece elimină toate erorile de întîrziere ale amorșării arcului la locul

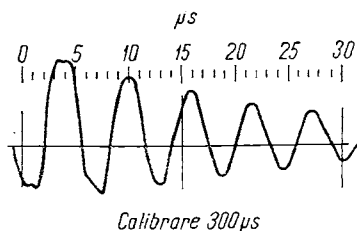


Fig. 36. Ecograma unui cablu defect care funcționează la tensiunea nominală de 63 kV, care amorsează un arc la tensiunea de 45 kV.

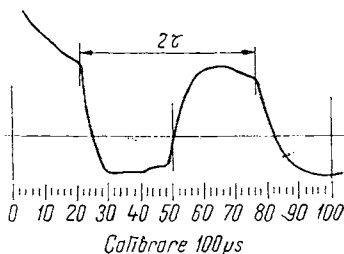


Fig. 37. Ecograma unui cablu defect care funcționează la tensiunea nominală de 63 kV, amorșînd un arc la tensiunea de 45 kV.

defect. Avînd în vedere aceste considerente, poziția locului defect se determină, prin această metodă, cu expresia:

$$2x = vt$$

sau

$$x = v \frac{t}{2}, \quad (40)$$

în care  $t = 2\tau$ .

Ecogramele a două defecte, într-o rețea în cablu de 110 kV, localizate unul la o tensiune de amorșare a arcului de 40 kV, iar al doilea la o tensiune de 45 kV sînt indicate în fig. 36 și fig. 37.

#### 9.4. Variante ale localizării defectelor, prin metode ecometrice, aplicabile cablurilor de energie de înaltă tensiune de 20—440 kV

Defectele care iau naștere în cablurile de energie de înaltă tensiune izolate cu hîrtie și protejate în manta de plumb sau izolate cu polietilenă reticulată, pot fi împărțite în:

— defecte transversale, provocate de deteriorarea izolației dintre conductorii de fază și pământ sau numai dintre conductorii de fază;

— defecte longitudinale provocate de întreruperea unui sau mai multor conductoare de fază;

— defecte combinate transversale și longitudinale (de izolație și întreruperi ale conductoarelor de fază).

Defectoscoopia acestora este expusă mai jos.

#### 9.4.1. Defectoscoopia cablurilor de energie izolate cu hîrtie și protejate în manta de plumb

Aplicînd între conductorul de fază și mantaua de plumb a unui cablu, un impuls de tensiune, de durată foarte scurtă, acesta se propagă de-a lungul cablului cu viteza  $v = C/\sqrt{\epsilon}$  ( $C$  este viteza luminii, iar  $\epsilon$  — permitivitatea materialului izolant), avînd valoarea în cazul nostru particular de 150—170 m/ $\mu$ s. Neglijînd pierderile în cablul considerat, impedanța caracteristică a cablului este egală cu  $Z = \sqrt{L/C}$  ( $L$  este inductanța, iar  $C$  capacitatea electrică a cablului), iar mărimea ei egală cu 50—60  $\Omega$ . Făcînd abstracție de fenomenul de atenuare al impulsului, datorit pierderilor, se poate considera că unda de impuls rămîne nemodificată ca formă și amplitudine, prin menținerea constanței parametrilor caracteristici ai cablului în cauză. Pentru a interpreta corect această ipoteză, vom lua în considerație cazul unui defect de izolație și circuitul lui echivalent, așa cum este ilustrat în fig. 38. Aplicînd cablului defect un impuls sub formă de treaptă, transmisia și reflexia lui se face ca în fig. 39. Proporția dintre amplitudinea impulsului transmis și reflectat depinde de valorile impedanței caracteristice ale cablului și al deranjamentului. Notînd cu  $Z$  impedanța echivalentă a arcului care se formează dintre  $Z_2$  și  $Z_3$  din fig. 38, relațiile tensiunilor de transmisie și de reflecție care ilustrează fenomenul fizic, produs la locul defect, sînt următoarele:

— Impulsul transferat în aval de locul defect are tensiunea

$$v_t = \frac{2 \cdot Z}{Z + Z_1} \cdot v. \quad (41)$$



— Impulsul reflectat de punctul de discontinuitate, are tensiunea

$$v_r = \frac{Z - Z_1}{Z + Z_1} \cdot v, \quad (42)$$

în care  $v$  este valoarea tensiunii impulsului incident.

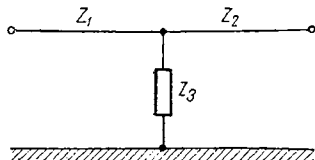


Fig. 38. Circuitul echivalent al unui cablu de energie, protejat în manta de plumb sau aluminiu, care prezintă un defect de izolație:

$Z_1$  și  $Z_2$  — impedanța caracteristică a cablului în amonte și în aval de punctul defect;  
 $Z_3$  — impedanța locului defect.

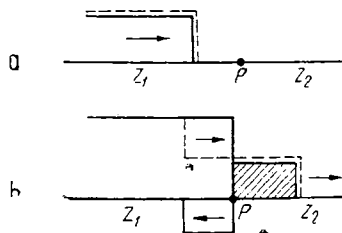


Fig. 39. Transmisia și reflexia unui impuls de tensiune-treaptă într-un cablu de energie de 110—220 kV, având un defect de izolație:

a — impulsul-treaptă incident nu a sosit la locul defect; b — impulsul-treaptă incident a sosit la locul defect, producându-se concomitent tensiunea și reflexia lui.

În relația tensiunii impulsului defect  $v_r$ , primul factor  $(Z - Z_1)/(Z + Z_1)$  este factorul de reflexie; el poate avea valori negative sau pozitive după cum:

— impedanța  $Z_3 = 0$ , factorul de reflexie este negativ, iar tensiunea aplicată este reflectată total însă cu o polaritate opusă;

— impedanța  $Z_2 = \infty$  (întrerupere totală), iar comportarea impulsului aplicat depinde de valoarea impedanței  $Z_3$ ;

— impedanța  $Z_3 = 0$  este echivalent cu cazul precedent;

— impedanța  $Z_3 = \infty$ , impulsul aplicat este reflectat total.

Măsurarea distanței pînă la locul defect, ținînd seama de relațiile (41) și (42) și de cele menționate mai sus, se

face cu ajutorul unor ecograme după cum se arată în fig. 40.

În mod normal ecometrele folosite la defectoscopia cablurilor de energie izolate cu hîrtie și protejate în manta de plumb, posedă circuite speciale care permit anularea instantanee a efectului circuitelor parazite și de defazate.

În cazul unui defect de izolație al unui conductor de fază în raport cu pămîntul, impedanța deranjamentului permite ca o parte a impulsului să fie transmisă în aval de punctul deranjamentului (fig. 41).

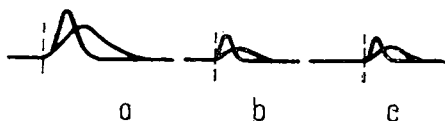


Fig. 40. Măsurarea distanței pînă la locul defect cu circuitul de defazare:

a — suprapunerea impulsurilor este corectă; b și c — suprapunerea este greșită.

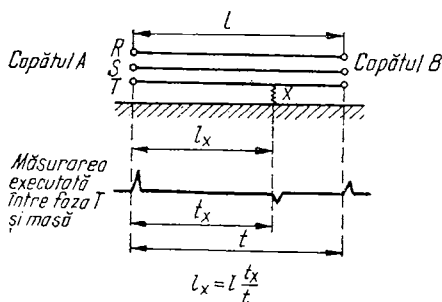


Fig. 41. Deranjament datorit unui defect de izolație, la-un cablu de energie în raport cu pămîntul:

R, S, T — fazele cablului.

Dacă defectul este datorit unui scurtcircuit dintre un conductor de fază și pămînt sau între două conductoare de fază, atunci impedanța defectului este practic nulă și din această cauză nu se produce transmisia impulsului în aval de locul defect (fig. 42).

Defectele provocate de unele întreruperi ale conductoarelor de fază au impedanța practic infinită, iar transmiterea impulsului, în aval de locul defect, nu are loc (fig. 41). În acest caz, se efectuează o a doua măsurare la capătul *B* al cablului, obținând un timp de parcurgere a im-

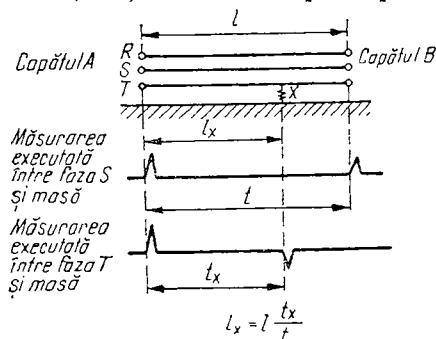


Fig. 42. Deranjament datorit unui scurtcircuit între un conductor de fază și pământ sau între două conductoare de fază:

R, S, T — fazele cablului.

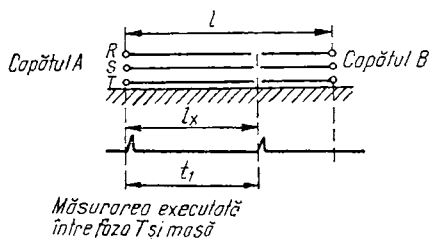


Fig. 43. Deranjament datorită scurtcircuitării tuturor fazelor unui cablu de energie:

R, S, T — fazele cablului.

pulsului între B și X egal cu  $t_2$ . Distanța deranjamentului de la punctul A se determină cu relația:

$$l_x = l \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (43)$$

Pentru cazul defectelor manifestate sub formă de scurtcircuite între toate conductoarele de fază, alura impulsului este reprezentată în fig. 43.

#### 9.4.2. Defectoscopia cablurilor de energie izolate cu polietilenă reticulată de 63—110 kV și cablurilor cu izolație de hîrtie-ulei sub presiune de 110—440 kV

O nouă variantă pentru determinarea locului defectului la cabluri de energie cu izolație de polietilenă reticulată de 63—110 kV și la cabluri de izolație de hîrtie-ulei de 110—440 kV, a fost aplicată cu bune rezultate în S.U.A., Anglia și alte țări. Metoda utilizată în acest caz, se caracterizează prin aceea că energia înmagazinată de o baterie de condensatoare statice, cuprinse în schema bloc a instalației de localizare, este descărcată prin cablul defect. Capacitatea totală a condensatoarelor conectate, printr-un eclator reglabil, la cablul defect, este de 4  $\mu\text{F}$ . Instalația de localizare a defectului se compune dintr-un generator de impulsuri (fig. 44) și detectorul propriu-

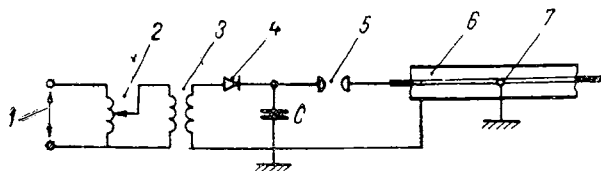


Fig. 44. Schemă de principiu a unui generator de impulsuri:

1 — sursă de alimentare de curent alternativ, la tensiunea de 120 V; 2 — reostat potențiometric; 3 — transformator; 4 — redresor; 5 — întreruptor de scurtcircuitare; 6 — cablu supus măsurării; 7 — deranjament; C — baterie de condensatoare.

zis de defecte (fig. 45). Bateria de condensatoare statice se încarcă de la un grup de încărcare de înaltă tensiune în curent continuu, iar eclatorul este reglat pentru o anumită valoare a tensiunii de străpungere. Pentru ca

detecria defectelor să se facă în bune condiții, trebuie să se acorde o atenție deosebită descărcării condensatoarelor în conductoarele de fază ale cablului. Știind că energia înmagazinată într-un condensator este proporțională cu pătratul tensiunii, este necesar ca eclatorul să fie reglat pentru a fi străpuns la o tensiune cât mai mare posibilă.

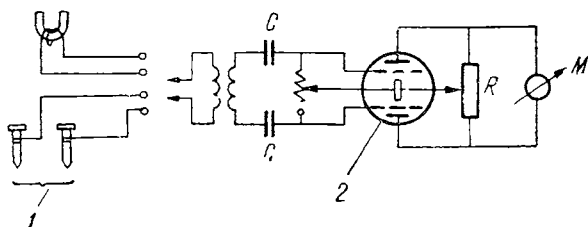


Fig. 45. Schemă de principiu a unui detector:

1 — electrozi prin utilizare la sol; 2 — amplificator cu dublă triodă sau cu tranzistoare echivalente;  $M$  — microampermetru cu sursă bilaterală;  $R$  — reostat;  $C$  — baterie de condensatoare.

Reglând echipamentul să funcționeze la tensiunea corespunzătoare, se stabilește ciclul de încărcare și descărcare al condensatoarelor și perioada de repetare a ciclului de aproximativ 7 s. Apoi se ascultă, în jurul zonei defectului, prin metodele cunoscute.

Pentru a obține rezultate cât mai fidele, trebuie cunoscut cu precizie traseul cablului defect. Dacă tensiunea impulsului incident este suficientă pentru a ioniza mediul din jurul defectului, atunci energia impulsului se descărcă rapid și este posibilă detecția vibrațiilor acustice care iau naștere în timpul descărcării. Intensitatea acestor vibrații depinde de: energia descărcată de condensatorul de șoc; caracteristicile și impedanța locului defect; tipul și densitatea solului în care este montat cablul defect. În această variantă este indicată utilizarea unui generator de impulsuri, care emite impulsuri cu energie de circa 400 Ws și producerea unor vibrații acustice până la adâncimi de circa 500 mm. Aceste vibrații pot fi ascultate ușor la suprafața solului. În orașe cu trasee de cablu

montate sub învelișuri de asfalt, beton ș.a., detecția vibrațiilor acustice nu se poate face cu urechea, ci cu ajutorul unor detectoare speciale de sunet (căști telefonice ș.a.).

### 9.5. Concluzii asupra utilizării metodelor ecometrice

Metodele de localizare a defectelor prin impulsuri sau ecometrice prezintă actualmente un interes deosebit, deoarece permit cercetarea și determinarea celor mai complexe defecte care prin metode clasice sînt greu sau imposibil de determinat.

Metodele ecometrice, în ansamblul lor, au următoarele *avantaje*:

- viteza de propagare a impulsurilor nu este influențată de forma și secțiunea conductoarelor de fază, defecte ale cablurilor de energie;

- în marea majoritate a cazurilor defectele nu provoacă reflexia totală a impulsurilor din care cauză cablul fiind explorabil pe toată lungimea sa, măsurarea poate fi efectuată proporțional în raport cu capătul;

- explorarea completă a unui cablu defect permite punerea în evidență a prezenței defectelor multiple;

- determinarea locului defect poate fi efectuată cu ajutorul a două măsurări de la ambele capete ale cablului.

La aceste avantaje adăugăm și unele *inconveniente*, printre care cităm:

- necesitatea recunoașterii impulsului reflectat la locul defect dintre alte impulsuri reflectate și de alte discontinuități (manșoane, cutii derivație ș.a.);

- dacă locul defect se află după o discontinuitate și la o distanță de aceasta inferioară duratei impulsului, ecoul lui este acoperit de cel datorit discontinuității;

- există valori admisibile ale rezistenței longitudinale și transversale ale cablului defect, care limitează aplicarea în unele cazuri a metodelor ecometrice.

În metodele ecometrice vitezele teoretice și reale de propagare a impulsurilor în cabluri de energie avînd lungimea cuprinsă între 200 m și 300 m, în funcție de tipul cablului, sînt indicate în tabelul 12.

Tabelul 12

Valoarea capacităților electrice, vitezele teoretice și măsurate ale impulsului injectat în diferite construcții de cabluri de energie

Tipul cablului	Grosimea radia.ă a izolației mm	$C$ pF/m	$\varepsilon$	$V_{teoric}$ m/ $\mu$ s	$V_{măsu-}$ $rată$ m/ $\mu$ s	$100 \frac{V_t - V_m}{V_m}$ %
1	2	3	4	5	6	7
Cablu izolat cu polietilenă cu secțiunea de $3 \times 75 \text{ mm}^2$ , 6 kV	6,5	179,5	2,3	197,5	171	15
Cablu cu izolație de hîrtie, 10 kV	1,4	64,7	2,1	217	200	3,5
Cablu izolat cu polietilenă reticulată $3 \times 120 \text{ mm}^2$ , 20 kV	0,95	89	2,15	204	198	3
Cablu izolat cu polietilenă reticulată 20 kV, cu secțiunea $3 \times 50 \text{ mm}^2$	6,5	482	6,4	119	154	-23
Cablu izolat cu hîrtie-ulei, 20 kV, cu secțiunea $3 \times 95 \text{ mm}^2$	5,5	232	3,1	170,5	165	3,5
Cablu izolat cu polietilenă reticulată cu secțiunea $3 \times 50 \text{ mm}^2$ , 10 kV	5,5	193	2,6	186	170	9,5

## 10. Metoda descărcărilor oscilatorii

În izolația cablurilor de energie se produc uneori defecte care pot fi descoperite numai prin aplicarea unei tensiuni de încercare de o anumită amplitudine. În acest caz, la aplicarea tensiunii asupra izolației, străpungerile se succed una după alta, la intervale de timp de câteva secunde și uneori chiar câteva minute. La scăderea tensiunii, străpungerea dispăre. Adeseori, izolația rețelelor în cablu care au fost străpunse la o anumită tensiune, încep să suporte după un oarecare timp nu numai această tensiune, dar și una mai mare, adică defectul dispăre. Asemenea străpungeri se numesc *trecătoare*. Străpungerile trecătoare predomină în manșoanele de joncțiune, când în acestea se formează o cavitate care joacă rolul unui eclator. Cablul cu o străpungere trecătoare are de obicei o rezistență de izolație mare.

Dacă se încarcă conductorul defect al unui cablu cu instalația de redresare cu Kenotroane, pînă la tensiunea de străpungere, în locul defect, descărcarea are caracterul unor oscilații amortizate. Perioada de oscilație este:

$$T = 2t = \frac{4l}{v} \quad (44)$$

în care:  $2t$  este perioada de oscilație;

$v$  — viteza de propagare în cablu a undelor electromagnetice;

$l$  — distanța pînă la locul străpungerii.

La marea majoritate a cablurilor de 1—220 kV, cu izolație de hîrtie impregnată în ulei, valoarea medie a vitezei de propagare a frontului undei este de 160 m/ $\mu$ s și nu depinde practic de tipul și secțiunea cablului. Procesul oscilatoriu se amortizează datorită pierderilor de energie în cablu, însă proporționalitatea dintre perioada de oscilație măsurată după frontul undei și distanța pînă la locul defect se menține.

Pentru obținerea preciziei maxime, la determinarea distanței pînă la locul defect, se măsoară numai prima



semiperioadă a oscilației, supusă celei mai mici deformări și atenuări. În acest caz,

$$l_x = v \frac{t}{2}. \quad (45)$$

Astfel, distanța pînă la locul defectului poate fi determinată prin măsurarea semiperioadei de oscilație la descărcarea cu un microsecundometru electronic. În acest scop, se utilizează schema de principiu din fig. 46. Aparatul se instalează lîngă celula cablului măsurat, la o distanță de circa 4—5 m. Divizorul de tensiune se conec-

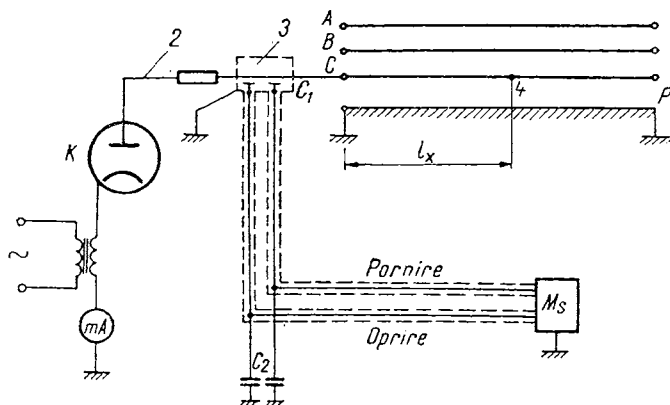


Fig. 46. Schemă de conectare a microsecundometrului  $M_s$ , pentru măsurarea distanței pînă la locul străpungerii:

1 — redresor cu Kenotron; 2 — conductor de legătură; 3 — divizor de tensiune; A, B, C — conductoarele cablului; P — mantaua de plumb (aluminiiu); 4 — locul străpungerii izolației; K — Kenotron; mA — miliampermetru;  $C_1$  — condensatorul circuitului de încărcare;  $C_2$  — condensatoare de echilibrare.

tează la cablul deconectat și descărcat, respectîndu-se regulile de tehnica securității (fig. 46) și anume:

— divizorul de tensiune trebuie să fie instalat cît mai aproape de bornele cablului;

— conductoarele ecranate care pleacă de la divizor se conectează la bornele de pornire și oprire ale microsecundometrului  $M_s$ ;

— circuitul conductoarelor divizorului trebuie să fie bine izolat față de pămînt;

— corpul-ecran al divizorului se leagă sigur la pământ.

Pentru a lucra în condiții nepericuloase cu microsecundometrul  $M_s$ , circuitul de conectare la pământ a aparatului, nu trebuie întrerupt în timpul măsurării. Înainte de începerea măsurării, adică înainte de aplicarea tensiunii înalte pe cablu, trebuie pregătită schema de conectare a microsecundometrului, așa cum se arată în fig. 46. Timpul de încălzire al microsecundometrului este de 10—15 min. Se fixează apoi poziția stabilită la începutul citirii (fixarea la zero) și se stabilește scara. Se conectează instalația de Kenotroane și se ridică progresiv tensiunea aplicată fazei defecte a cablului, pînă la tensiunea de străpungere. Instalația de Kenotron  $K$  trebuie să aplice pe faza defectă a cablului supus verificării o sarcină negativă în raport cu pământul. Numai în cazul încărcării negative a cablului defect, microsecundometrul măsoară prima semiperioadă a curbei procesului oscilatoriu care se produce la locul defect. În cazul străpungerii cablului, microsecundometrul funcționează după cum urmează:

— Blocul impulsurilor de comandă ale aparatului  $M_s$  (fig. 46) generează impulsuri, care corespund cu începutul și sfîrșitul intervalului de timp măsurat; acest bloc constituie elementul de acord între fenomenul măsurat și dispozitivul de măsurare a aparatului  $M_s$ ; în același timp, blocul este executat special pentru măsurarea semiperioadei oscilației (fig. 47).

— Lampa-cheie a aparatului  $M_s$  lasă să treacă un curent de o anumită amplitudine, prin circuitul de încăr-

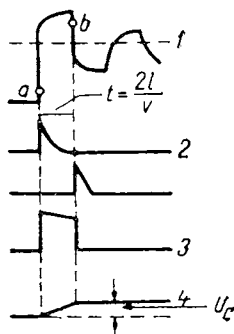


Fig. 47. Diagramele impulsurilor observate pe ecranul microsecundometrului  $M_s$ :

$a$  — pornire;  $b$  — oprire; 1 — amplitudinea și variația tensiunii la bornele cablului, în cazul străpungerii izolației; 2 — impulsuri generate de blocul impulsuri de comandă; 3 — impulsul de comandă al lămpii-cheie a microsecundometrului  $M_s$ ; 4 — tensiunea la bornele condensatorului circuitului de încărcare ( $U_c$ ).

care, în intervalul de timp măsurat; în acest scop, în circuitul de încărcare, al aparatului există un condensator care acumulează energia în timpul încărcării; parametrii acestui circuit sînt astfel aleși încît tensiunea de încărcare a condensatorului să fie direct proporțională cu timpul măsurat; aparatul măsoară tensiunea la bornele condensatorului, proporțională cu distanța căutată; pentru comoditatea calculului distanței pînă la locul defectului, scara de măsură a aparatului  $M_s$  este gradată în km.

Folosirea circuitelor care compensează curenții de scurgere ai condensatorului și aparatului permite să se mențină constantă indicația aparatului  $M_s$ , timp de cîteva minute.

Schema aparatului  $M_s$  cuprinde de asemenea un dispozitiv de autoblocare, pentru excluderea măsurărilor suprapuse, în cazul unor oscilații repetate la intrarea în aparat; alte măsurători sînt posibile numai după deblocarea aparatului.

În cazul cînd există neuniformități ale impedanțelor caracteristice ale liniei de cablu defecte, pe curba caracteristică a procesului oscilatoriu se poate suprapune o deformare, care conduce la indicație incorectă a distanței pînă la locul defectului. Pentru excluderea măsurărilor inexacte, în asemenea cazuri, sensibilitatea canalului *oprire* (fig. 46) se micșorează prin așezarea întreruptorului *sensibilitate* a aparatului  $M_s$  într-o poziție convenabilă, după care se repetă măsurătoarea. Dacă, în acest caz, indicația aparatului variază substanțial, se consideră corect ultimul rezultat al măsurării, efectuat cu o sensibilitate mică, cînd influența neuniformității impedanței este eliminată.

## **11. Metode de localizare a defectelor, aplicate în cazul cablurilor de energie supuse la coroziune**

Coroziunea este un fenomen fizico-chimic complex. Ea se manifestă în rețele electrice de cabluri în general și în rețelele de cabluri subterane în special, prin acțiunea

combinată a mai multor factori, ca urmare a neomogenității mantalelor metalice protectoare care intră în construcția cablurilor respective.

Factorii determinanți care generează fenomenele de coroziune sînt:

- contactul dintre metale diferite care formează cupluri bimetalice;

- potențialul electric efectiv al mantalelor protectoare (Pb, Al) ca urmare a poziției acestora în seria tensiunilor la care funcționează cablurile electrice;

- concentrația ionilor de hidrogen în mediu;

- încălzirea inegală a mantalelor cablurilor pe diferite secțiuni de montaj ale acestora.

Sub acțiunea factorilor menționați, metalele de protecție ale cablurilor electrice sînt supuse unui proces multilateral de coroziune care se manifestă sub forma de:

- *coroziune chimică*, generată de acțiunea reciprocă dintre metalul protector al cablurilor (dacă au mantale de plumb) și mediul înconjurător;

- *coroziunea micologică*, provocată de bacteriile din solul în care se pozează cablurile și urmată de sporirea procentului de acid carbonic în sol, de dezvoltarea de hidrogen sulfurat și de atacul direct al mantalelor de protecție ale cablurilor de către bacterii;

- *coroziunea galvanică*, generată de formarea de micropile și macropile electrice; micropilele iau naștere acolo unde mantalele metalice ale cablurilor (plumb, aluminiu, oțel) sînt zgîriate sau sînt incorect executate din punct de vedere tehnologic, iar macropilele sînt create la locul de îmbinare a cablurilor electrice sau în zonele de sol care conțin electroliți și în care se pozează cablurile;

- *coroziunea electrolitică*, provocată de rezultatul acțiunii curenților vagabonzi produși de rețeaua de tracțiune prin care circulă curenții continui.

Coroziunea atacă în mod diferit mantalele de plumb sau alte materiale (PVC, polietilenă, cauciucul), precum și armătura de oțel a cablurilor. Astfel, oxigenul diluat în apă este inofensiv asupra mantalelor de plumb, dar în

schem este foarte dăunător armăturii cablurilor. Curenții vagabonzi sînt periculoși pentru armătura de oțel a cablurilor în zonele anodice, iar în zonele catodice pot fi periculoși pentru mantalele de plumb ale cablurilor pozate în solurile alcaline. Din această cauză, pentru exploatarea tehnică normală a cablurilor de energie o foarte mare importanță o are existența hărților zonelor de coroziune în care să se poată vedea imediat și simultan, activitatea corozivă a solurilor și intensitatea curenților vagabonzi.

În legătură cu cele arătate, localizarea defectelor din cabluri, provocate prin formele de coroziune menționate, cuprind:

- un control sporit din partea personalului de întreținere și exploatare a liniilor de cabluri asupra stării tehnice a căilor ferate electrificate și a altor consumatori de curent continuu (tramvaie etc.), cum și necesitatea de a cere coordonarea lor în timp util cu regulile corespunzătoare în vigoare;

- organizarea din timp și efectuarea inspecțiilor preventive și a măsurărilor ce se impun la controlul coroziunii, controlul curenților vagabonzi.

Pentru a urmări starea de coroziune a cablurilor de energie, este necesar să se efectueze periodic următoarele:

- măsurarea densității curenților vagabonzi care circulă în învelișurile cablurilor;

- măsurarea potențialului instalației subterane de cabluri față de sol;

- măsurarea intensității și a sensului curenților vagabonzi;

- măsurarea componentei orizontale a densității de curent;

- măsurarea curenților de dispersie;

- măsurarea densității curenților de dispersie.

**Măsurarea densității curenților vagabonzi.** Metoda cea mai simplă de măsurare a densității curenților vagabonzi care se scurg de pe învelișul cablurilor în pămînt este mă-

surarea lor cu ajutorul prizelor de pământ auxiliare, care sînt de fapt bucăți de cablu cu aceeași stare de uzură ca și aceea a cablurilor supuse controlului. Suprafața prizelor auxiliare trebuie să fie de circa 5—10 dm<sup>2</sup>. Prizele se in-

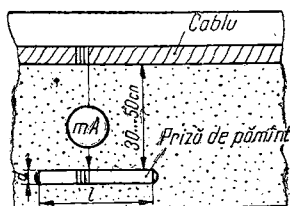


Fig. 48. Metoda detectării defectului cu ajutorul unui electrod auxiliar și a curentului electric care se scurge de la armătura cablului în pământ:

*mA* — miliampermetru.

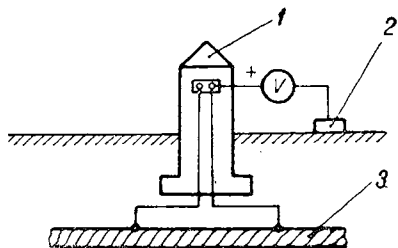


Fig. 49. Măsurarea potențialului unei linii electrice de cabluri de energie:

1 — punct de măsură; 2 — electrod nepolarizabil (Cu-SO<sub>4</sub>Cu); 3 — instalație cablu supus măsurării; V — voltmetru de măsură.

troduc în pământ la o distanță de aproximativ 30—50 cm de cablurile supuse controlului (fig. 48).

În acest scop, armătura cablurilor se conectează electric cu armătura prizei de pământ auxiliare, printr-un fir izolat. Pe firul de conexiune se înserează un miliampermetru de măsură. Curentul electric care trece prin miliampermetru este egal cu curentul electric care se scurge de pe suprafața cablului către prizele de pământ. Valorile admisibile ale curentului înregistrate de miliampermetru trebuie să fie de ordinul (1,33... 1,74) mA.

**Măsurarea potențialului instalației subterane de cabluri față de sol.** Măsurarea potențialului față de sol a cablurilor de energie se face cu ajutorul schemei de montaj din fig. 49.

Valoarea tensiunii corectate între sol și instalația de cablu se află cu relația

$$U_c = (\pm U_{m\ddot{a}s} \pm 0,34) \text{ [V]}$$

în care 0,34 reprezintă tensiunea electromotoare a electrodului nepolarizat  $\text{Cu}-\text{SO}_4\text{Cu}$  (fig. 50).

Inversînd, polaritatea aparatului de măsură, în raport cu cea din fig. 50, relația de mai sus devine

$$U_c = 0,34 - (\pm U_{\text{măş}}).$$

În timpul măsurării, electrodul nepolarizabil trebuie să se afle într-un punct situat la o distanță de circa 2 m pe

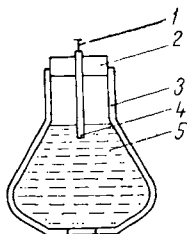


Fig. 50. Electrode nepolarizabil  $\text{Cu}-\text{SO}_4\text{Cu}$ :

1 — bornă de contact; 2 — dop de cauciuc; 3 — vas de porțelan; 4 — electrod; 5 — soluție saturată de  $\text{SO}_4\text{Cu}$ .

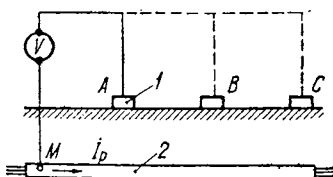


Fig. 51. Schema de măsurare a potențialului cu ajutorul electrodului nepolarizabil, prin metoda deplasării electrodului:

1 — electrod nepolarizabil; 2 — instalație de cablu; V — voltmetru; A, B, C — electroză.

perpendiculara dusă în acel punct pe direcția de pozare a cablului. Cu această metodă putem determina potențialul în mai multe puncte ale cămășii de plumb sau de aluminiu ale cablurilor de energie supuse măsurării, utilizînd metoda deplasării electrodului (fig. 51).

Din fig. 51 reiese că eroarea de determinare a potențialului cablului față de sol, măsurată în punctele A, B, C, este egală cu căderile de tensiune  $R_{MN} \cdot I_p$ ,  $R_{MP} \cdot I_p$  sau  $R_{MQ} \cdot I_p$ , care au următoarele semnificații:  $R_{MN}$  este rezistența electrică a cămășii de plumb sau aluminiu a cablului între punctele M și N;  $I_p$  — curentul vagabond care circulă prin cămașa de plumb sau de aluminiu a instalației de cablu.

**Măsurarea intensității și a sensului curenților vagabonzi.** Pentru determinarea locului unde pătrund și ies

curenții vagabonzi de pe învelișul cablurilor de energie, este deosebit de important să cunoaștem intensitatea, direcția și caracterul curenților vagabonzi care circulă prin învelișurile cablului.

Cea mai simplă metodă de măsurare a intensității curenților vagabonzi care circulă în armătura cablurilor este metoda măsurării căderilor de tensiune, de-a lungul cablurilor, pe porțiuni determinate de lungime (fig. 52). Apoi plecând de la valoarea măsurată a căderii de tensiune și cunoscând valoarea rezistivității armăturii cablurilor, putem calcula intensitatea curenților vagabonzi cu relația

$$I_a = \frac{U}{r_a} \quad (46)$$

în care:  $U$  este căderea de tensiune măsurată, în mV;

$r_a$  — rezistența armăturii pe 1 000 mm de lungime a cablului.

Conform relației dintre rezistențele conectate în paralel, se poate scrie că

$$I_p = I_a - \frac{U}{r_p} \quad (47)$$

unde:  $r_p$  este rezistența mantalei de plumb sau de aluminiu (la cabluri de energie în mantale de plumb sau aluminiu), în  $M\Omega/m$ ;

$I_p$  — intensitatea curenților vagabonzi.

Deci  $I_p$  depășește valoarea de 1,33—1,74 mA cablurile controlate sînt defecte, urmînd a li se aplica una din metodele de detecție cunoscute la localizarea precisă a defectului.

**Măsurarea componentei orizontale a densității de curent.** Rețelele electrice de cabluri subterane de energie sînt pozate la adîncimi mijlocii. Din această cauză componenta verticală a cîmpului electromagnetic creat de curenții de dispersie nu are o importanță esențială. Singura

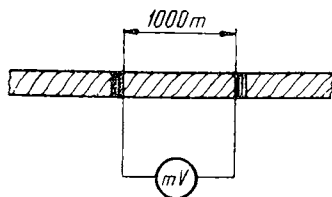


Fig. 52. Metoda detectării intensității curenților vagabonzi care circulă în învelișurile cablurilor de energie.

mV — milivoltmetru de măsură.



componentă care dă indicații suficiente asupra transferului curenților de dispersie între rețelele subterane este cea orizontală.

Schema de măsurare a componentei orizontale a densității de curent este dată în fig. 53.

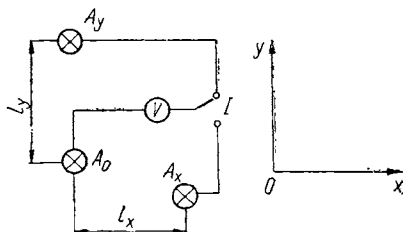


Fig. 53. Schema de măsurare a componentei orizontale a densității de curent:

$A_0, A_x, A_y$  — electrozi nepolarizabili;  
 $V$  — voltmetru;  $I$  — întreruptor.

Metoda de măsurare constă în montarea deasupra instalației subterane de cablu a trei electrozi nepolarizabili notați pe figură prin  $A_0, A_x, A_y$ . În acest sens, se determină mai întâi valoarea medie măsurată a diferențelor de potențial ale punctelor  $A_x$  și  $A_y$ , în raport cu  $A_0$ , adică:

$$\begin{aligned}\Delta U_x &= U_{Ax} - U_{A_0}, \\ \Delta U_y &= U_{Ay} - U_{A_0}.\end{aligned}\tag{48}$$

Apoi se calculează componenta orizontală a densității de curent cu relația

$$i = \frac{1}{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta U_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_y}{l_y}\right)^2}\tag{49}$$

în care:  $\rho$  reprezintă rezistivitatea solului;

$l_x$  și  $l_y$  — distanțele dintre electrozii nepolarizabili;

$\Delta U_x$  — diferența de potențial dintre electrozilor  $A_x$  și electrozilor  $A_0$ ;

$\Delta U_y$  — diferența de potențial dintre electrozilor  $A_y$  și electrozilor  $A_0$ .

Decalajul vectorului densității de curenți față de axa  $Ox$  se determină cu relația:

$$\theta = \arctg \frac{\Delta U_y}{\Delta U_x} \cdot \frac{l_x}{l_y}. \quad (50)$$

Rezultatele măsurărilor mărimii vectorului densității de curent  $i$  se trec apoi pe o hartă, la o anumită scară stabilită în prealabil. Cu astfel de hărți se obține o imagine precisă a circulației (parcursului) curenților de dispersie în sol.

**Măsurarea curenților de dispersie.** Măsurarea curenților de dispersie se poate face prin două metode și anume:  
— prin metoda directă;  
— prin metoda potențiometrică.

Schema de măsurare a curenților de dispersie prin metoda directă este dată în fig. 54.

În acest caz, măsurînd rezistența  $R_{AB}$  a cămășii de plumb, aluminiu sau a învelișului de armare al cablului,

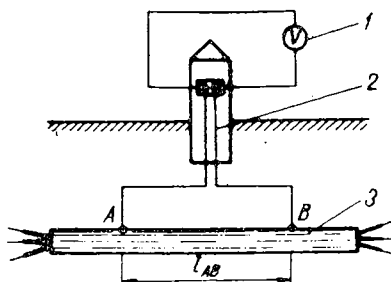


Fig. 54. Schema de măsurare a curenților de dispersie prin metoda directă:

1 — miliampermetru; 2 — punct de măsurare; 3 — cablu de energie supus măsurării; V — voltmetru de măsură; A, B — electrozi.

pe o anumită lungime, putem determina curentul de dispersie cu relația:

$$I_{disp} = \frac{U}{R_{AB}}$$

în care  $U$  este tensiunea măsurată în V, la voltmetrul V.

Schema de măsurare a curenților de dispersie prin metoda potențiometrică este dată în fig. 55. Măsurarea presupune reglarea potențiometrului  $R_h$  pînă cînd voltmetrul dă indicația „zero”. În momentul obținerii indica-

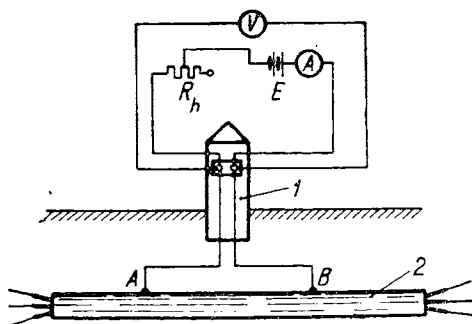


Fig. 55. Schemă de măsurare a curenților de dispersie prin metoda potențiometrică: 1 — punct de măsurare; 2 — cablu de energie supus măsurării; A, V — ampermetru și voltmetru de măsură;  $R_h$  — potențiometru; E — baterie de acumuloare; A, B — electrozi.

ției „zero” la voltmetru, curențul de dispersie se citește direct la ampermetrul A.

**Măsurarea densității curenților de dispersie.** Măsurarea densității curenților de dispersie se face cu ajutorul unui electrod auxiliar îngropat în pământ și cu ajutorul unui cablu supus măsurării (izolat față de pământ). În circuitul dintre electrod și instalația subterană de cablu se conectează un miliampermetru avînd o rezistență interioară de 1—5  $\Omega$ . În cursul măsurării densității curenților de dispersie se fac citiri, timp de o oră, din 15 în 15 s. Se determină apoi densitatea curenților de dispersie cu relația:

$$j = \frac{I}{s} \cdot k \quad \left[ \frac{\text{mA}}{\text{dm}^2} \right]$$

în care:  $I$  este curențul dat de miliampermetrul (media citirilor);

$s$  — suprafața laterală a electrodului;

$k$  — coeficientul de solicitare al substanței care se exprimă prin raportul  $W'_m/W_m$ .

În expresia  $W'_m/W_m$  semnificația celor doi termeni este următoarea:

$W'_m$  este energia electrică medie orară, debitată de substația de transformare;

$W_m$  — energia electrică medie orară, debitată de substația de transformare în timpul măsurării.

Rezultatele măsurării se înregistrează sub forma unei diagrame de potențial ca în fig. 56.

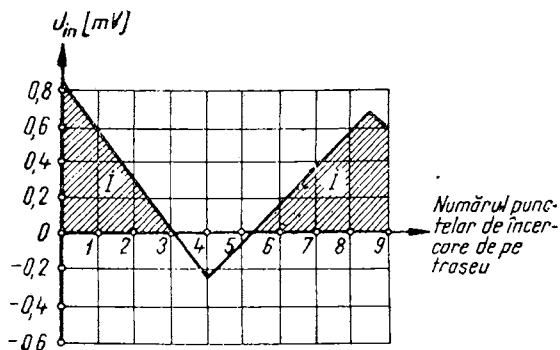
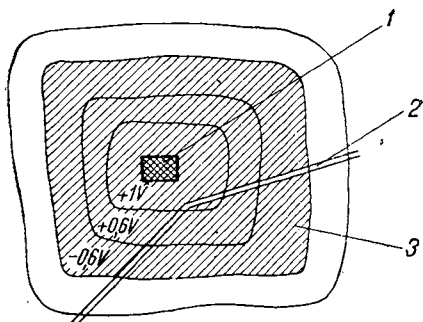


Fig. 56. Diagrama de potențial.

Fig. 57. Configurația curbelor de potențial:  
1 — punct de măsurare;  
2 — cablu de energie supus măsurării; 3 — zonă anodică.



Punctele 1, 2, ..., 9 situate în fig. 56 pe axa absciselor reprezintă de fapt locurile de pe traseul cablului, unde s-au efectuat măsurările. În anumite cazuri, pe baza măsurărilor efectuate, se pot alcătui curbe echipotențiale avînd forma din fig. 57.

## **12. Metode de localizare a defectelor provocate din cauza descărcărilor parțiale care se produc în rețelele de cabluri de energie**

### **12.1. Importanța localizării descărcărilor parțiale care iau naștere în rețelele electrice de energie în cablu**

Descărcările parțiale care se produc în timpul funcționării rețelelor electrice în cablu de medie, înaltă și foarte înaltă tensiune, de 10—440 kV, provoacă cu timpul străpungerea cablurilor și uneori neajunsuri însemnate exploatarei acestora. Pentru elaborarea metodelor de localizare a descărcărilor parțiale, au fost efectuate, în diferite țări, cercetări și experimentări, urmărind:

- determinarea caracterului fizic al descărcărilor;
- modul de manifestare a fenomenelor de îmbătrânire electrică și termică în exploatare a cablurilor aflate sub acțiunea descărcărilor parțiale;
- cunoașterea modificărilor structurale a izolației rețelelor în cablu afectate de leziuni provocate de descărcări parțiale;
- punerea la punct a unor metode practice, utilizabile în exploatare, pentru depistarea cu ușurință a cavităților din izolații în care se produc descărcări parțiale.

Numeroase cercetări și experimentări au demonstrat că izolațiile electrice ale cablurilor de energie de 10—440 kV, constituite mai ales din dielectrici termoplastici (polietilenă, policlorura de vinil, politetrafluoretilena), posedă în interiorul lor vacuole sau mici cavități, care iau naștere în timpul izolării cablurilor și care, cu timpul, în exploatare, devin geneza descărcărilor parțiale.

Descărcări parțiale pot lua naștere, de asemenea, și în izolația cablurilor de 440 kV care, de regulă, este din hîrtie impregnată cu ulei, din cauza nerespectării riguroase a regimului de impregnare în ulei a cablurilor.

Din cauza tuturor motivelor menționate, localizarea descărcărilor parțiale este nu numai necesară, dar și obli-

gatorie, deoarece descoperirea lor, încă în faza inițială, permite luarea celor mai eficiente măsuri în vederea alimentării acestor leziuni periculoase și uneori cu consecințe grave pentru exploatarea optimă a rețelelor în cablu de energie.

## 12.2. Procedee de localizare a descărcărilor parțiale în cablurile de energie

Pentru localizarea descărcărilor parțiale în cablurile de energie, publicația CEI nr. 270-1968, recomandă utilizarea uneia din cele două scheme de măsură indicate în fig. 58 și fig. 59. În ambele scheme de măsură se utilizează ca sursă de tensiune un transformator de înaltă tensiune, cu secundarul pus la pământ, permițând astfel, cu ajutorul aparatului de măsurare, localizarea descărcărilor parțiale care se produc în cavitățile cablului, supus verificării.

*Primul montaj* (fig. 58), este cel mai utilizat și constă în punerea la pământ a cablului încercat. În această variantă, condensatorul (C) este conectat în serie cu aparatul de măsură a descărcărilor parțiale.

*Al doilea montaj* (fig. 59), posedă un electrod de măsură, care funcționează la joasă tensiune, izolat față de pământ. Acest montaj prezintă avantajul că permite utilizarea unor inele de gardă și reducerea, pe această cale,

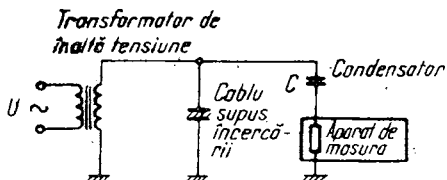


Fig. 58. O variantă de montaj pentru detecția și măsurarea descărcărilor parțiale.

a perturbațiilor exterioare produse de cîmpul electric care ar putea denăturea fidelitatea măsurărilor.

Fenomenele parazite externe care pot perturba măsurarea corectă a intensității descărcărilor parțiale, cu oca-

zia localizării lor, pot fi clasate în trei categorii: semnale de frecvență definită provenind din surse radiofonice și alte echipamente de înaltă frecvență; paraziți industriali, de formă impulsională, proveniți din rețeaua de înaltă tensiune a montajului de măsură; paraziți industriali, de

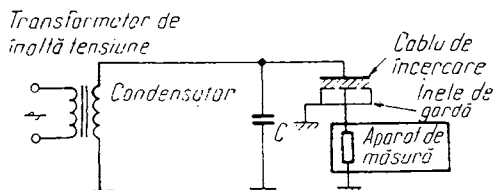


Fig. 59. O altă variantă de montaj și măsurare a descărcărilor parțiale.

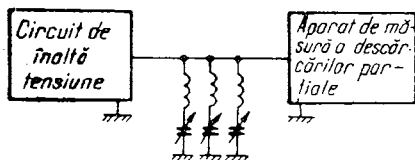


Fig. 60. Atenuarea perturbațiilor radioelectrice prin circuite rezonante serie:

înaltă tensiune, proveniți din circuite de înaltă tensiune în afara circuitului de montaj pentru localizarea și măsurarea intensității descărcărilor parțiale.

Înainte de a efectua măsurarea intensității descărcărilor parțiale, este necesar să se identifice perturbațiile, cu ajutorul unui osciloscop auxiliar.

Cele mai dăunătoare fenomene parazite, care perturbă măsurarea fidelă a intensității descărcărilor parțiale sînt paraziții radiofonici. Pentru eliminarea lor, se cunosc mai multe procedee. În primul caz se utilizează unul sau mai multe circuite rezonante serie, acordate pe frecvențele proprii ale undelor perturbatoare și montate apoi în paralel pe intrarea aparatului de măsură conform fig. 60. Dacă aceste circuite posedă un coeficient bun de supratensiune,

acțiunea lor va putea atenua satisfăcător nivelul paraziților. O altă tehnică pentru eliminarea paraziților radiofonici constă în utilizarea unui montaj conform fig. 61. Principiul acestui montaj se bazează pe recepția unui semnal, cu ajutorul unei antene de recepție acordate, prove-

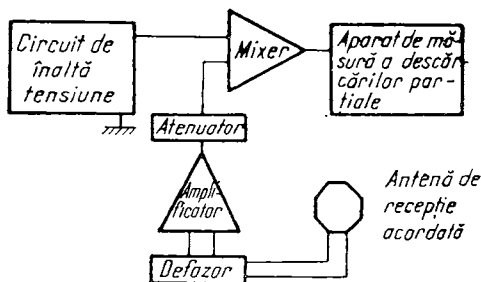


Fig. 61. Atenuarea perturbațiilor radiofonice prin reinjecția unui semnal în opoziție de fază.

nit de la o sursă similară cu sursa semnalului perturbator. Acționînd asupra fazei și amplitudinii semnalului, astfel recepționat, se poate obține eliminarea practic totală a semnalului parazit. Prezența simultană a mai multor emisiuni radiofonice antrenează utilizarea unor montaje identice.

Concomitent cu paraziții radiofonici trebuie eliminați paraziții industriali. Dacă măsurarea descărcărilor parțiale se face la tensiunea aplicată, este recomandabil să se utilizeze, un filtru trece jos, pe alimentarea transformatorului de înaltă tensiune. În unele cazuri, se pot folosi cu același efect condensatoare dispuse între fazele rețelei în cablu. Unul din montajele care pot fi utilizate cu bune rezultate, pentru eliminarea paraziților industriali, pentru detecția descărcărilor parțiale, este schema indicată în fig. 62. În această schemă, pentru a elimina spectrul de frecvență al semnalelor parazite, în timpul localizării descărcărilor parțiale, operatorul trebuie să modifice valorile rezistențelor  $R_1$  și  $R_2$  și ale capacităților  $C_1$  și  $C_2$ . Odată cu eliminarea semnalelor radiofonice parazite, schema din



fig. 62, elimină de asemenea și descărcările parțiale parazite. În acest scop, este necesar ca schema de măsură menționată, să limiteze câmpul electric, în aer, la intensități suficient de slabe pentru ca să nu aibă loc nici o descărcare prin efect „corona“.

Măsurarea descărcărilor parțiale se efectuează, așa cum s-a mai menționat, cu două categorii de aparate: aparate cu lectură directă, adică aparate cu ac indicator și

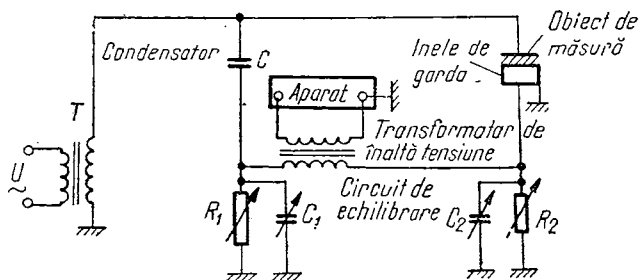


Fig. 62. Exemplu de montaj echilibrat pentru detecția descărcărilor parțiale:

aparate la care descărcările parțiale sînt vizualizate pe ecranul unui osciloscop. Aparatele din prima categorie comportă, în general, un voltmetru cu indicator al valorii celei mai mari a sarcinii aparente pentru a permite o citire facilă. Aparatele din categoria a doua sînt foarte răspîndite, deoarece vizualizarea descărcărilor parțiale permite observarea directă a descărcărilor pe un baleiaj în elipsă sau pe un baleiaj liniar.

Vizualizarea descărcărilor parțiale are de asemenea următoarele avantaje:

— localizează conductoare de fază pe care se situează direct descărcările, în raport cu tensiunea de încercare;

— permite reperarea paraziților și măsurarea lor și elimină astfel sursele de erori la evaluarea sarcinilor aparente.

Măsurarea sarcinilor aparente și observarea vizuală a imaginii descărcărilor pe ecranul unui osciloscop permite operatorului să-și formeze o imagine calitativă a ansamblului fenomenului. El va observa dacă descărcările cele

mai mari sînt însoțite de impulsuri foarte slabe ale sarcinilor aparente. Măsurarea și numărarea descărcărilor parțiale se poate face numai cu un aparat avînd o bună putere de rezoluție, adică o bandă largă de trecere. Cea mai mare parte a aparatelor de numărat impulsuri curente, sînt inaptele pentru a fi adaptate direct măsurării și numărării descărcărilor parțiale. În acest scop, aparatele respective trebuie să separe descărcările parțiale, de frecvență industrială, de armonicele lor, fiind necesar să limiteze la valori joase banda de trecere a amplificatoarelor de măsură între cîteva kHz și cîteva sute de kHz.

Cea mai uzitată metodă de măsură a descărcărilor parțiale este *trierea impulsurilor* în funcție de intervalul de timp, care separă două descărcări consecutive. Cronograma astfel obținută, poate fi supusă unui nou triaj constînd din clasarea impulsurilor după sarcina aparentă. Pentru a avea o imagine corectă asupra descărcărilor parțiale, care se produc în cablurile de energie, se efectuează măsurarea curentului de descărcare și măsurarea puterii descărcărilor.

Măsurarea curentului de descărcare este prevăzută în Publicația CEI 270—1968 și se face cu montajul din fig. 62, iar măsurarea puterii descărcărilor se face cu ajutorul unei punți Schering.

Un aspect important care trebuie luat în considerație cu ocazia localizării și măsurării descărcărilor parțiale, este calibrarea sau etalonarea circuitelor de încercare. Publicația CEI 270-1968 deosebește două feluri de etalonări:

— prima este o verificare completă a aparatului de măsură, a mărimii semnalului de intrare;

— a doua, constă în asocierea semnalului de întărire a aparatului de măsură cu semnalul cablului de energie supus încercării. Operația etalonării constă în injectarea impulsurilor de sarcină cunoscută de la un generator de scurtcircuit la bornele cablului de energie. Conform Publicației CEI 270-1968, calibrarea circuitului de încercare se face, așa cum se arată în fig. 63 (calibrarea circuitului de încercare cu cablul pus la pămînt, prin aparatul de măsurare) și fig. 64 (calibrarea circuitului de încercare cînd cablul de energie este pus direct la pămînt). Dacă  $V_0$  este tensiunea treaptă produsă de generatorul  $G$ , sarcina aparentă furnizată ( $q_0$ ) va fi egală cu  $q_0 = U_0 C_0$ . Pentru calibrare se va utiliza, conform CEI 270-1968, o sursă de descărcări prin efect corona. Pe lîngă circuitele de calibrare indicate în fig. 63 și fig. 64, se mai utilizează: un circuit de calibrare conform fig. 65 (care are în vedere capacitățile parazite) și un circuit de calibrare conform fig. 66.

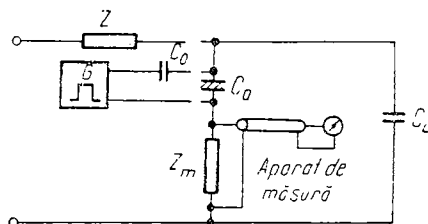


Fig. 63. Calibrarea circuitului de încercare cu cablul pus la pământ, prin aparatul de măsurat.

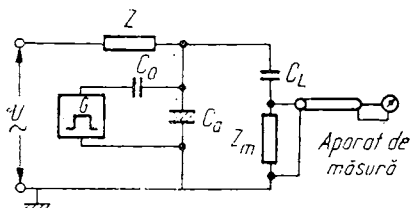


Fig. 64. Calibrarea circuitului de încercare când cablul este pus direct la pământ.

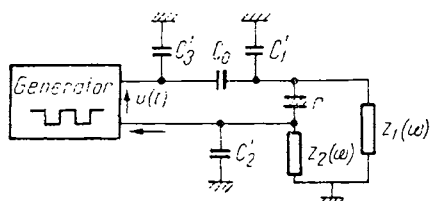


Fig. 65. Capacități parazite ale circuitului de calibrare.

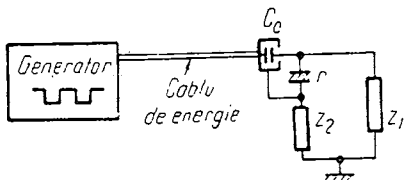


Fig. 66. Realizarea practică a unui circuit de calibrare.

### 13. Metoda undelor staționare

Se știe că fenomenul de descărcări parțiale evoluează sub forma unei suite de descărcări succesive care se produc în vacuola cuprinsă în interiorul dielectricului cablului și a căror distribuție, în timp, este mai mult sau mai puțin regulată, în funcție de amplitudinea semnalelor. Amplitudinea spectrului de energie a semnalelor descrește rapid cu rangul armonicilor spectrului și în raport cu frecvența tensiunii la care funcționează cablurile în exploatare. Într-un domeniu de frecvență suficient de ridicat, densitatea energetică spectrală devine constantă, iar experiențele au arătat că acest lucru se produce la o frecvență de câțiva kHz.

Dacă lungimea cablului considerat este  $L$  (fig. 67), iar inducțanța și capacitatea lineică sînt  $l$  și  $c$ , atunci impedanța caracteristică a cablului este  $Z_c = \sqrt{l/c}$ , iar constanta de propagare este  $\gamma = \sqrt{(r+j\omega \cdot l) \cdot (g+j\omega \cdot c)} = \alpha + j\beta$  (în care:  $\alpha$  este constanta de atenuare, iar  $\beta$  constanta de fază). Admițînd neglijabilă constanta de atenuare ( $\alpha$ ) și presupunînd că transmisia semnalelor produse de descărcările parțiale, este staționară, tensiunea semnalelor pentru  $x=0$ , are următoarea expresie

$$V_0 = \frac{K Z_c \cos \beta (L - a)}{\cos \beta L + j \sin \beta L} \quad (51)$$

în care:

$Z_c$  este impedanța caracteristică a cablului de energie măsurat;

$\beta$  — constantă de fază a rețelei în cablu considerate;

$K$  — constantă;

$a$  — distanța pînă la locul defect.

Tensiunea  $V_0$  se anulează cînd  $\cos \beta (L - a)$  este egal cu zero, ceea ce conduce la expresia:

$$\beta (L - a) = \frac{\pi}{2} + K. \quad (52)$$

Între două anulări succesive ale modulului  $V_0$ , se obține relația

$$\beta_1 (L - a) - \beta_2 (L - a) = \pi. \quad (53)$$

Într-o primă aproximație se poate scrie că:

$$\beta = 2\pi f \sqrt{lc} \quad (54)$$

și

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{2 \sqrt{lc} (L - a)} \quad (55)$$

ceea ce conduce, pe această cale, la determinarea locului defect cu relația

$$(L-a) = \frac{1}{2\Delta f \sqrt{lc}} \quad (56)$$

Principiul metodei de localizare a defectelor produse din cauza descărcărilor parțiale, prin metoda undelor staționare, se bazează pe relația dedusă mai sus [relația (56)], admițând condițiile la limită  $Z_L = \infty$  și  $Z_0 = Z_c$ . În această circumstanță, efectuăm două măsurări:

— una pentru  $x=0$ , cu  $Z_0$  și  $Z_L = \infty$  și obținem

$$(L-a) = \frac{1}{2\Delta f_0 \sqrt{lc}};$$

— cealaltă pentru  $x=L$ , cu  $Z_L = Z_c$  și  $Z_0 = \infty$  și obținem

$$a = \frac{1}{2\Delta f_1 \sqrt{lc}}.$$

Comparînd relațiile de mai sus, după cele două măsurări, se poate scrie că distanța pînă la locul defect este

$$a = L \frac{f_0}{\Delta f_0 + \Delta f_L}. \quad (57)$$

În unele cazuri, este dificil să se efectueze măsurări la ambele capete. Se recurge, în această circumstanță, la o a doua metodă, care constă în injectarea în cablu a unor impulsuri produse de un generator de calibrare, similare cu descărcările parțiale, la capătul inițial al cablului, pentru  $x=0$ . Admițînd această ipoteză pentru  $a=0$ , se obține

$$L = \frac{1}{2\Delta f_1 \sqrt{lc}}. \quad (58)$$

Dacă efectuăm măsurarea sub tensiune, putem determina poziția locului defect cu relația

$$a = L \cdot \frac{\Delta f - \Delta f_1}{\Delta f_0}. \quad (59)$$

Pentru a verifica buna adaptare a cablului de energie, la frecvența de măsură, se injectează impulsuri, la extremitatea deschisă a cablului, cu ajutorul unui generator de impulsuri și se analizează apoi spectrul obținut evitându-se minimurile prea pronunțate. Această analiză va trebui să fie făcută cu un transformator alimentat la înalta tensiune. Injecția impulsului la capătul cablului închis pe impedanța  $Z_0 \approx Z_c$ , trebuie efectuată înainte de a determina regimul fundamental al oscilațiilor descărcărilor parțiale, pentru  $a=0$ . Apoi, cablul de energie se pune sub tensiune în mod progresiv pînă la apariția fenomenului de descărcări decelabil și se determină  $\Delta f_0$ . Spre a obține rezultate corecte se recomandă inserarea în circuitul de măsură a unui filtru cu o bandă largă, pe partea de alimentare în înaltă tensiune.

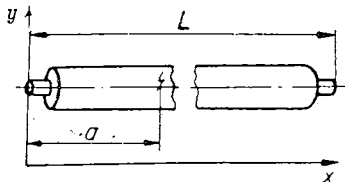
Pentru cabluri de energie, cu izolație de hîrtie impregnată, care au permitivitatea dielectricului  $\epsilon=3,6$ , luîndu-se viteza de propagare a cîmpului electromagnetic egală cu 157 000 km/s, relația  $(L-a)=1/2 \Delta f \cdot \sqrt{lc}$  devine:

$$(L-a) = \frac{157\,000}{2\Delta f} \quad (60)$$

Se deosebesc trei cazuri distincte (fig. 67):

— dacă  $(L-a)$  este de ordinul 0,2 km, atunci  $\Delta f = 0,4$  MHz și e necesar ca banda de frecvență în timpul detecției descărcărilor parțiale, să fie cuprinsă între 0,2 MHz și 1,4 MHz;

Fig. 67. Reprezentarea schematică a unui cablu de energie avînd lungimea  $L$  în care se produc descărcări parțiale la distanța  $a$  de capătul din stînga al cablului.



— dacă  $(L-a)$  este de ordinul unui km, atunci  $\Delta f = 80$  kHz, iar banda de frecvență pe care măsurăm trebuie să fie cuprinsă între 50 Hz și 500 kHz;

— dacă  $(L-a)$  este de ordinul a 10 km, atunci banda de frecvență pe care se măsoară trebuie să fie cuprinsă între 10 kHz și 100 kHz.

Pentru aplicarea metodei de localizare a defectelor produse, din cauza descărcărilor parțiale, prin metoda undelor staționare, se poate utiliza montajul indicat în fig. 68. În acest scop, rezistența de adaptare din fig. 68

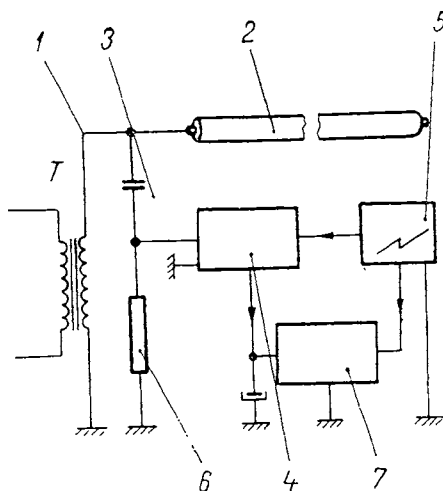


Fig. 68. Schema de principiu a montajului unei instalații de localizare a defectului produs într-un cablu de energie din cauza descărcărilor parțiale prin metoda undelor staționare:  
1 — transformator de înaltă tensiune; 2 — cablu de încercare; 3 — condensator de înaltă tensiune; 4 — receptor selectiv; 5 — generator pilot; 6 — rezistență de adaptare; 7 — înregistrator.

are valoarea egală cu impedanța caracteristică a cablului. Cu ajutorul metodei descrise, au fost localizate defecte în cablurile de energie cu izolație de hîrtie impregnată pînă la 20 kV inclusiv, cu bune rezultate, și cu erori maxime de 1 m în jurul defectului. Caracteristicile constructive ale acestor cabluri sînt indicate în tabelul 13.

Determinarea locului defectului, prin unde staționare, implică unele restricții care trebuie luate în considerație. O restricție este impusă de influența impedanței terminale a cablului de energie, în care se produc descărcă-

## Caracteristici constructive ale cablurilor de 20 kV, verificate

Secțiunea, mm <sup>2</sup>	50	300
Rezistența ohmică a conductoarelor de fază, $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	0,416	0,081
Rezistența ohmică a plumbului, $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	1,0	0,55
Inductanța, mH $\cdot \text{km}^{-1}$	0,15	0,09
Capacitatea, $\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	0,3	0,58

rile parțiale, adică a impedanței măsurate la capătul cablului la care se efectuează măsurarea. Pentru a respecta această restricție, este necesar ca constantele lineice ale liniei (rezistența ohmică, inducția și capacitatea) să aibă anumite valori care trebuie determinate înaintea începerii măsurării. O altă restricție care trebuie respectată este asociată de influența constantei de fază ( $\beta$ ) care de fapt este o funcție de frecvență cu relația  $\beta = \omega \sqrt{lc}$  ( $l$  și  $c$  fiind impedanța și capacitatea lineică a cablului).

Ținând seama de restricțiile menționate și de caracteristicile metodei descrise, localizarea defectelor, în cablurile de energie, prin metoda undelor staționare, oferă posibilități bune de detecție, cu erori minime, de  $\pm 2$  m.

#### 14. Aparat utilizat la localizarea defectelor

Pentru localizarea defectelor în rețelele de cablu de energie se utilizează, în exploatare: ohmmetre, punți de măsurare (de rezistență, de impedanță), generatoare de impulsuri și osciloscopia pentru vizualizarea lor ș.a.



**Ohmmetrele** se folosesc la măsurarea rapidă a rezistențelor. Scala lor este gradată de la 0 la 10 k $\Omega$  și au factorii de multiplicare 0,1—1—10. Ele sînt alimentate de la baterii de 1,5 V. Pentru măsurarea rapidă a rezistenței de izolație se utilizează megohmmetre cu două scale de la 0,05 la 100 M $\Omega$  și alta de la 0,5 la 1 000 k $\Omega$ . Se mai pot folosi de asemenea, megohmmetre cu scări de la 0 la 2 000 M $\Omega$ ; 0 la 50 M $\Omega$ , 10 la 1 000 M $\Omega$ .

**Punțile de măsurare** utilizate la localizarea defectelor au la bază principiul punții Wheatstone și pot fi de un curent continuu sau de curent alternativ (punți de rezistență, punți de impedanță, punți de capacitate, punți de inductanță). În practica măsurărilor se întîlnesc: punți

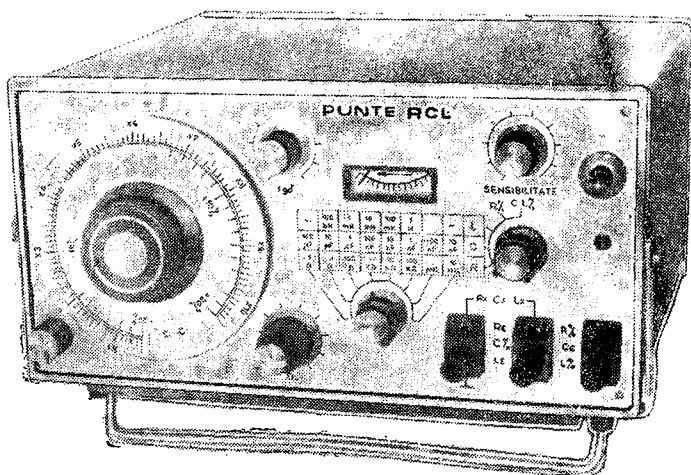


Fig. 69. Punte universală RLC de tip EO704, pentru măsurarea absolută sau comparativă de rezistențe, capacități și inductanțe.

de rezistență de tip Metra-MGK; punți de rezistență de tip UMV; punte de impedanță de tip Siemens, care funcționează în banda de frecvență 30 Hz—1,6 MHz sau în banda de frecvență 25 Hz—1 MHz, care au generatoare de frecvență încorporate pentru diferite frecvențe fixe.

La noi în țară la întreprinderea de aparate electronice de măsură și industriale — București, se produc

punți universale  $R$ ,  $L$ ,  $C$  de tip EO704, care permit măsurarea absolută sau comparativă de rezistențe, capacități și inductanțe (fig. 69).

*Puntea EO704* se compune din mai multe blocuri funcționale:

- puntea de măsurare propriu-zisă, care poate lucra în montaj de punte Wheastone pentru măsurarea rezistențelor, de punte Santy pentru măsurarea capacităților, de punte Maxwell-Wien pentru măsurarea impedențelor sau de punte procentuală pentru măsurări de rezistențe, capacități și inductanțe;

- detectorul de zero;

- blocul de alimentare a punții de măsurare, care furnizează tensiunea continuă (4,5 V) și alternativă ( $1 V_{\text{eff}}$ ), cu frecvență de 50—1 000 Hz;

- blocul de alimentare al circuitelor electronice (amplificator, osciloscop, cioper mecanic).

Cu puntea universală EO704 se pot măsura: *rezistențe* în gama  $0,5 \Omega$ —105 M $\Omega$  în opt scări decadice, cu erori maxime de măsurare  $\pm 1\%$ ; *capacități*, în gama 1 pF—1 050  $\mu$ F în opt scări decadice, cu erori maxime de  $\pm 1,5\%$ ; *inductanțe*, în gama de 50  $\mu$ H—105 H, în șase scări decadice, cu erori maxime de  $\pm 1,5\%$ .

**Aparatura de impulsuri**, care servește la localizarea defectelor, prin diverse metode ecometrice precum și prin alte metode descrise, este constituită din generatoare de impulsuri, osciloscopes, reflectometre. Dintre acestea, produse în țară, menționăm:

- generator de frecvență tip EO501, complet tranzistorizat, pentru gama de frecvență 1 Hz—1 MHz în șase scări, cu eroare maximă 5%, adică  $\pm 0,02$  Hz, care funcționează la tensiune sinusoidală și rectangulară, cu puterea consumată maximă de 15 VA și impedența de intrare 50  $\Omega$  (fig. 70);

- osciloscop EO101, pentru banda de frecvență 0—5 MHz, coeficient de deviație verticală 20 mV/cm și tub catodic cu diametrul de 70 mm (în fig. 71);

- osciloscop EO102, pentru gama de frecvență 0—10 MHz, cu coeficient de deviație verticală 20 mV/div, cu tub catodic cu ecran rectangular, complet tranzistorizat (fig. 72).

Pentru stabilizarea tensiunii electrice în timpul măsurătorilor, se pot utiliza surse stabilizate pentru tensiune alternativă cu deriva de termen lung  $\leq 1,7$  V și în deriva de termen scurt  $\leq 1,5$  V (fig. 73).

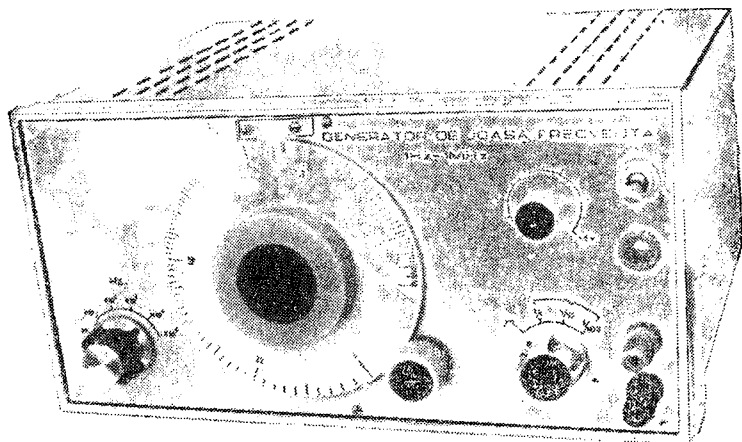


Fig. 70. Generator de frecvență tip EO501, complet tranzistorizat pentru gama de frecvență 1 Hz—1 MHz, cu șase scări.

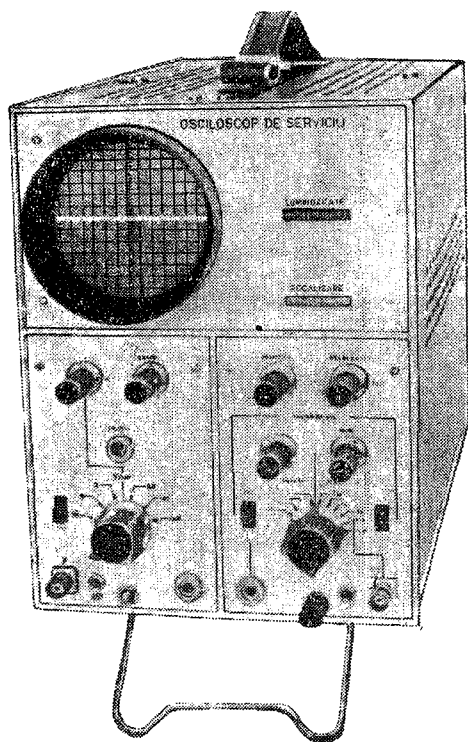


Fig. 71. Osciloscop EO101, pentru banda de frecvență 0—5 MHz, cu coeficient de deviație verticală 20 mV/cm.

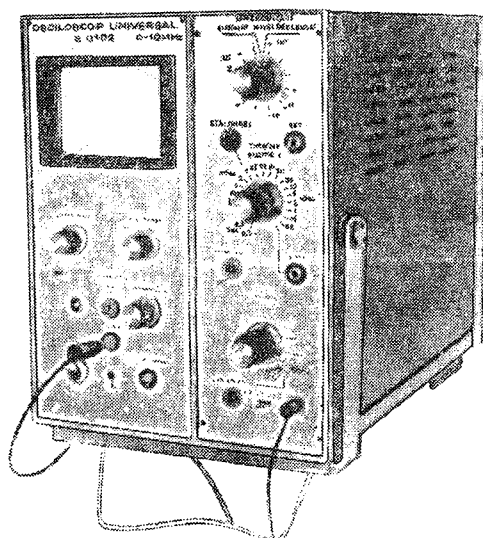


Fig. 72. Osciloscop EO102, pentru bandă de frecvență 0—10 MHz, cu coeficient de deviație verticală 20 m/cm.



Fig. 73. Sursă stabilizată de tensiune.

## Bibliografie

1. \* \* \* Fișă tehnologică — încercări, verificări și măsurări. *Metode de determinare a locului defect* (Fișa 3.2—F.T.4—251.56). Ministerul Energiei Electrice — C.I.E.E.T. — R. S. România, 1973.
2. DEMENTIEV, V. S. *Cum se determină locul defectului în cablurile de forță*. Editura tehnică, București, 1961.
3. CRUCERU, C. *Unele aspecte cu privire la utilizarea aluminului la fabricarea cablurilor electrice destinate rețelelor electro-energetice și de telecomunicații*: În: *Metalurgia*, vol. 24, nr. 8, aug. 1972, p. 558—561.
4. CRUCERU, C. *Tendențe actuale în construcția și utilizarea cablurilor electrice destinate rețelelor de telecomunicații*. În: *Poștă și telecomunicații*, vol. 16, nr. 6, iunie 1972, p. 295—299.
5. CRUCERU, C., URSEA, P. *Încercările cablurilor de energie în exploatare*. Editura tehnică; București, 1974.

## Cuprins

Prefață	3
1. <i>Determinarea caracterului defectului</i>	5
2. <i>Tipurile defectelor care pot apare în rețelele de cabluri de energie</i>	6
3. <i>Metodele de determinare a locului defectului în rețelele de cabluri de energie</i>	18
4. <i>Arderea locului defect pe liniile de cablu</i>	30
4.1. <i>Arderea defectelor pe cabluri de energie de înaltă tensiune</i>	31
4.2. <i>Arderea defectelor pe liniile de cabluri de joasă tensiune, circuite secundare și fir pilot</i>	36
5. <i>Metoda inducției</i>	37
6. <i>Metoda măsurării în buclă</i>	47
6.1. <i>Considerații generale</i>	47
6.2. <i>Metoda Murray</i>	49
6.3. <i>Metoda Graf</i>	56
6.4. <i>Metoda Wurubach</i>	57
6.5. <i>Metoda Varley</i>	58
7. <i>Metoda capacitivă</i>	61
8. <i>Metoda acustică</i>	66
9. <i>Metode prin impulsuri sau ecometrice</i>	69
9.1. <i>Generalități</i>	69
9.2. <i>Metode ecometrice de joasă tensiune</i>	73
9.3. <i>Metode ecometrice de înaltă tensiune</i>	78
9.4. <i>Variante ale localizării defectelor, prin metode ecometrice, aplicabile cablurilor de energie de înaltă tensiune</i>	86
9.4.1. <i>Defectosopia cablurilor de energie izolate cu hîrtie și protejate în manta de plumb</i>	87
9.4.2. <i>Defectosopia cablurilor de energie izolate cu polietilenă de 63—110 kV și cablurilor cu izolație de hîrtie-ulei de 110—440 kV</i>	91
9.5. <i>Concluzii asupra utilizării metodelor ecometrice</i>	93

10. Metoda descărcărilor oscilatorii . . . . .	95
11. Metode de localizare a defectelor, aplicate în cazul cablurilor de energie supuse la coroziune . . . . .	98
12. Metode de localizare a defectelor provocate din cauza descărcărilor parțiale, care se produc în rețelele de cabluri de energie . . . . .	108
12.1. Importanța localizării descărcărilor parțiale care iau naștere în rețelele electrice de energie în cablu . .	108
12.2. Procedee de localizare a descărcărilor parțiale în cablurile de energie . . . . .	109
13. Metoda undelor staționare . . . . .	115
14. Aparat utilizat la localizarea defectelor . . . . .	119
Bibliografie . . . . .	124

## În colecția electricianului

au apărut:

1972

- 70. Gudumac M. *Redresoare cu semiconductoare*
- 71. Slapciu G., Boboc D., Iancu E. *Repararea aparatelor electrice de măsurat și de control*
- 72. Boțan V. N. *Alegerea motoarelor electrice pentru acționarea mecanismelor și mașinilor industriale*. Ediția a II-a,

1973

- 73. Mereuță C., Brumă C. *Exploatarea posturilor de transformare din întreprinderile industriale*
- 74. Aptov S. I., Homeakov V. M. *Întreținerea uleiului electroizolant* (trad. din limba rusă). Ediția a II-a
- 75. Pietrăreanu E. *Construcția și exploatarea rețelelor de cabluri din întreprinderile industriale*
- 76. Orakaliev D. D., Dikov C. I., Hristov C. H. *Electrocăre* (trad. din limba bulgară)
- 77. Aldea F., Cănescu S. *Bimetaltul și aplicațiile lui în electrotehnică*

1974

- 78. Cruceru C., Ursea P. *Încercările cablurilor de energie în exploatare*. Ediția a II-a
- 79. Kaminski E. A. *Cum se citește schemele instalațiilor electrice* (trad. din limba rusă). Ediția a II-a

1975

- 80. Kerekes I., Lokodi Z. *Montarea corectă a contoarelor electrice trifazate*
- 81. Micu E. *Construcția și exploatarea cuptoarelor electrice de topire din industrie*



82. Pietrăreanu E. *Tablouri electrice de distribuție de joasă tensiune*

**vor apărea:**

Lisacek R. *Rebobinarea micromotoarelor electrice* (trad. din limba cehă)

Boboc D., Slapciu G., Popescu P. *Metode și instalații moderne pentru verificarea instrumentelor electrice de măsurat*

Pietrăreanu T. M. *Pornirea și protecția motoarelor asincrone trifazate*