

## ~ CURS 7 ~

### II.6. Ameliorarea factorului de putere pentru circuitele trifazate în regim simetric

Considerăm un receptor trifazat echilibrat (în conexiune triunghi sau stea fără fir neutru care, în regim normal de funcționare, care primește din rețea o putere activă nominală  $P$  sub o tensiune nominală (de fază sau de linie) și un factor de putere  $\cos\varphi$  impus de buna sa funcționare. De asemenea, receptorul trifazat mai poate fi caracterizat și de un randament  $\eta$  de funcționare definit în funcție de puterea sa și parametrii electrice de funcționare  $\eta = \frac{P}{\sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi} = \frac{P}{3U_f I_f \cos\varphi} = \frac{P}{S \cos\varphi}$ . De cele mai multe ori, acest model de consumator răspunde foarte bine unei game foarte largi de aplicații practice (instalații electrice de putere, motoare electrice, cuptoare electrice etc.).

*Factorul de putere al circuitului* ( $\cos\varphi$ ) are o mare importanță asupra întregului sistem de transmitere a energiei de la furnizor la consumator. Un factor de putere scăzut înseamnă creșterea pierderilor de putere și de tensiune pe linia electrică de alimentare, dar totodată datorită creșterii intensității curentului electric va crește încălzirea conductoarelor și deci apare necesitatea supradimensionării instalațiilor.

Problema prezintă o mare importanță economică, distribuitorii de energie electrică impun marilor consumatori un anumit factor de putere mediu în utilizarea energiei, folosind sisteme tarifare diferențiate după modul de realizare a acestui important indicator.

Pentru a reduce solicitările liniei de alimentare a receptorului, la bornele acestuia se leagă diverse baterii de condensatoare (condensatoare de aceeași capacitate) fie în conexiune triunghi fie în conexiune stea (Fig. 2.9).

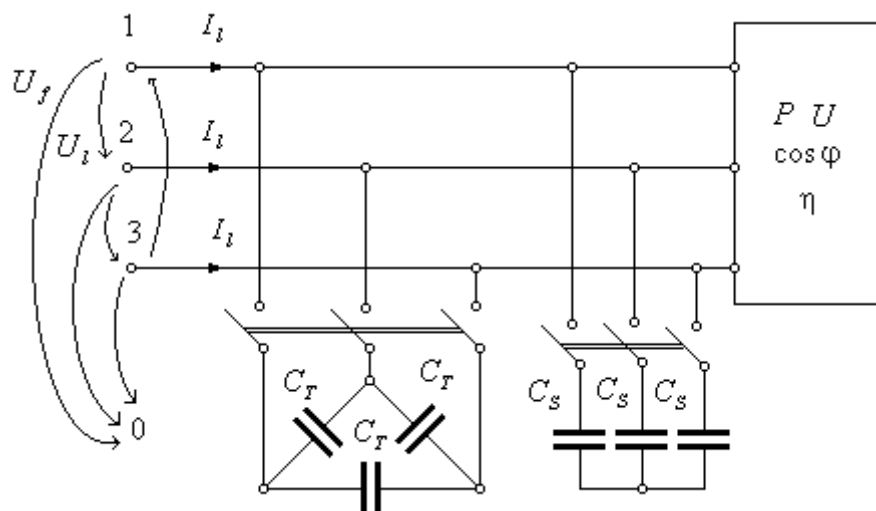


Fig. 2.9. Ameliorarea factorului de putere cu ajutorul bateriilor de condensatoare.

Condensatoarele sunt *debitoare* de putere reactivă. Vom considera în cele ce urmează bateria de condensatoare în conexiune triunghi ce are ca element  $C_T$ . Puterea reactivă consumată de aceste condensatoare va fi  $:Q_C = -3\omega C_T U_l^2$ . Receptorul consumă o putere

reactivă înainte de montarea bateriei,  $Q = P \operatorname{tg} \varphi$ . Puterea solicitată rețelei după montarea condensatoarelor va fi:

$$Q' = Q + Q_c \quad \text{sau} \quad P \operatorname{tg} \varphi' = P \operatorname{tg} \varphi - 3\omega C_T U_l^2$$

În relația anterioară  $Q' = P \operatorname{tg} \varphi'$  reprezintă puterea reactivă primită din rețea după conectarea bateriei de condensatoare – puterea activă  $P$  rămâne constantă, iar  $\cos \varphi'$  este noul factor de putere echivalent a cărui realizare se urmărește. Prin urmare, valoarea capacității unui condensator din bateria în triunghi va fi:

$$C_T = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{3\omega U_l^2}$$

Se observă că în cazul conexiunii stea a bateriei ar rezulta condensatoare cu o capacitate de trei ori mai mare, deoarece locul lui  $U_l$  ar fi luat de tensiunea  $U_f = \frac{U_f}{\sqrt{3}}$ . Rezultă

$\frac{C_T}{C_s} = \left(\frac{U_f}{U_l}\right)^2 = \frac{1}{3}$  și, prin urmare, compensarea factorului de putere este o problemă de ordin tehnico-economic, având în vedere faptul că, în joasă tensiune, costul condensatoarelor este proporțional cu capacitatea lor. Acesta este motivul pentru care este preferată conexiunea în triunghi.

Diagrama fazorială corespunzătoare a puterilor s-a reprezentat în Fig. 2.10. Interesează acum să evaluăm curenții de linie și pierderile pe linie înainte și după montarea bateriei de condensatoare.

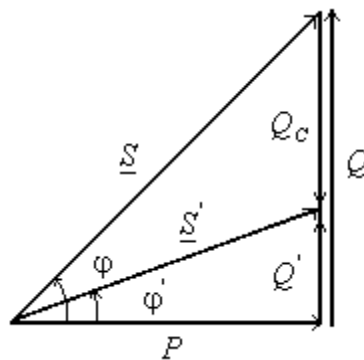


Fig. 2.10. Diagrama de putere a circuitului înainte și după compensarea factorului de putere.

Conform observației anterioare (așa cum poate fi observat din Fig. 2.10) componenta activă a curenților de linie (de ex. puterea activă) rămâne neschimbată, astfel încât noul curent

de linie este:  $I_l' = I_l \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'} = \frac{I_a}{\cos \varphi'}$ ,  $\frac{I_l'}{I_l} < 1$ . Termenul  $I_a = I_l \cos \varphi = \frac{P}{\eta \sqrt{3} U_l}$  este componenta

activă a curentului, adică intensitatea minimă a curentului sub care se poate asigura transmisia

puterii  $P$  – cazul în care s-ar realiza compensarea integrală a energiei reactive a receptorului ( $\cos \varphi' = 1$ ).

Pierderile pe linia de alimentare  $\Delta p$  sunt direct proporționale cu pătratul intensității curenților de linie astfel încât:  $\Delta p' = \Delta p \left( \frac{I_l'}{I_l} \right)^2 = \Delta p \left( \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'} \right)^2$ ;  $\frac{\Delta p'}{\Delta p} < 1$ .

Așa cum se poate constata, introducerea bateriilor de condensatoare îmbunătățește cu mult atât solicitările rețelei, cât și ale consumatorului. Aceasta este în fapt și metoda industrială utilizată pentru compensarea factorului de putere: conectarea unor baterii de condensatoare de capacități convenabile reglabile, la bornele unor receptoare de mare putere, puternic inductive.

### II.7. Calculul circuitelor trifazate echilibrate în regimuri simetrice

**Definiție.** Se numește *element trifazat echilibrat* un element trifazat care are proprietatea că aplicarea unui sistem trifazat simetric de mărimi (curenți, tensiuni) de orice succesiune, determinând un sistem simetric de mărimi asociate (tensiuni, curenți) de aceeași succesiune. Un circuit este echilibrat dacă este format numai din elemente echilibrate.

În regimuri simetrice ale circuitelor trifazate echilibrate, tensiunile electromotoare, tensiunile și curenții formează sisteme trifazate simetrice de aceeași succesiune. Atunci, **pentru a cunoaște regimul de funcționare a rețelei, este suficient să se determine mărimile corespunzătoare unei faze, iar mărimile celorlalte două faze se deduc astfel:**

- prin defazare cu  $2\pi/3$  și  $4\pi/3$  pentru regimul de succesiune directă;
- prin defazare cu  $-2\pi/3$  și  $-4\pi/3$  pentru regimul de succesiune inversă;
- fără nici o defazare pentru regimul de succesiune omopolară.

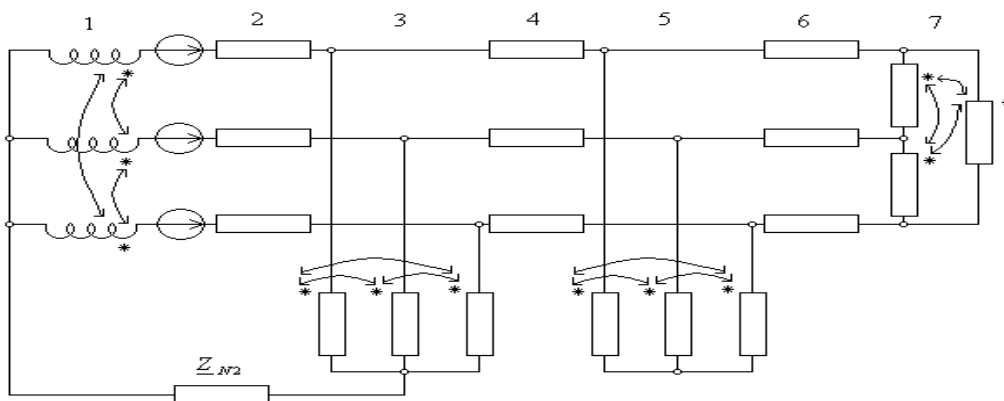


Fig. 2.11. Rețea trifazată echilibrată.

Acest fapt permite o simplificare importantă a calculului circuitelor trifazate echilibrate. Mersul calculului se va exemplifica pentru circuitul din Fig. 2.11.

Pentru orice regim simetric, calculul începe prin înlocuirea elementelor trifazate cuplate magnetic între faze prin elemente echivalente necuplate magnetic între faze (Fig. 2.12). Atunci

fiecare element trifazat echilibrat va fi caracterizat în regimul simetric printr-o singură impedanță:

- impedanța directă - pentru regimul de succesiune directă;
- impedanța inversă - pentru regimul de succesiune inversă;
- impedanța omopolară - pentru regimul de succesiune omopolară.

Mai departe, calculul se desfășoară în funcție de natura regimului simetric.

**Pentru regimuri simetrice ciclice (de succesiune directă sau inversă) se continuă astfel:**

În primul rând se rețin în schema circuitului numai sursele care vor determina regimul simetric ciclic, adică:

- sursele cu t.e.m. simetrice de succesiune directă pentru regimul de succesiune directă;
- sursele cu t.e.m. simetrice de succesiune inversă pentru regimul de succesiune inversă.

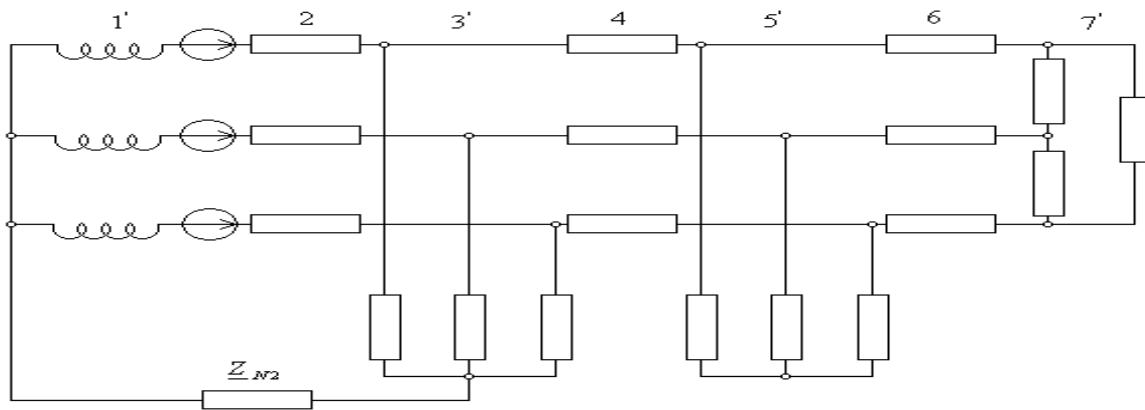


Fig. 2.12. Rețea trifazată echilibrată fără cuplaje magnetice între faze, formată cu impedanțele de fază corespunzătoare regimului simetric.

Apoi se înlocuiesc toate elementele terminale cu conexiune în triunghi prin elemente echivalente conectate în stea. Astfel, toate elementele terminale (fără cuplaje magnetice între faze) vor avea punct neutru (Fig. 2.13).

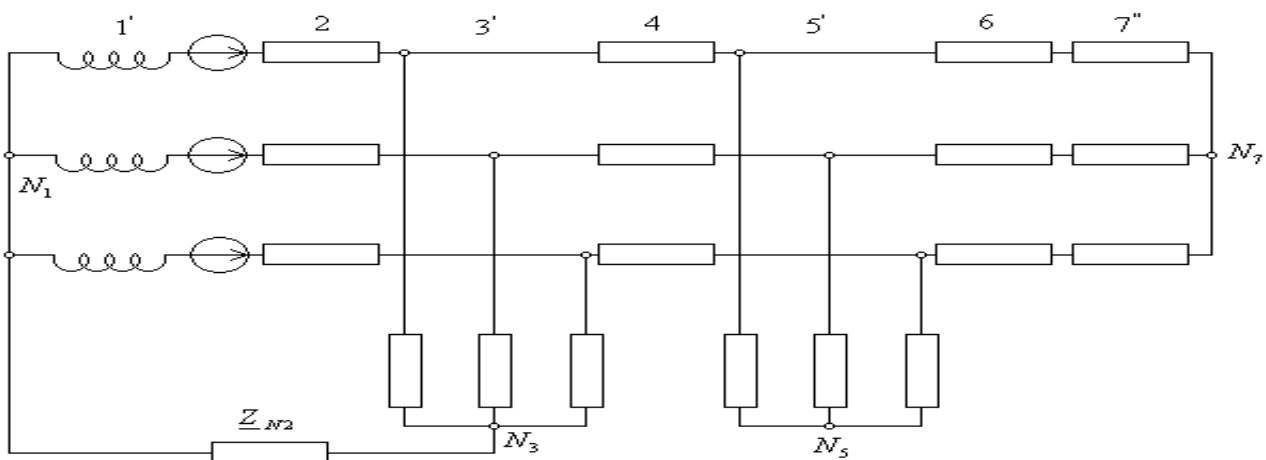


Fig. 2.13. Rețea echilibrată cu toate elementele terminale transfigurate în stea.

Se observă că în regimurile ciclice suma curenților de fază este nulă, însumare care se produce în punctul neutru al fiecărui element terminal conectat în stea (sau echivalat cu conexiune în stea). Atunci punctele neutre ale tuturor elementelor terminale pot fi reunite printr-un fir "fictiv", de impedanță foarte mică, tinzând, la limita, spre 0 (Fig. 2.14), chiar dacă în circuitul fizic firul de conexiune (dacă există) are o impedanță finită. Prin acest fir "fictiv" nu trece nici un curent, deci toate punctele neutre se află la același potențial.

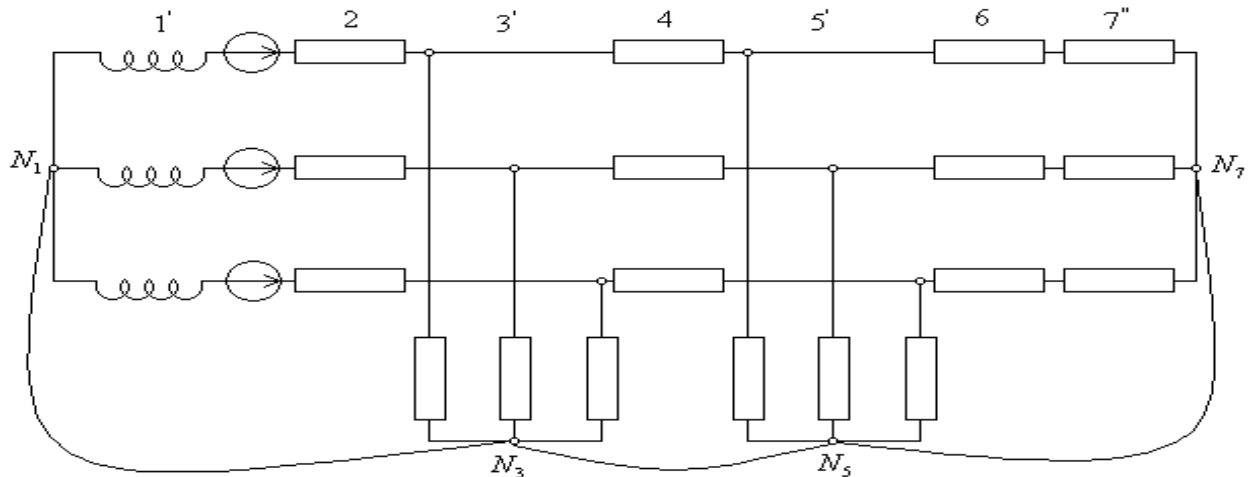


Fig. 2.14. Rețea trifazată echilibrată în regim ciclic. Punctele neutre pot fi conectate între ele printr-un fir de impedanță nulă.

În urma introducerii firului "fictiv", de impedanță nulă, cele trei circuite de fază devin independente și funcționarea fiecăruia poate fi studiată pe circuitul monofazat obținut prin îndepărtarea celorlalte două circuite de fază (Fig. 2.15).

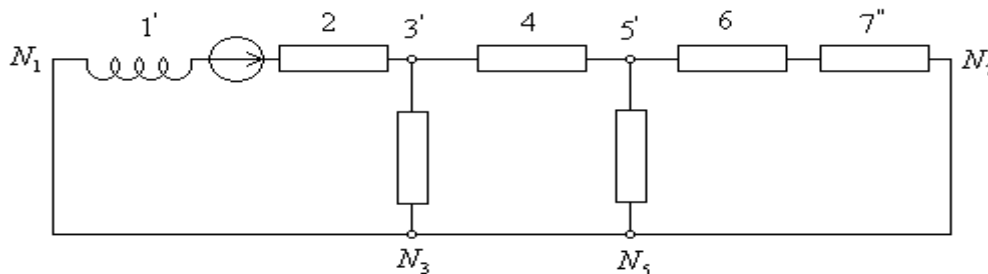


Fig. 2.15. Rețea monofazată obținută după îndepărtarea a două faze.

În concluzie, în regimuri ciclice, rețeaua trifazată echilibrată poate fi rezolvată pe o schemă monofazată (a unei faze, transfigurată în stea), alimentată de sursele unei faze corespunzătoare regimului ciclic studiat și formată cu elemente pasive având impedanțele corespunzătoare regimului ciclic studiat.

**Regimul omopolar se caracterizează prin mărimi egale pe cele trei faze.** Pentru ca un sistem de trei curenți de fază egali (și în faza !) să poată exista, trebuie ca ei să aibă o cale de închidere. Această posibilitate este oferită numai de conexiunea în stea cu neutru accesibil, suma curenților de fază urmând a se închide prin firul neutru. Conexiunea în stea fără neutru accesibil și conexiunea în triunghi nu oferă această posibilitate.

Plecând de la observația de mai sus, se procedează astfel.

Se construiește o nouă rețea, formată numai cu elementele terminale conectate în stea cu fir neutru și cu liniile de conexiune aferente (Fig. 2.16). Această rețea are ca surse numai pe cele ce determină regimul omopolar, deci t.e.m. egale pe cele trei faze.

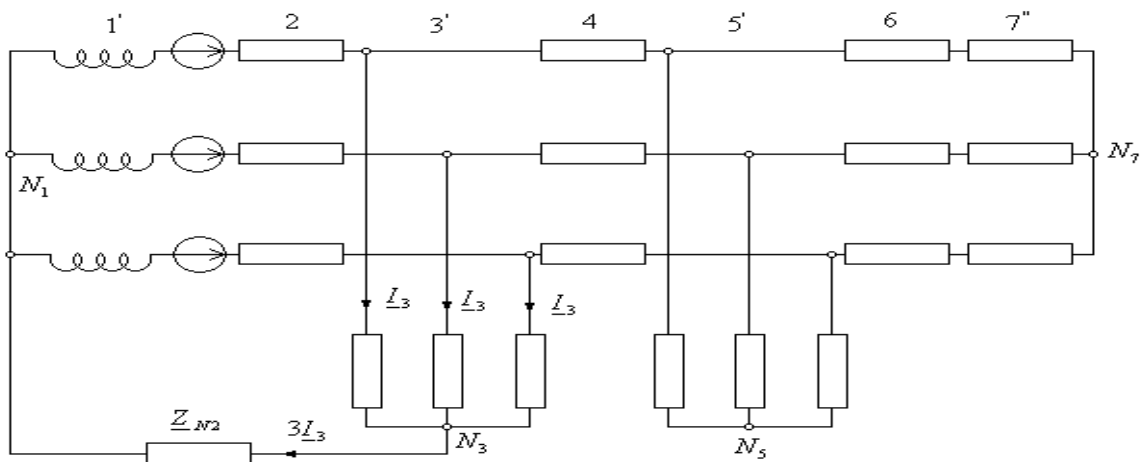


Fig. 2.16. Rețea trifazată echilibrată în regim omopolar.

Se observă că pe firul neutru trece triplul curenților de fază. Dacă pe acest fir se află un element cu impedanța  $Z_N$ , el va determina o cădere de tensiune de 3 ori mai mare decât dacă s-ar afla pe un circuit de fază. Atunci circuitul cu trei faze poate fi rezolvat cu ajutorul schemei unei singure faze și a firului neutru, în care elementele de pe conductorul neutru apar cu triplul impedanței lor (Fig. 2.17).

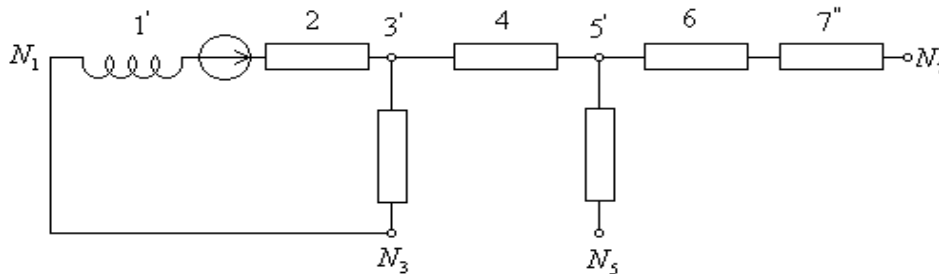


Fig. 2.17. Rețeaua monofazăată pentru regimul omopolar.

**Observație:** În cazul în care la aceeași rețea trifazată sunt conectate mai multe receptoare, cu conexiune de tip diferit, pentru rezolvarea circuitului este preferabil să se facă mai întâi transfigurarea receptoarelor stea în receptoare echivalente în conexiune triunghi. Laturile de același nume ale tuturor receptoarelor triunghi (reale sau echivalente) fiind legate în paralel, se găsește un singur receptor echivalent cu conexiune în triunghi al cărui calcul se face conform relațiilor specifice acestui tip de conexiune.