

## Laboratorul numărul 11

### Cuplarea și funcționarea în paralel a transformatoarelor

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel atunci când au bornele primare sunt conectat la aceeași sursă de tensiune iar bornele secundare sunt conectate la aceeași rețea de alimentare a unui consumator de tensiune  $U_2$ .

Cuplarea în paralel a mai multor transformatoare se justifică în cazul surselor ce alimentează receptoare care se dezvoltă într-un timp mai îndelungat sau în cazul necesității asigurării unei rezerve pentru receptoarele cu funcționare continuă.

În general, se cuplează în paralel transformatoare care au același număr de faze (monofazate – și trifazate Fig.1).

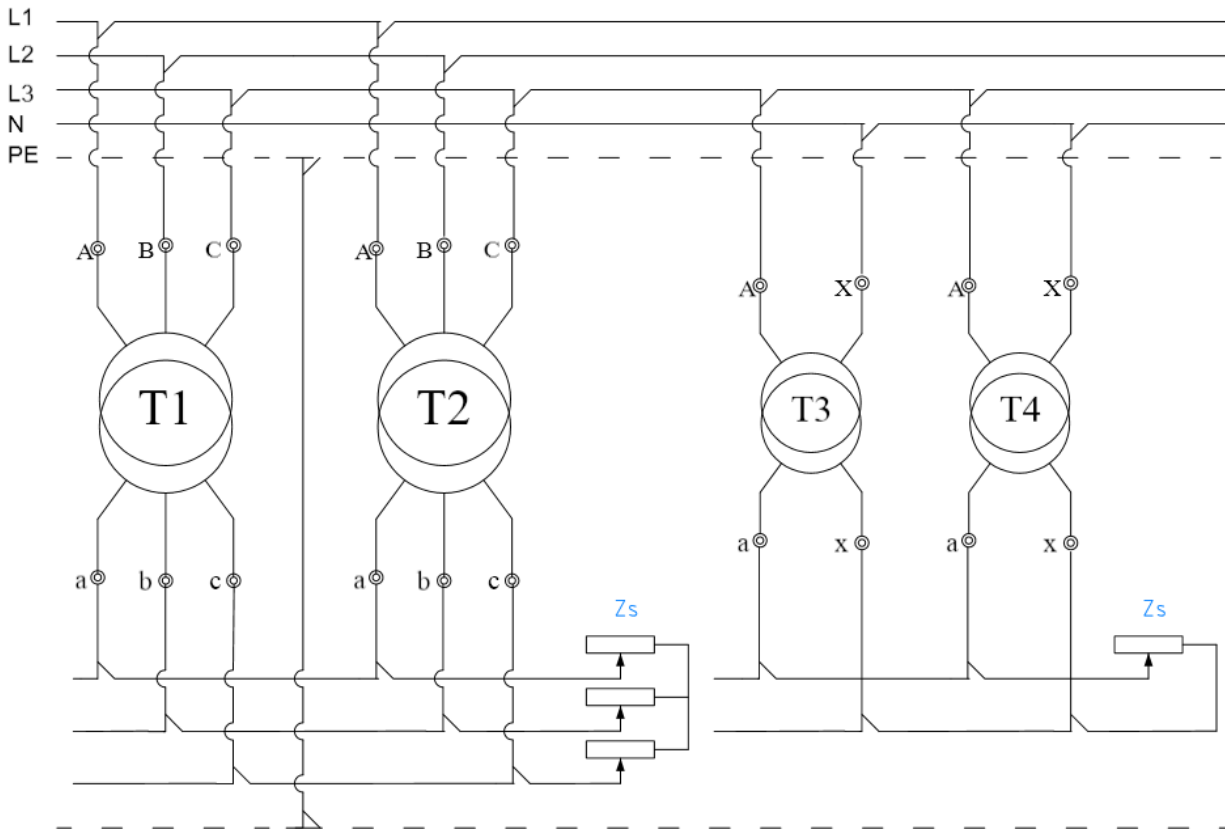


Fig. 1. Cuplarea în paralel a transformatoarelor trifazate respectiv monofazate

Cazurile cele mai frecvente de cuplare în paralel a mai multor transformatoare se întâlnesc în stațiile electrice de transformare care alimentează receptoare ce se dezvoltă treptat, în mai mulți ani, ca putere cerută. În aceste cazuri apare necesitatea înzestrării treptate a stației cu unitățile

*necesare, pe măsura dezvoltării receptorului deservit de stație. Se rezolvă în acest fel, problema asigurării continuității cu energie electrică a receptorului deoarece, la defectarea unei unități transformatorice celelalte pot suporta, total sau parțial, pentru o perioadă predeterminată, întreaga sarcină*

*De asemenea, în scopul reducerii pierderilor de energie și a utilizării transformatoarelor cu un randament maxim, în cazul unor sarcini reduse pe anumite perioade ale zilei sau ale anului, există posibilitatea scoaterii din funcție a uneia sau a mai multor unități cuplate în paralel.*

*Problema de bază care apare la funcționarea în paralel a mai multor transformatoare este aceea a asigurării unei repartiții uniforme între transformatoare a puterii cerute de receptor. La conectarea în paralel a unor transformatoare identice ca putere și construcție această condiție este realizată de la sine. În practică apar situații de cuplare în paralel a unor transformatoare diferite ca putere și construcție, astfel încât trebuie puse în evidență particularitățile acestor cazuri. Pentru ca transformatoarele cuplate în paralel să funcționeze normal este necesară îndeplinirea a două condiții cu caracter general:*

- 1. La funcționarea în gol să nu apară curenți de circulație prin înfășurările secundare ale transformatoarelor. Acești curenți produc pierderi importante în transformatoare și limitează puterea acestora.*
- 2. La funcționarea în sarcină fiecare din transformatoarele cuplate în paralel trebuie să se încarce cu o putere proporțională, cu puterea lui nominală, iar curenții secundari ai transformatoarelor să se sumeze algebric (să fie în fază).*

*Dacă transformatoarele cuplate în paralel nu participă la sarcina finală cu puteri proporționale cu puterile lor nominale, apare situația când în unul dintre transformatoare se atinge curentul nominal iar în celelalte se stabilesc încărcări de suprasarcini. De asemenea, dacă curenții secundari ai transformatoarelor nu sunt în fază atunci curentul de sarcină total este mai mic decât suma algebrică a acestora. În acest caz rețeaua receptoare nu mai poate fi încărcată cu suma puterilor nominale ale transformatoarelor cuplate decât în situația unei supraîncărcări a acestora.*

*Realizarea acestor condiții generale impune o serie de condiții concrete pe care trebuie să le îndeplinească fiecare transformator în parte pentru a obține o funcționare corectă atunci când sunt cuplate în paralel.*

*La funcționarea în gol înfășurările secundare nu vor fi străbătute de curenți de circulație dacă tensiunile electromotoare induse sunt egale și în fază. Realizarea acestui fapt are loc atunci când fiecare din transformatoarele cuplate în paralel respectă următoarele condiții:*

- 1. Steaua fazorilor tensiunilor secundare a fiecărui transformator ocupă aceeași poziție față de steaua fazorilor tensiunilor primare. Pentru transformatoarele monofazate acest lucru este realizat dacă bornele transformatoarelor sunt conectate la bare în aceeași*

ordine, în cazul transformatoarelor trifazate condiția este realizată dacă transformatoarele fac parte din aceeași grupă de conexiuni; Această condiție asigură faptul ca t.e.m. induse să fie în fază;

2. Transformatoarele trebuie să aibă același raport de transformare pentru a asigura egalitatea tensiunilor induse. La funcționarea în sarcină curentul secundar al transformatoarelor se va repartiza proporțional cu puterile lor nominale dacă impedanțele ce produc căderi de tensiune sunt în raport de inversă proporționalitate cu puterile nominale ale transformatoarelor. Acest lucru se obține când tensiunile nominale de scurtcircuit ale transformatoarelor sunt egale.

Curenții secundari vor fi în fază și se vor suma algebric dacă raportul dintre rezistența și reactanța de scăpări pentru fiecare transformator în parte va fi același. Cu alte cuvinte, în triunghiurile de scurtcircuit unghiul  $\varphi_{sc}$  trebuie să fie același.

Realizarea practică a acestor condiții nu se poate face riguros încât sunt permise prin norme abateri în limite prestabilite. Din această cauză, având în vedere aceste abateri, se mai impune o condiție suplimentară referitoare la faptul că raportul puterilor nominale ale transformatoarelor conectate în paralel să fie de  $1/3$  maxim  $1/4$ .

În concluzie, pentru o bună comportare a transformatoarelor la funcționarea în paralel este necesară respectarea următoarelor

- \* transformatoarele să aibă același raport de transformare;
- \* transformatoarele să facă parte din aceeași grupă de conexiuni;
- \* transformatoarele să aibă tensiunile de scurtcircuit egale ca modul și fază;
- \* puterile nominale ale transformatoarelor să fie în raport de  $1/3$  maxim  $1/4$ .

Conform normativelor, sunt admise abateri pentru rapoartele de transformare în limita  $\pm 0,5\%$ , iar pentru tensiunile de scurtcircuit de  $\pm 10\%$ . Odată admise aceste toleranțe rezultă că o funcționare normală a transformatoarelor cuplate în paralel este îndeplinită dacă puterile lor nominale sunt într-un raport mai mic de  $1/4$ .

### *Procedeu experimental*

#### **Cuplarea în paralel a două transformatoare monofazate.**

Se realizează schema electrică de cuplare în paralel a două transformatoare monofazate (identice), T1, și T2 (Fig.2).



Cu datele obținute, se vor trasa pentru fiecare transformator următoarele caracteristici:  $P_1=f(I_s)$ ;  $I_1=f(I_s)$ ;  $I_2=f(I_s)$  și se vor trage concluziile privind repartizarea sarcinii pe cele două transformatoare.

**Cuplarea în paralel a două transformatoare trifazate.**

Se realizează schema electrică de cuplare a două transformatoare trifazate identice T1 și T2 (Fig.3).

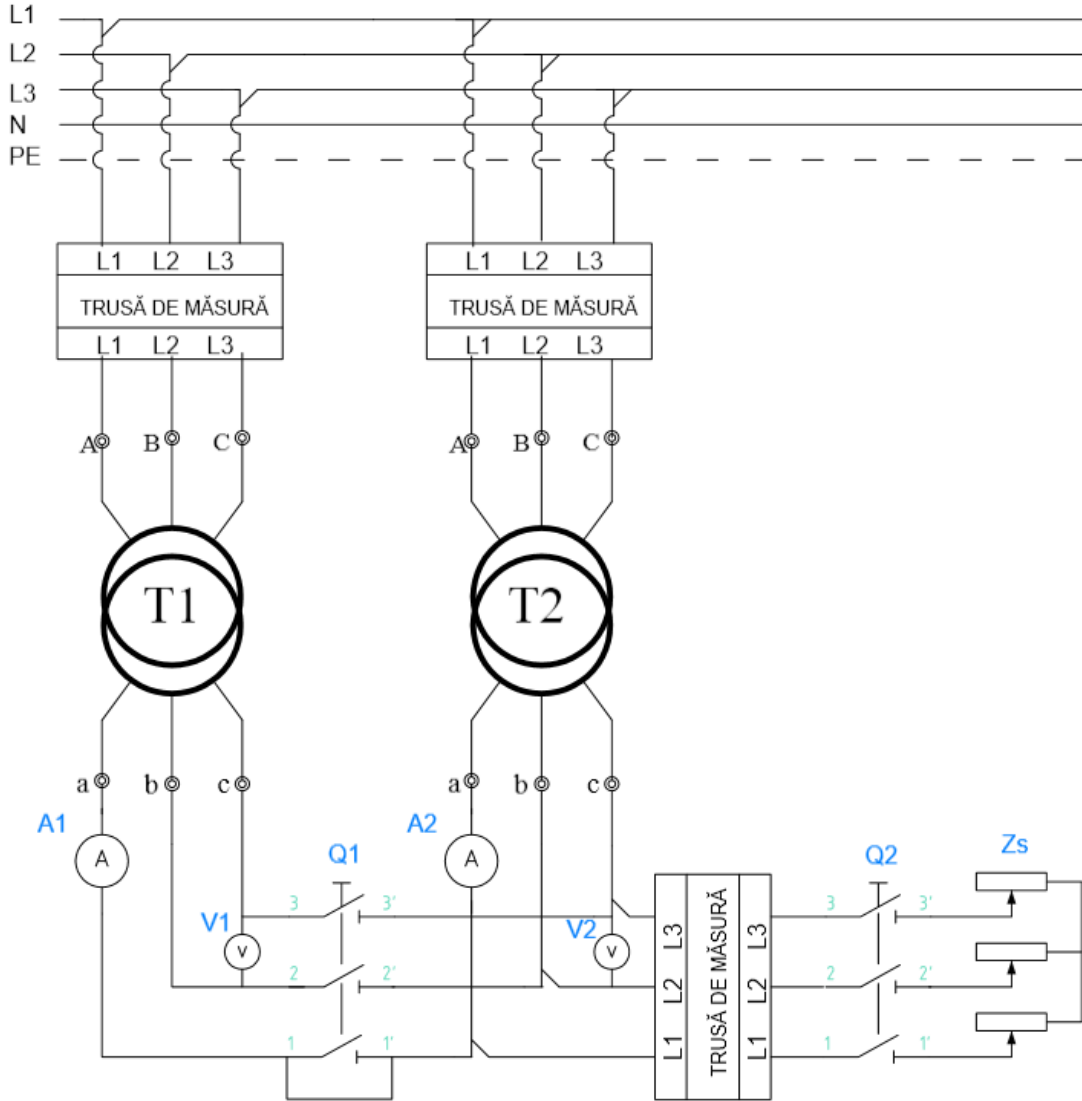


Fig. 3. Schema de cuplare în paralele a transformatoarelor trifazate

Se realizează aceeași conexiune pentru ambele transformatoare. Acestea fiind identice se va verifica doar condiția ca acestea să aparțină aceleiași grupe de conexiuni adică transformatoarele să aibă același raport transformare iar steaua fazorilor tensiunilor

secundare pentru fiecare transformator în parte să ocupe aceeași poziție față de steaua fazurilor tensiunilor primare.

*Observație:* în cazul în care transformatoarele nu sunt identice trebuie verificată și condiția egalității în modul și fază a tensiunilor relative de scurtcircuit prin efectuarea unei încercări de probă la scurtcircuit și construirea triunghiurilor de scurtcircuit pentru fiecare transformator.

- Se cuplează cele două transformatoare la rețeaua de alimentare având întrerupătoarele  $Q_1$  și  $Q_2$  deschise;

- Bornele 1 și 1' de la întrerupătorul de cuplare în paralel  $Q_1$  se aduc la același potențial (prin legătura galvanică 1-1') și se măsoară cu voltmetrul  $V$  tensiunile la perechile de borne 1-2; 1-3; 2-3; 1'-2'; 1'-3'; 2'-3' care trebuie să fie egale.

- Se măsoară tensiunile 2-2' și 3-3'. Dacă acestea sunt nule atunci întrerupătorul  $Q_1$  poate fi închis realizându-se cuplarea la gol a celor două transformatoare.

- Dacă tensiunile măsurate la bornele 2-2' și 3-3' sunt diferite de zero, ambele sau cel puțin una, înseamnă că transformatoarele nu, fac parte din aceeași grupă de conexiuni sau la cuțitele întrerupătorului  $Q_1$  nu au fost legate bornele secundare omoloage ale acestora. În această situație se notează valorile tensiunilor măsurate la bornele 2-2', 3-3', 2-3' și 3-2' și se construiesc triunghiurile tensiunilor compuse secundare ale celor două transformatoare 1-2-3 și 1'-2'-3'.

Pentru aceasta se procedează în felul următor: se construiește un triunghi echilateral ale cărui laturi sunt proporționale cu tensiunile de linie măsurate anterior (1-2, 1-3, etc). Se notează varful acestui triunghi cu 1-2-3 în sens orar.

În continuare, se construiește triunghiul 1'-2'-3' corespunzător secundarului transformatorului  $T_2$ . Deoarece s-a realizat legătura galvanică 1-1' înseamnă că punctele 1 și 1' vor coincide pe diagrama fazorială. Pentru determinarea vârfurilor 2' și 3' se folosesc tensiunile măsurate după cum urmează: proporțional cu tensiunea 2-2' se ia un segment între ghearele unui compas, se fixează vârful acestuia în 2 și se trasează un arc de cerc. Se ia apoi între ghearele compasului un segment proporțional cu tensiunea 3-2', se fixează vârful compasului în 3 și se trasează din nou un arc de cerc. Intersecția celor două arce dă punctul 2'. Se procedează analog și pentru determinarea punctului 3' folosindu-se tensiunile 2-3' și 3-3'. Se trasează apoi triunghiul 1-2'-3'.

Triunghiul tensiunilor 1'-2'-3' în raport cu triunghiul 1-2-3 poate avea diferite poziții urmând ca prin operații corespunzătoare de permutare a bornelor să se realizeze suprapunerea perfectă a celor două triunghiuri.

În figura 4 sunt date eventualele poziții ce pot fi obținute pentru două triunghiuri în cazul în care transformatoarele au grupe diferite de conexiuni.

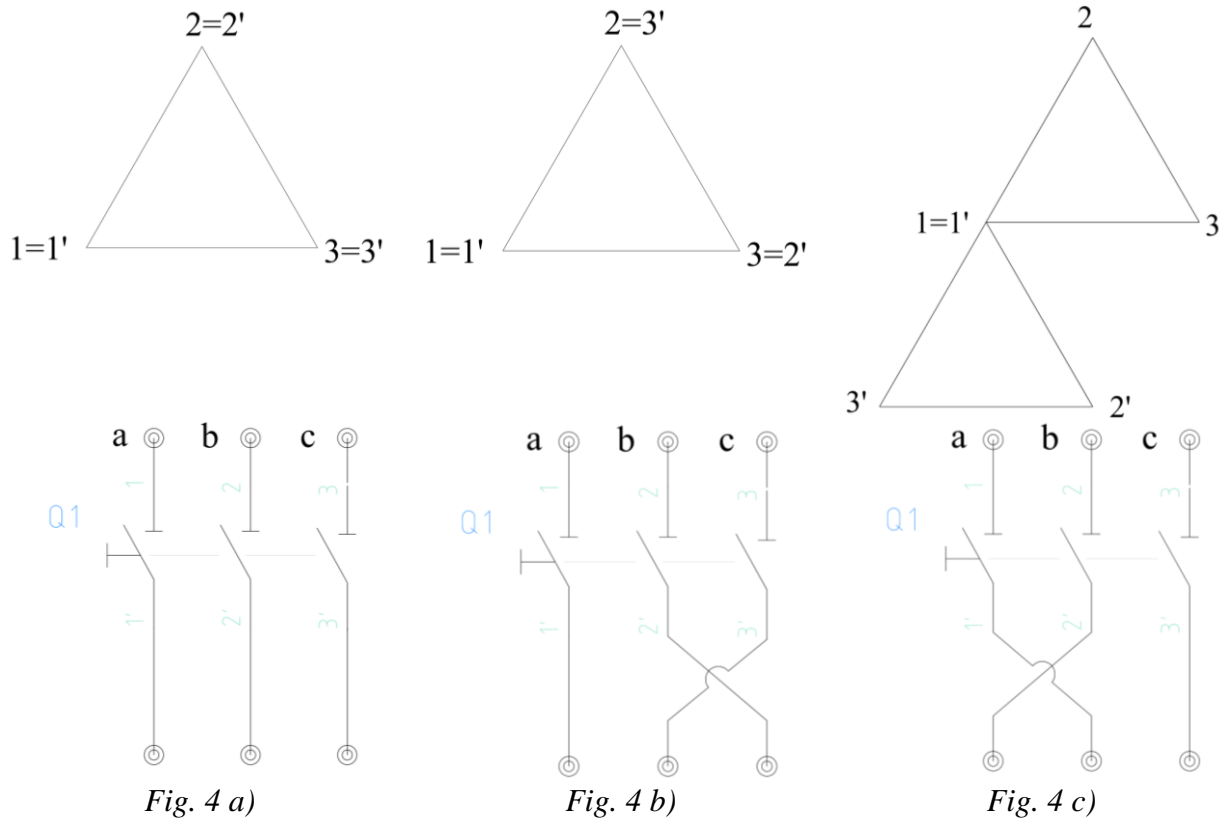
Pentru situația din figura 4.b) ordinea de succesiune a fazelor secundarului transformatorului T2 este inversă față de T1, astfel încât vor schimba între ele legăturile la bornele 2'-3'.

Pentru situația din figura 5.c), pentru a suprapune cele două triunghiuri se vor inversa între ele bornele 1-2.

Pentru situația din figura 5.d) (transformatoarele T1 și T2 având deplasări unghiulare diferite cu 4 ore) se va realiza o permutare ciclică a bornelor 1-2,-3 respectiv se va trece 1 la 2, 2' la 3' și 3' la 1.

Pentru situația din figura 5.e) în care transformatoarele T1, și T2 au deplasări unghiulare ce diferă cu 6 ore, se va realiza o " rotație " (o modificare a grupei de conexiuni a unuia din transformatoare cu 6 ore) operația, realizându-se la transformatorul la care există cel puțin o conexiune în stea prin inversarea începuturilor cu sfârșiturile între ele (se schimbă noul steei). Dacă va fi necesar se va efectua și o "translație" (cazurile 5b)-5d) prin permutarea bornelor acolo unde este cazul. Dacă nu există nici o conexiune în stea atunci se va schimba felul unei conexiuni în triunghi (din "Z" în "N" sau invers) după care se va opera o "translație" prin permutarea bornelor, dacă este necesar.

Situația din figura 5.f) este asemănătoare celei din figura 5.e.



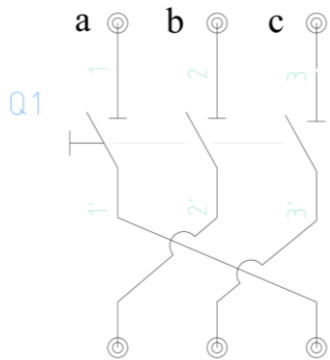
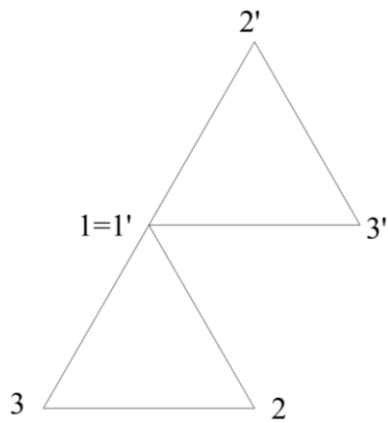


Fig. 4 d)

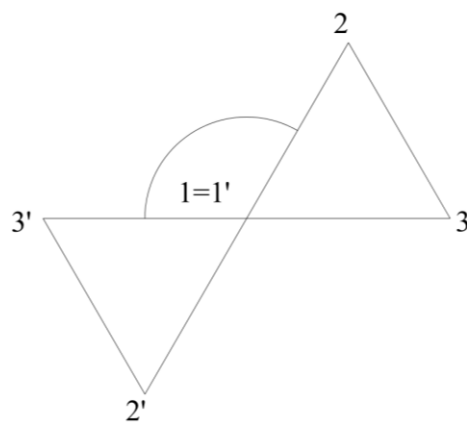


Fig. 4 e)

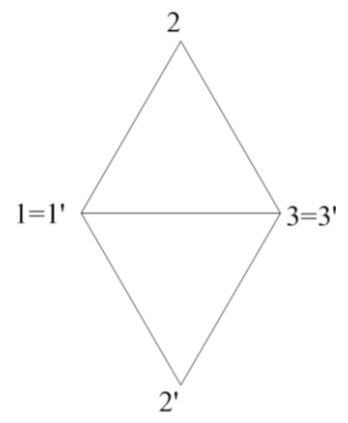


Fig. 4 f)

Observație: După fiecare din operațiile efectuate în vederea suprapunerii celor două triunghiuri 1-2-3 și 1'-2'-3' se vor verifica tensiunile 2-2', 3-3'. Numai după asigurarea că acestea sunt nule se va închide întrerupătorul  $Q_1$ .

După închiderea întrerupătorului  $Q_1$ , se verifică curentul de circulație  $I_2$  la mersul în gol.

Se închide  $Q_2$ , și se crește curentul de sarcină  $I_s$ , de la zero la dublul valorii nominale a curentului de sarcină al unui transformator, prin modificarea valorii reostatului de sarcină  $R_s$ . Pentru diverse valori ale sarcinii se completează tabelul 2.