

## **Lucrarea 12 – TRATAREA NEUTRULUI REȚELELOR ELECTRICE DE MEDIE TENSIUNE**

### **1. Noțiuni teoretice**

#### **1.1. Aspecte generale referitoare la modurile de tratare ale neutrului**

Punctul neutru al unei rețele electrice trifazate este punctul comun al părților active ale sursei de tensiune și ale cărui diferențe de potențial, în valori absolute, față de fiecare conductor activ sunt egale, în regim normal de funcționare.

Situația acestuia în raport cu pământul este cunoscută sub denumirea de *mod de tratare a neutrului*, în practică fiind folosite următoarele variante de tratare:

- neutru izolat;
- neutru legat direct la pământ;
- neutru legat direct la pământ prin bobină de stingere (neutru compensat);
- neutru legat direct la pământ printr-o impedanță (rezistență sau inductanță) redusă;
- neutru mixt, tratat prin bobină de stingere și impedanță redusă.

Modul de tratare a neutrului are numeroase consecințe asupra funcționării rețelelor electrice atât în regim normal, dar mai ales în regim de defect monofazat, influențând, de o manieră decisivă, valorile supratensiunilor tranzitorii și staționare, respectiv ale curenților de defect care apar.

Astfel, mărimea supratensiunilor în regim de defect monofazat este importantă pentru:

- alegerea nivelului de izolației al rețelei;
- alegerea descărcătoarelor pentru protecția la supratensiuni de trăsnet și comutație.

Mărimea supracurenților în regim de defect monofazat are o gamă mai largă de influențe, precum cele asupra:

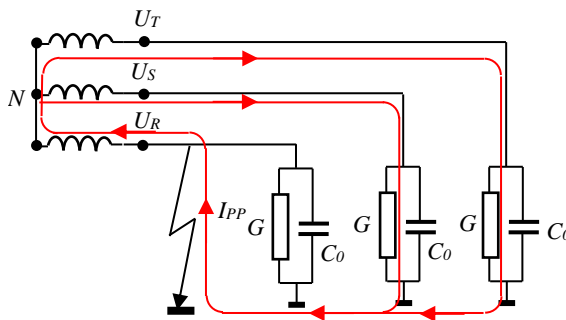
- modului de detectare a defectului, a sensibilității și selectivității protecțiilor;
- continuității în alimentare a consumatorilor;
- solicitărilor termice și electrodinamice a echipamentelor rețelei;

- potențialelor prizelor de pământ parcurse de curentul de defect;
- tensiunilor induse în liniile de telecomunicații prin fir, care au trasee paralele cu liniile rețelei electrice.

În rețelele de medie tensiune din România se utilizează în special legarea neutrului la pământ prin bobină de stingere, respectiv printr-o impedanță redusă, utilizarea neutrului izolat fiind foarte restrânsă, în timp ce metoda legării directe la pământ nu este folosită deloc. Cele mai folosite moduri vor fi prezentate în detaliu în decursul paragrafelor ce urmează.

## 1.2. Rețele electrice cu neutru izolat

Într-o rețea electrică ce funcționează cu neutru izolat în raportul cu pământul, defectul de izolație al unei faze poartă denumirea de simplă punere la pământ. Apariția unui astfel de defect face ca prin locul defectului și prin faza defectă până la sursă să circule numai curentul de punere la pământ al liniilor rețelei, așa cum se poate observa și din figura 1.



**Fig. 1** – Circulația curentului de punere la pământ într-o rețea cu neutru izolat

Curentului de punere la pământ al liniilor rețelei are două componente, una activă și una capacitivă, care depind de valorile conductanțelor și capacităților transversale ale liniei, intensitatea acestuia putându-se determina conform expresiei de mai jos:

$$\underline{I}_{pp} = (\underline{U}_S - \underline{U}_R)(G + j\omega C_0) + (\underline{U}_T - \underline{U}_R)(G + j\omega C_0) = -3U_{f-p}(G + j\omega C_0). \quad (1)$$

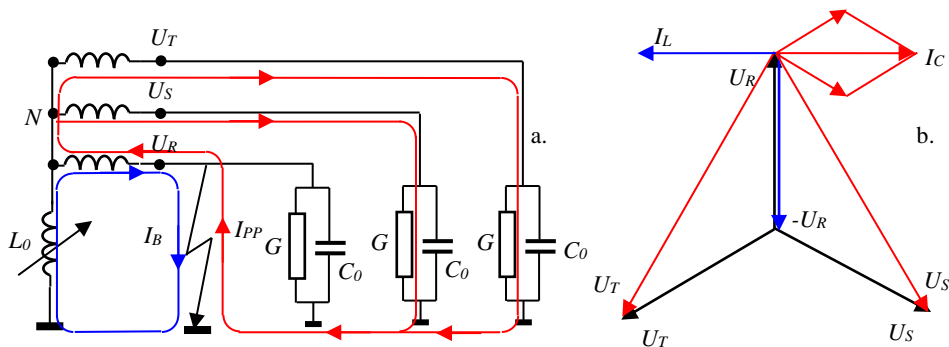
O primă consecință a apariției defectului monofazat de izolație o reprezintă căderea tensiunii la zero pe faza cu defect (în cazul unui defect metalic,  $R_{def} = 0$ ) și creșterea tensiunii pe fazele sănătoase de la valoarea tensiunii de fază la valoarea tensiunii de linie ( $U_l = \sqrt{3} U_f$ ). În același timp tensiunile dintre faze și curenții de sarcină nu sunt afectați, astfel încât rețeaua poate fi exploatată în continuare chiar în condițiile existenței simplei puneri la pământ.

În cazul în care defectul de izolație se produce prin arc electric, iar intensitatea curentului de punere la pământ este mai mare de 10 A, atunci arderea arcului electric este intermitentă, acesta stingându-se la trecerea curentului prin zero și reaprinzându-se ulterior, odată cu creșterea curentului. Acest regim de stingeri și aprinderi repetate conduce la apariția unor supratensiuni pe fazele sănătoase de până la  $3,5 \div 4 U_f$ , situație în care defectul de izolație, inițial monofazat, se transformă în defect polifazat, rețeaua nemaiputând fi exploatată în aceste condiții.

Astfel, pentru a menține intensitatea curentului de punere la pământ sub valoarea de 10 A, la care arcul electric nu se mai re-aprinde după prima trecere prin zero a curentului și deci nu apar supratensiuni periculoase, este necesar ca rețelele ce utilizează neutrul izolat să aibă o extindere deosebit de limitată. Din acest motiv utilizarea acestui mod de tratare a neutrului este foarte puțin folosită.

### 1.3. Tratarea neutrului cu bobină de stingere

Utilizarea acestei metode presupune conectarea unei inductanțe reglabile între punctul neutru și pământ, așa cum se poate observa și din figura 2. Această inductanță mai este denumită și bobină de stingere datorită efectului de a permite autostingerea arcului electric de defect, dacă este corect reglată.



**Fig. 2** – Compensarea curentului capacitiv de punere la pământ cu ajutorul bobinei de stingere: a) schema electrică; b) diagrama vectorială.

În cazul unui defect monofazat la pământ, prin locul defectului circulă suma curenților de punere la pământ a fazelor sănătoase (având o componentă activă datorată conductanței izolației și o componentă capacitivă datorată capacității fazelor față de pământ) și curentul bobinei de stingere (format dintr-o componentă activă datorată pierderilor din cupru și din fier și o componentă inductivă corespunzătoare inductanței

bobinei) care este supusă tensiunii fază – pământ a fazei defecte (figura 2, a). Conform diagramei vectoriale din figura 2, b, curenții inductiv și capacitiv care circulă prin locul defectului sunt în opoziție de fază, astfel încât dacă aceste componente sunt egale în modul prin locul defectului circulă numai un curent rezidual activ.

Curentul care circulă prin bobina de stingere are expresia:

$$\underline{I}_b = \frac{\underline{U}_R}{R_0 + j\omega L_0} = U_{f-p} \frac{R_0 - j\omega L_0}{R_0^2 + (\omega L_0)^2} \approx U_{f-p} \left( \frac{R_0}{(\omega L_0)^2} - j \frac{1}{\omega L_0} \right). \quad (2)$$

Curentul rezidual circulă pe faza defectă între locul defectului și sursă ca și către pământ, având expresia:

$$\underline{I}_{rez} = \underline{I}_b - \underline{I}_{pp} = I_a + j(I_C - I_L) = I_C [\delta + j(1-q)], \quad (3)$$

unde:

$$I_a = U_{f-p} \left[ 3G + \frac{R_0}{(\omega L_0)^2} \right], \quad I_C = 3\omega C_0 U_{f-p}, \quad (4)$$

$$I_L = \frac{U_{f-p}}{\omega L_0}, \quad \delta = \frac{I_a}{I_C}; \quad q = \frac{I_L}{I_C} = \frac{1}{3\omega^2 L_0 C_0}. \quad (5)$$

$\delta$  este numit factor de amortizare, iar  $q$  este gradul de acordare al bobinei

Intensitatea curentului rezidual se poate determina cu expresia:

$$I_{rez} = I_C \sqrt{\delta^2 + (1-q)^2} \quad (6)$$

În cazul acordului perfect al bobinei de stingere,  $q = 1$ , curentul de punere la pământ are valoarea minimă,  $I_{rez} = I_a$ .

Tensiunea pe fazele sănătoase față de pământ devine egală cu tensiunea de linie, ceea ce constituie supratensiunea temporară în regim staționar de defect. În regimul tranzitoriu de defect supratensiunea poate fi mai mare, în funcție de modul de producere a defectului: metalic sau prin arc electric intermitent. Durata supratensiunilor temporare poate fi limitată prin acordarea la rezonanță a bobinei de stingere, datorită auto-eliminării defectelor care au loc prin arc electric. Posibilitățile de stingere ale arcului electric de defect, fiind mai mari în rețelele aeriene, bobina de stingere este mult mai eficace în aceste rețele.

În regim normal de funcționare a rețelelor cu bobină de stingere, între punctul neutru și pământ există o tensiune, tensiunea de deplasare a neutrului, a cărei mărime

depinde de gradul de acordare al bobinei, de nesimetria admitanțelor fazelor rețelei față de pământ ca și de nesimetria sistemului tensiunilor de fază ale sursei de alimentare.

Considerând că tensiunile de alimentare formează un sistem cu succesiune directă, conductanțele izolației pe cele trei faze sunt egale și că, pe faza R, capacitatea față de pământ diferă prin coeficientul  $m$  în raport cu celelalte faze, se obține pentru modulul tensiunii de deplasare a neutrului, expresia:

$$U_N = \frac{m-1}{\sqrt{(3\delta)^2 + (2+m-3q)^2}}. \quad (7)$$

Tensiunea de deplasare a neutrului este maximă în pentru  $q=(2+m)/3$ , ceea ce corespunde compensării perfecte a curentului capacitiv într-o rețea cu nesimetrie naturală de capacități față de pământ exprimată prin factorul  $m$ .

Din acest motiv exploatarea bobinelor de stingere nu se face niciodată la o compensare totală, ci se practică un reglaj în sensul supra-compensării sau sub-compensării, cu 10-15%, a curentului capacitiv. Astfel se menține posibilitatea stingerii arcului electric de defect după prima trecere prin zero a curentului, și se evită, de asemenea, apariția unei tensiuni de deplasare a neutrului maxime.

Această metodă are eficiența maximă în cazul rețelelor aeriene, dar se utilizează și în rețelele subterane de dimensiuni mici.

#### 1.4. Tratarea neutrului cu impedanță redusă

Procedeul de tratare a neutrului cu bobină de stingere se dovedește mai puțin eficient în anumite situații, precum:

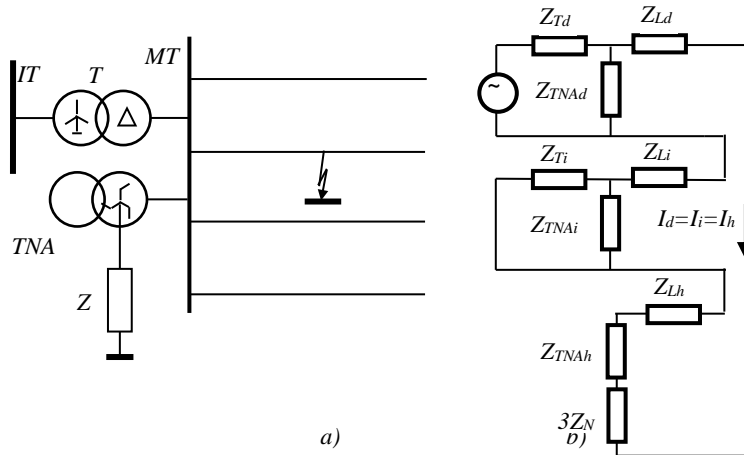
- în rețelele foarte întinse, având valoare mare a componentei active a curentului de defect;
- în rețelele subterane în care auto-stingerea arcului electric în izolația solidă este nesigură;
- în rețelele cu consumatori deformați datorită cărora curentul rezidual de defect este important și conține armonici superioare.

În aceste cazuri se recomandă legarea la pământ a neutrului printr-o impedanță care limitează mărimea curentului de scurtcircuit monofazat fără a afecta sensibilitatea protecțiilor prin relee destinate separării zonei cu defect.

Dimensionarea impedanței reduse pornește de la valoarea curentului de scurtcircuit monofazat maxim admisibil în rețea, aceasta fiind de maxim 300 A în rețelele aeriene, respectiv de maxim 600 A în cele subterane. Folosind metoda de calcul

cu ajutorul componentelor simetrice, schemei monofilare a unei rețele de distribuție de medie tensiune (figura 3, a) îi va corespunde o schema echivalentă din figura 3, b. În această schemă, indicii  $d$ ,  $i$  și  $h$  corespund componentelor directă, inversă și homopolară pentru mărimile electrice ale schemei trifazate.

Impedanțele liniei din schema echivalentă corespund liniei pe care s-a produs defectul monofazat, până la locul defectului.



**Fig. 3** – Scurtcircuit monofazat într-o rețea cu neutrul tratat prin impedanță redusă  
a)-schema monofilară; b)-schema echivalentă de calcul

Componentele simetrice ale curentului de defect monofazat se determină cu relația:

$$\underline{I}_d = \underline{I}_i = \underline{I}_h = \frac{U_{f-p}}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_i + \underline{Z}_h}, \quad (8)$$

în care  $Z_d$ ,  $Z_i$  și  $Z_h$  sunt impedanțele echivalente ale schemelor de secvență directă, inversă și homopolară în raport cu locul defectului. Curentul de scurtcircuit monofazat are expresia:

$$\underline{I}_{k1} = 3\underline{I}_d = \frac{3U_{f-p}}{2\underline{Z}_d + \underline{Z}_h}, \quad (9)$$

deoarece pentru componentele schemei este valabilă egalitatea  $\underline{Z}_d = \underline{Z}_i$ .

Tensiunile fazelor sănătoase față de pământ la locul defectului, în regim staționar de defect, se calculează cu relația:

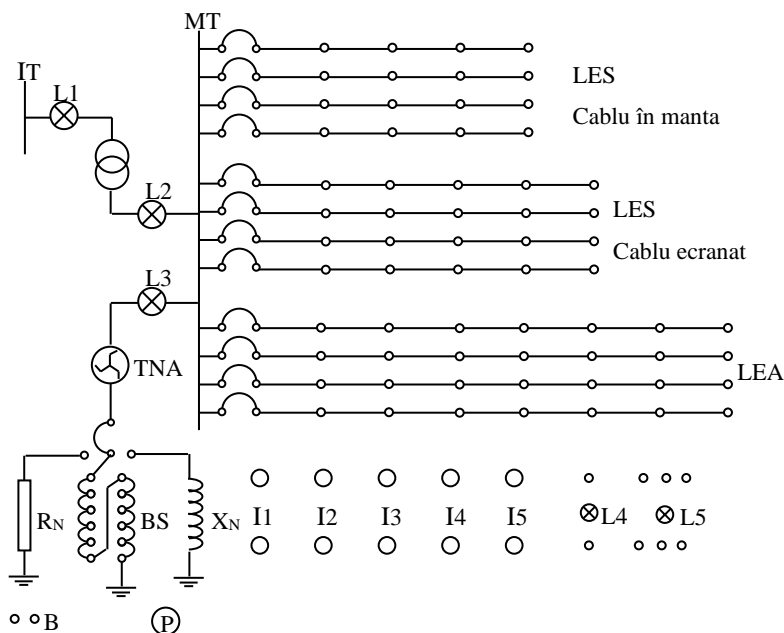
$$\underline{U}_{S,T} = U_{f-p} \left[ \frac{-3\underline{Z}_h}{2(2\underline{Z}_d + \underline{Z}_h)} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \right]. \quad (10)$$

## 2. Determinări analitice și experimentale

Lucrarea de laborator are ca principal obiectiv analiza influenței modului de tratare a neutrului asupra comportamentului unei rețele de medie tensiune de 20 kV în cazul apariției unor defecte de izolație. În acest scop se va considera un model fizic la scară al rețelei de distribuție, ce va fi prezentat în detaliu în paragraful următor.

### 2.1. Modelul fizic al rețelei de distribuție 20 kV

Studiul modurilor de tratare a neutrului rețelelor de distribuție se va efectua pe un model fizic de rețea de 20 kV, având schema monofilară asemănătoare cu aceea din figura 3,a, cuprinzând 3 linii de tip constructiv diferit. Panoul frontal al modelului are aspectul prezentat în figura 4.



**Fig. 4** – Modelul de rețea de medie tensiune, panoul frontal:

$L_1-L_5$  – lămpi de semnalizare a închiderii întrerupătoarelor  $I_1-I_5$ ;  $R_N$ ,  $X_N$ ,  $BS$  – elementele de tratare a neutrului;  $BM$  – borne de măsură a curentului de comandă a modelului de bobină de stingere;  $P$  – potențiometrul pentru modificarea curentului de comandă a modelului de bobină de stingere.

Alimentarea rețelei de distribuție este realizată printr-un transformator IT/MT având grupa de conexiuni Yd-5. Neutrul rețelei este creat cu un transformator de neutru artificial, având pe partea de medie tensiune înfășurarea conectată în Z.

Determinarea scărilor de modelare a componentelor, ca și ale curentului și tensiunii, se face pornind de la relația de calcul a curentului capacitiv de punere la pământ (4). Alegând scara unitară de modelare pentru timp (frecvența pe model este aceeași ca în rețeaua reală), iar scara de modelare a capacităților  $m_C = 5$  (pentru a obține curenți capacitivi măsurabili cu precizie bună), rezultă

$$m_I = 5m_U. \tag{11}$$

Pentru reactanțe (și rezistențe) se obține:

$$m_R = m_X = \frac{1}{m_C} = \frac{1}{5}. \tag{12}$$

Întrucât componentele modelului pot fi considerate lineare în raport cu tensiunea aplicată, rămâne arbitrară alegerea scării de modelare a tensiunii pe model.

Parametrii liniilor electrice reale și modelate ca și schemele de principiu ale multipolilor modelului sunt date în tabelul 1.

**Tabelul 1.** Parametrii și schemele liniilor de medie tensiune modelate

Parametrul		Linia modelată					
		LEA 20 kV - aeriană (70 km – 7 multipoli)		LEA 20 kV – cablu în manta (7,56 km – 4 multipoli)		LEA 20 kV – cablu ecranat (5,4 km – 5 multipoli)	
		<i>reală</i>	<i>modelată</i>	<i>reală</i>	<i>modelată</i>	<i>reală</i>	<i>modelată</i>
$R$ ( $\Omega$ /km), ( $\Omega$ /multipol)	$R_d$	0,432	0,864	0,253	0,0759	0,253	0,055
	$R_h$	1,94	2,388	1,95	0,595	1,95	0,422
	$R_N$	-	0,508	-	0,170	-	0,122
$L$ (mH/km), (mH/multipol)	$L_d$	1,639	3,278	0,385	0,115	0,35	0,076
	$L_h$	5,08	10,16	0,024	0,227	0,84	0,18
	$L_N$	-	2,294	-	0,054	-	0,035
$C$ (nF/km), ( $\mu$ F/multipol)	$C_1$	3,78	0,189	180	1,7	405	2,19
	$C_2$	3,307	0,165	180	1,7	405	2,19
	$C_3$	3,78	0,189	180	1,7	405	2,19
	$C_{12}$	1,88	0,094	35	0,33	-	-
	$C_{23}$	1,88	0,094	35	0,33	-	-
	$C_{31}$	0,90	0,045	35	0,33	-	-
Schema electrică echivalentă							



Modelele transformatoarelor au grupa de conexiuni identică cu cea a transformatoarelor reale, iar parametrii reduși, folosind scările de modelare alese. Liniile electrice sunt reprezentate prin multipoli cu câte 4 borne de intrare și de ieșire pentru a se ține seama de deosebirile dintre parametrii de secvență directă și homopolară.

Parametrii transformatoarelor din rețeaua reală sunt:

- transformatorul IT/MT:  $S_n = 10 \text{ MVA}$ ,  $U_n = 110/20 \text{ kV}$ ,  $U_k = 10\%$ ,  $P_k = 100 \text{ kW}$ ;
- transformatorul de neutru artificial:  $S_n = 630 \text{ kVA}$ ,  $U_n = 20/0,4 \text{ kV}$ ,  $U_k = 6\%$ ,  $P_k = 10 \text{ kW}$ .

Bobina de stingere este realizată ca inductanță variabilă, combinând reglajul în trepte (cu ajutorul prizelor bobinajului) cu reglajul continuu (folosind premagnetizarea în curent continuu). Schema de principiu a modelului bobinei de stingere este prezentată în figura 5, iar în figura 6 este prezentat modul de variație a inductanței bobinei de stingere în funcție de mărimea curentului de comandă.

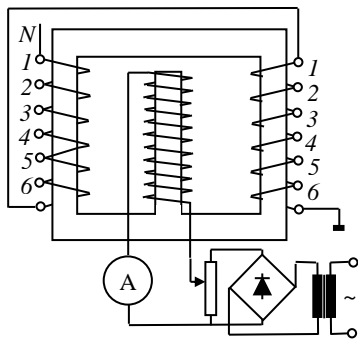


Fig. 5 – Schema de principiu a modelului bobinei de stingere

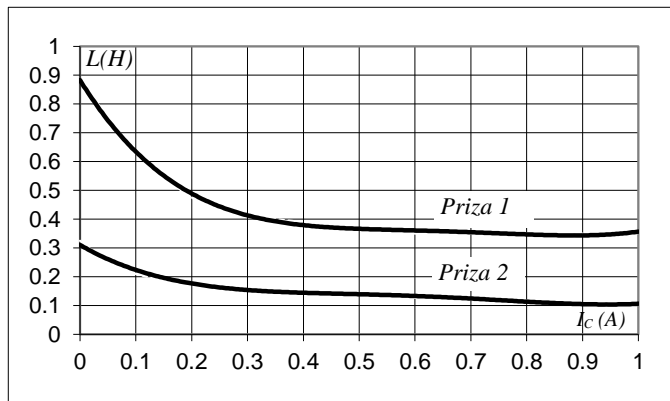


Fig. 6 – Inductanța bobinei de stingere în funcție de mărimea curentului de comandă

Punerea în funcțiune a modelului se face conform următoarelor indicații:

- se realizează alimentarea modelului prin racordarea la rețea a celor două cordoane de alimentare, trifazat și monofazat;
- prin închiderea întrerupătoarelor  $I_1$  și  $I_2$  se aduce tensiunea la șirul de borne care modelează barele de medie tensiune (fiecare întrerupător este acționat prin două butoane de comandă dispuse pe verticală, cel de sus comandând anclanșarea, iar cel de jos, declanșarea);
- se racordează la bare liniile modelului utilizând o serie de conectori mobili;

- prin intermediul întrerupătorului  $I_3$  se conectează la bare transformatorul de neutru artificial (TNA). La borna de neutru a TNA se poate conecta elementul de tratare a neutrilor ales (stânga  $R_N$ , mijloc BS, dreapta  $X_N$ );
- pentru utilizarea BS se va racorda la bornele de măsură un ampermetru de curent continuu cu domeniul de măsură 0-1 A;
- pentru simularea unor defecte nesimetrice în rețea se vor utiliza întrerupătoarele  $I_4$  și  $I_5$ .

## 2.2. Modul de lucru

Partea aplicativă a prezentei lucrări de laborator își propune să investigheze comportamentul rețelei de medie tensiune considerate la apariția unor defecte de izolație, ținând cont de modul în care este tratat punctul neutru al rețelei.

### a. Analiza comportării rețelei având neutrul izolat

În cadrul acestui punct se propun următoarele:

- *determinarea analitică a curenților de punere la pământ ai fiecărei linii, respectiv a întregii rețele reale considerate;*
- *determinarea experimentală a curenților de punere la pământ ai fiecărei linii, respectiv a întregii rețele reale considerate;*
- *măsurarea pe modelul rețelei a valorilor tensiunilor de fază și de linie, în diferite puncte din rețea, atât în regim normal de funcționare, cât și în regim de defect.*

Astfel, mai întâi, se vor calcula curenții capacitivi de punere la pământ corespunzători fiecărei linii din rețeaua reală cu ajutorul relației (4) și a capacităților fază-pământ din tabelul 1.

Pentru determinarea experimentală a parametrilor considerați se va proceda după cum urmează:

- liniile modelului se vor conecta succesiv la sistemul de bare prin intermediul unor conectori, așa cum este sugerat și în reprezentarea din figura 4;
- se realizează alimentarea modelului prin racordarea la rețea a celor două cordoane de alimentare, trifazat și monofazat și se aplică tensiunea prin întrerupătoarele  $I_1$  și  $I_2$ ;
- se va simula un defect monofazat, legând la pământ o fază a liniei prin contactul întrerupătorului  $I_4$  în serie cu un ampermetru de curent alternativ cu domeniul de măsurare 0-1 A, măsurând astfel curentul de punere la pământ;
- se măsoară tensiunile de fază și de linie în diferite puncte ale rețelei, în regim normal și în regim de defect monofazat, observând modificările provocate de către defect.

Valorile măsurate ale curentului de punere la pământ și ale tensiunilor de fază și de linie se vor nota într-un tabel întocmit conform modelului prezentat în tabelul 2.

**Tabelul 2.** Rezultate experimentale pentru analiza rețelei cu neutrul izolat

Parametru măsurat	Cazul analizat							
	LEA 20 kV		LEC 20 kV (cablu în manta)		LEC 20 kV (cablu ecranat)		Întreaga rețea	
	Reg. normal	Reg. defect	Reg. normal	Reg. defect	Reg. normal	Reg. defect	Reg. normal	Reg. defect
$U_R$								
$U_S$								
$U_T$								
$U_{R-S}$								
$U_{S-T}$								
$U_{T-R}$								
$I_{pp}$								

Se vor compara valorile curentului de punere la pământ măsurate pe model cu acelea calculate pentru rețeaua reală, folosind definiția scării de modelare a curentului:

$$m_I = \frac{I_{model}}{I_{real}} . \quad (13)$$

Scara de modelare a curentului se va determina cu relația (11), cunoscând scara de modelare a tensiunii, care se determină măsurând tensiunea pe model:

$$m_u = \frac{U_{model}}{20 \cdot 10^3} \quad (14)$$

*b. Analiza comportării rețelei în condițiile tratării neutrului prin bobină de stingere*

Analiza comportării rețelei în cazul tratării neutrului prin bobină de stingere vizează atât regimul normal de funcționare, precum și cel de defect. Obiectivele urmărite sunt:

- *trasarea curbei tensiunii de deplasare a neutrului în funcție de gradul de acordare a bobinei de stingere,  $U_N=f(q)$  – în regimul normal de funcționare al rețelei;*
- *trasarea curbei curentului de punere la pământ în funcție de gradul de acordare a bobinei de stingere,  $I_{rez}=f(q)$  – în regimul de simplă punere la pământ a rețelei;*
- *măsurarea tensiunilor de fază și de linie din rețea – în regim de defect monofazat.*

În acest scop se parcurg următorii pași:

- se vor conecta toate cele trei linii la sistemul de bare, modelul fiind alimentat conform indicațiilor precizate la punctul anterior;
- în regim normal de funcționare se va măsura tensiunea pe bobina de stingere pentru diferite valori ale inductanței acesteia. Valorile inductanței se determină din figura 6 pentru fiecare valoare a curentului de comandă,  $I_{com}$ , și priza fiecare utilizată. Gradul de acordare  $q$  se calculează cu relația (5), în care  $C_0$  este capacitatea fază-pământ a întregii rețele (suma capacităților fază-pământ a liniilor rețelei).
- folosind valorile măsurate anterior se va trasa curba  $U_N=f(q)$ ;
- în regim de punere la pământ monofazată în rețea se va măsura curentul de punere la pământ pentru diferite valori ale inductanței bobinei de stingere, iar gradului de acordare  $q$  se va calcula, ca mai sus;
- se va trasa curba  $I_{rez}=f(q)$ , utilizând valorile măsurate anterior ale curentului;
- se vor măsura tensiunile de fază și de linie în rețea în regim de defect monofazat, în diferite puncte din rețea, comparând rezultatele cu acelea obținute pentru neutrul izolat.

Valorile calculate ale gradului de acordare al bobinei de stingere, precum și valorile măsurate ale tensiunii de deplasare a neutrului, respectiv ale curentului rezidual de punere la pământ se vor nota într-un tabel întocmit conform modelului prezentat mai jos.

**Tabelul 3.** Rezultate experimentale pentru cazul rețelei cu neutrul tratat prin bobină de stingere

Priza bobinei	$I_{com}$ (A)	$L$ (H)	$q$	$U_N$ (V)	$I_{rez}$ (A)
1	0				
	0,1				
	....				
	1				
2	0				
	0,1				
	....				
	1				

*c. Analiza comportării rețelei în condițiile tratării neutrului prin impedanță redusă*

Pentru situația în care punctul neutru al rețelei considerate este tratat prin impedanță redusă se propune mai întâi determinarea analitică a rezistenței  $R_N$ , respectiv

a reactanței inductive  $X_N$  de legare la pământ a punctului neutru, pentru a obține o limitare a curentului de scurtcircuit monofazat la 300 A.

În acest scop se va utiliza expresia de calcul (3), considerând că în schema monofilară din figura 3.a, defectul are loc pe barele de medie tensiune (situație în care mărimea curentului de defect este maximă). Ca urmare, în schema de calcul din figura 3.b, nu mai intervin impedanțele liniei. Parametrii transformatoarelor se calculează cu relațiile:

$$X_T = \frac{U_k(\%)}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (\Omega), \quad U_n \text{ (kV)}, \quad S_n \text{ (MVA)}; \quad (15)$$

$$R_T = P_{sc} \frac{U_n^2}{S_n^2} 10^{-3} \quad (\Omega), \quad P_{sc} \text{ (kW)}, \quad U_n \text{ (kV)}, \quad S_n \text{ (MVA)}. \quad (16)$$

De asemenea, se va calcula valoarea supratensiunilor pe fazele sănătoase ale rețelei, în regim staționar de defect, folosind relația (10).

Pe modelul fizic al rețelei se va determina prin măsurare valoarea curentului de scurtcircuit pentru diferite poziții ale defectului monofazat, pe bare sau pe linii. De asemenea, se vor măsura supratensiunile pe fazele sănătoase la locul de defect și în alte locuri din rețea și se vor compara cu valorile calculate. Pașii care trebuie urmați în vederea prelevării datelor experimentale sunt similari celor descriși anterior.

Valorile obținute prin măsurare se vor nota într-un tabel întocmit conform modelului prezentat mai jos.

**Tabelul 4.** Rezultate experimentale pentru cazul rețelei cu neutrul tratat cu impedanță redusă

Parametru	Cazul analizat - LEA 20 kV / LEC 20 kV (manta și ecranat)					
	Cuadripolul considerat					
	1	2	3	4	5	7
$I_{sc}$						
$U_S$						
$U_T$						