

## **Lucrarea 12 - ÎNCERCAREA IZOLAȚIEI LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE**

### **1. Noțiuni teoretice**

#### **1.1. Aspecte generale**

Izolația liniilor electrice subterane este supusă în exploatare aceluiași solicitări complexe electrice, termice, mecanice, chimice, ca și izolația altor echipamente electrice; totuși, datorită amplasării în subteran, influența umidității este mult mai importantă și provoacă majoritatea defectelor de izolație.

Din punct de vedere al izolației, liniile electrice subterane pot fi considerate ca formate din două părți principale: cablurile propriu-zise și accesoriile (manșoane și terminale) care fac legătura între tronsoanele de cabluri și între cabluri și alte componente ale rețelei (celulele din posturile de transformare, motoare etc.).

Izolația accesoriilor, executată în condiții de șantier, este adesea de o calitate mai slabă decât izolația cablului realizată în fabrică; ca urmare a acestui fapt, defectele de izolație au loc mai ales în aceste accesorii, în primul rând în manșoane.

Verificarea stării izolației liniilor electrice subterane se realizează prin: metode nedistructive utilizând tensiune continuă sau alternativă, măsurarea descărcărilor parțiale, încercarea cu tensiune mărită alternativă, continuă și de impuls. Lista acestor încercări diferă funcție de scopul încercărilor. Din acest punct de vedere se pot deosebi:

- încercările de tip, care se execută cu ocazia omologării unor tipuri noi de cabluri sau accesorii ;
- încercările individuale sau de lot, care se execută de către fabrica constructoare;
- încercările profilactice (sau preventive), care se execută în exploatare cu ocazia punerii în funcțiune, după reparații sau periodic.

În cadrul lucrării de laborator se vor studia și executa încercările preventive ale izolației liniilor electrice subterane.

Asupra comportării în exploatare a accesoriilor de cablu, o mare influență exercită calitatea joncțiunilor adică a contactelor dintre conductoarele cablurilor prin mufe în cazul manșoanelor și a contactelor conductoare-papuci în cazul terminalelor.

Contactele defectuoase sunt surse ale degajării de căldură în accesorii; ca urmare materialele izolante adiacente se topesc, se ard, formează incluziuni gazoase, ceea ce conduce la apariția rapidă a străpungerii electrice. Din acest motiv, în cadrul lucrării, se va realiza și o încercare relativ la calitatea acestor joncțiuni.

## 1.2. Metode de încercare a izolației liniilor electrice subterane

### a. Măsurarea rezistenței de izolație

Această probă se execută la începutul seriei de încercări, deoarece poate pune în evidență defecte locale avansate, care fac inutilă continuarea verificărilor fără remedierea lor.

Măsurarea se realizează cu ajutorul unui aparat specializat, megohmmetrul, care cuprinde, o sursă de tensiune înaltă continuă și un instrument de măsură.

Mărimea rezistenței de izolație depinde de durata aplicării tensiunii datorită proceselor de polarizare lentă care au loc în izolație. Pentru a se elimina erorile datorate acestui factor, se măsoară rezistența de izolație stabilizată,  $R_{60}$ , la 60 s de la aplicarea tensiunii. Umiditatea materialului izolant are influență importantă atât asupra mărimii rezistenței de izolație cât și asupra variației sale în timp. Pentru aprecierea gradului de umiditate se folosește coeficientul de absorbție:

$$k_{abs} = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \quad (1)$$

acesta fiind definit ca inversul raportului valorilor rezistenței de izolație măsurate după 15 și respectiv 60 s de la aplicarea tensiunii. Cu cât umiditatea în dielectric este mai însemnată, cu atât procesele de polarizare se desfășoară mai rapid și stabilizarea valorii rezistenței de izolație are loc mai repede, iar  $k_{abs}$  tinde la 1. Pentru izolații uscate  $k_{abs} > 1$ .

Coeficientul de absorbție, definit ca mai sus, are semnificație corectă numai pentru tronsoane scurte de cablu, a căror capacitate geometrică se poate încărca rapid de la o sursă de putere mică cum este aceea din componența MΩ-metrului. În cazul cablurilor lungi de zeci sau sute de metri, încărcarea are loc lent, putând depăși cele 60 s ale duratei măsurării. În această situație, se poate prelungi durata de aplicare a tensiunii de măsură la mai multe minute, determinându-se indicele de polarizare:

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1}, \quad (2)$$

ca fiind raportul valorilor rezistențelor de izolație măsurate după 10 minute și după 1 minut de la aplicarea tensiunii. Semnificația rezultatului este aceeași ca și pentru coeficientul de absorbție: izolația este cu atât mai uscată cu cât  $I_p > 1$ .

Mărimea coeficientului de absorbție, respectiv a indicelui de polarizare se consideră semnificativă pentru izolația din hârtie impregnată cu ulei, care este mult mai sensibilă la acțiunea umezelii decât polimerii.

Asupra măsurării rezistenței de izolație are influență și starea de încărcare electrostatică a dielectricului. Pentru eliminarea acestei influențe, conductoarele și ecranul cablului încercat se vor lega la pământ timp de câteva minute înainte de efectuarea măsurării.

#### *b. Măsurarea factorului de pierderi dielectrice ( $tg\delta$ )*

Realizarea acestei încercări se lovește de dificultăți datorate capacității mari a cablurilor, care este proporțională cu lungimea lor. Pe lângă puterea sursei de alimentare a punții, intensitatea curentului capacitiv care străbate brațul rezistiv, reglabil, al punții poate depăși limita admisibilă chiar pentru lungimi de câteva zeci de metri a cablului încercat.

Această încercare se execută în cazul când cablurile de înaltă tensiune se folosesc la o tensiune mai mare decât valoarea nominală (de exemplu cabluri de 6 kV folosite în rețele de 10 kV sau cabluri de 15 kV folosite în rețele de 20 kV). Scopul încercării este de a stabili dacă, în noua situație, factorul de pierderi dielectrice nu crește în mod inadmisibil, în principal pe seama fenomenului de descărcări parțiale. Intensificarea fenomenului de descărcări parțiale pe măsura creșterii tensiunii de încercare se pune în evidență prin creșterea mai rapidă a valorii  $tg\delta$ , respectiv prin apariția unui cot în curba  $tg\delta = f(U)$ . Se consideră că se poate utiliza cablul la noua tensiune propusă dacă cotul curbei de ionizare nu apare până la tensiunea  $1,25U_n$ , unde  $U_n$  este noua tensiune de funcționare.

De asemenea, măsurarea  $tg\delta$  se recomandă pentru cablurile cu izolație din hârtie impregnată cu ulei dacă rezultatul măsurării rezistenței de izolație este necorespunzător.

#### *c. Încercarea cu tensiune mărită*

În principiu, încercarea cu tensiune mărită se execută cu tensiune alternativă de frecvență industrială. În cazul cablurilor de înaltă tensiune, această încercare se execută mai ales cu tensiune continuă datorită faptului că puterea necesară a sursei de alimentare poate fi mică, chiar pentru încercarea cablurilor de lungime mare.

Astfel, considerând că mărimea capacității fază-pământ a cablului încercat este  $C_0$ , iar tensiunea de încercare este  $U_{inc}$ , puterea sursei pentru încercarea cu tensiune alternativă este:

$$S = \omega C_0 U_{inc}^2 \quad (3)$$

Dacă însă încercarea are loc la tensiune continuă, izolația încercată absoarbe numai un curent de conducție,  $I_C$ :

$$I_C = \omega C_0 U_{inc} \operatorname{tg} \delta, \quad (4)$$

iar puterea sursei de încercare este:

$$P = S \operatorname{tg} \delta. \quad (5)$$

Deoarece valorile  $\operatorname{tg} \delta$  sunt de ordinul  $10^{-3}$ , puterea sursei de încercare cu tensiune continuă este în aceeași măsură mai mică decât a sursei pentru încercarea cu tensiune alternativă. Acest avantaj este decisiv pentru încercările executate pe teren (*in situ*). Mai mult, încercarea cu tensiune continuă mărită nu contribuie la intensificarea descărcărilor parțiale și deci nu înrăutățește starea izolației.

Valoarea tensiunii de încercare este stabilită prin norme specifice de produs, sau, în lipsa acestora, prin normativele de încercări preventive. Ea depinde de momentul încercării (punerea în funcțiune sau în exploatare), de tipul izolației (hârtie sau polimeri), tipul constructiv (cu câmp electric radial sau ne-radial).

Durata încercării este stabilită în funcție de aceiași factori ca și tensiunea de încercare.

Simultan cu încercarea cu tensiune mărită se poate măsura curentul de conducție prin izolația cablului. Mărimea acestui curent este un indiciu suplimentar recomandat pentru cablurile cu izolație din polimeri, dacă măsurarea rezistenței de izolație nu dă rezultate satisfăcătoare.

Variația curentului de conducție, pe durata aplicării tensiunii de încercare trebuie să fie numai descrescătoare, cel mult constantă. Se urmărește atât valoarea curentului în sine, cât și deosebirile între rezultatele măsurătorilor pe cele trei faze ale liniei electrice subterane.

Coeficientul de asimetrie :

$$a = \frac{I_{c \max} - I_{c \min}}{I_{c \min}} \quad (6)$$

trebuie să aibă valori  $a < 2$ . În cazul în care valoarea curentului de conducție depășește valoarea admisibilă sau coeficientul de asimetrie este mai mare ca 2, se va determina experimental curba  $I_c = f(U)$ , fără a depăși valoarea tensiunii de încercare. Tensiunea se va regla în trepte, iar valoarea curentului se va citi după un minut de la stabilirea tensiunii pe o anumită treaptă. Curba obținută trebuie să fie cât mai liniară, fără creștere importantă a pantei.

*d. Determinarea caracteristicii de autodescărcare*

Încercarea constă în măsurarea variației în timp a tensiunii pe capacitatea unui cablu, care a fost încărcat până la tensiunea de încercare prevăzută și care se descarcă pe propria rezistență de izolație. Viteza de scădere a tensiunii oferă indicații cu privire la starea izolației cablului: cu cât autodescărcarea este mai lentă, cu atât starea izolației este mai bună.

Această încercare necesită folosirea unui kV-metru electrostatic pentru măsurarea tensiunii, acesta fiind singurul aparat de măsură de înaltă tensiune care are consumul propriu neglijabil, practic nul. Din acest motiv această încercare se poate executa mai ales în condiții de laborator.

*e. Verificarea joncțiunilor*

Calitatea contactelor electrice dintre conductorul cablului și mufele din manșoane sau papucii de la terminale influențează hotărâtor, prin căldura degajată datorită rezistenței de contact, asupra stării izolației acestor accesorii. Rezistența de contact se verifică prin măsurarea căderii de tensiune între conductorul cablului și mufă sau papuc, la trecerea unui curent continuu de încercare. Se recomandă ca această cădere de tensiune să satisfacă relația :

$$\Delta U \leq 10 \frac{I_m}{I_n} \text{ (mV)} \quad (7)$$

unde:  $I_m \geq 0,1 I_n$  este curentul de încercare, iar  $I_n$  este curentul maxim admisibil al cablului a cărui mărime depinde de secțiunea cablului și de tipul izolației.

**2. Determinări experimentale**

Studiul de caz al lucrării de laborator urmărește verificarea stării izolației unui tronson de cablu cu tensiunea nominală de 6 kV, cu izolație din PVC, conductoare din aluminiu cu secțiunea de 150 mm<sup>2</sup> și ecran metalic din bandă de cupru, comun pentru cele trei faze, prezentat în figura 1.

În acest sens se vor efectua următoarele încercări:

- *determinarea rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție pentru izolația fiecărei faze, respectiv între faze;*
- *determinarea caracteristicii de autodescărcare a cablului;*



**Fig. 1** – Cablu trifazat de 6 kV utilizat pentru efectuarea încercărilor

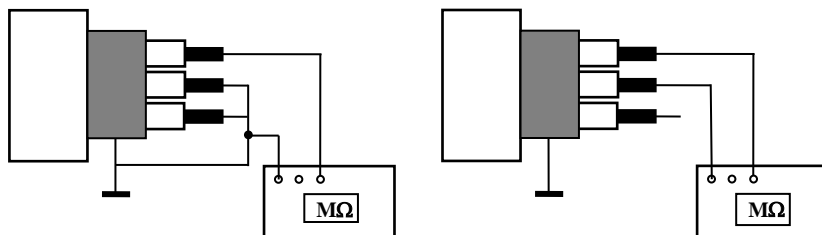
## 2.1. Modul de lucru

Pentru efectuarea încercărilor experimentale și realizarea determinărilor analitice ulterioare se va proceda conform indicațiilor metodice prezentate în continuare.

### a. Măsurarea rezistenței de izolație

Pentru realizarea măsurătorilor se va utiliza megohmetrul tip UNILAP ISO 5 kV, ce a fost folosit și în cadrul lucrării anterioare, pentru măsurarea rezistenței de izolație a transformatorului de medie tensiune de 15/04 kV din cadrul laboratorului. Descrierea detaliată a aparatului de măsură se regăsește la punctul 2.1 din *Lucrarea 13 - Încercarea izolației transformatoarelor*.

Măsurarea rezistenței de izolație a cablului de 6 kV se efectuează în mod succesiv, pe fiecare fază în parte, respectiv între faze, conform indicațiilor din figura 2.



**Fig. 2** – Măsurarea rezistenței de izolație a unui cablu trifazat

Pentru efectuarea determinărilor se va proceda după cum urmează:

- se vor realiza, în mod succesiv, conexiunile conform schemei prezentate în figura 2, înainte de fiecare măsurare, toate fazele cablului se vor scurtcircuita la pământ timp de 1-2 minute;
- cu ajutorul comutatorului 2 se alege tensiunea de încercare, furnizată de sursa internă a MΩ-metrului, aceasta fiind de 2500 V;
- prin apăsarea butonului *Display* se selectează parametrul ce se dorește a fi înregistrat, în cazul de față fiind vorba de  $R_{60}$ ;
- se apasă butonul *Start* pentru a porni efectuarea încercării, pe durata măsurării, conductoarele de legătură cu MΩ-ohmetrul nu vor veni în contact cu alte corpuri izolate sau legate la pământ pentru a nu denatura rezultatul;
- se va nota valoarea indicată pe display-ul megohmetrului după primele 3 semnale sonore emise de acesta, valoarea respectivă fiind rezistența de izolație măsurată la 15 secunde,  $R_{15}$ ;
- după trecerea celor 60 de secunde pe display va fi afișată valoarea măsurată a rezistenței de izolație,  $R_{60}$ , care, împreună cu valoarea  $R_{15}$  va fi folosită pentru determinarea coeficientului de absorbție, conform expresiei:

$$k_{abs} = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (8)$$

- comutatorul 2 este readus pe poziția OFF, permițând astfel refacerea montajului pentru încercarea izolației următoarei fazei.

La finalul tuturor încercărilor valorile măsurate vor fi trecute într-un tabel centralizator, conform modelului prezentat în tabelul 1.

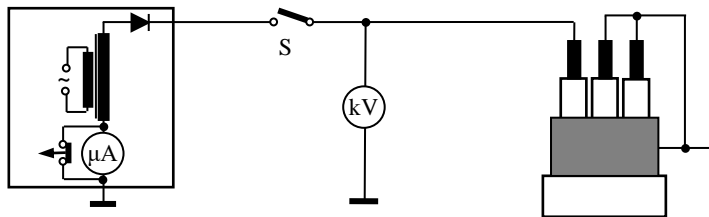
**Tabelul 1.** Valori măsurate ale rezistenței de izolație a cablului de 6 kV

Faza testată	$R_{15}$ (GΩ)	$R_{60}$ (GΩ)	$k_{abs}$
R			
S			
T			
R-S			
R-T			
S-T			

Se vor compara valorile măsurate cu cele admisibile ale rezistenței de izolație, pentru cablul supus încercării, fiind recomandată o valoare de 100 MΩ/km.

*b. Determinarea caracteristicii de autodescărcare*

Montajul experimental ce trebuie realizat pentru efectuarea acestei încercări este prezentat în figura 3. Acesta include o sursă de înaltă tensiune redresată ce poate furniza tensiune reglabilă în gama 0÷50 kV, un separator și un kilovoltmetru electrostatic.



**Fig. 3** – Montajul pentru încercare cu tensiune înaltă continuă

Pentru ridicarea caracteristicii de autodescărcare se vor parcurge următoarele etape:

- se va realiza montajul experimental prezentat în figura 3, conectând o fază a cablului testat la sursa de tensiune de încercare, celelalte două faze fiind legate la pământ;
- din pupitrul de comandă al sursei de tensiune de încercare se va comanda creșterea tensiunii aplicate până la valoarea de 30 kV;
- din momentul atingerii tensiunii de 30 kV se va deschide separatorul *S* din montaj, sarcinile electrice disipându-se numai pe izolația fazei testate;
- măsurarea tensiunii remanente se face la fiecare 30 de secunde, pe o durată de 5 minute, scăderea tensiunii fiind urmărită pe kV-metrul electrostatic din circuit. Un detaliu grafic al acestuia este prezentat în figura 4;

**Fig. 4** – kV-metru electrostatic utilizat pentru măsurarea tensiunii remanente pe izolația cablului



- după terminarea măsurătorilor se va descărca sarcina reziduală de pe faza testată cu ajutorul scurtcircuitului mobil din instalație, după care aceasta va fi legată la pământ pentru un timp de 1-2 minute, asigurându-se în acest fel descărcarea completă;

- se reiau operațiunile descrise pentru a testa, în mod succesiv, și celelalte două faze ale cablului;
- rezultatele obținute se trec într-un tabel centralizator de genului celui prezentat mai jos:

**Tabelul 2.** Valori măsurate ale tensiunii remanente pe izolația celor 3 faze ale cablului

$U_r$ (kV)	$t$ (s)										
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
R											
S											
T											

Folosind valorile măsurate ale tensiunii remanente din tabelul 2 se va trasa grafic caracteristica de autodescărcare specifică fiecărei faze în parte.