

Compensarea factorului de putere

Tematica: *Circuite electrice*

→ **Capitol:** *Sisteme trifazate*

→ **Secțiunea:**

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

În această secțiune se va face o scurtă [introducere](#) asupra compensării factorului de putere, explicându-se câteva din motivele necesității acesteia. În cazul sistemelor monofazate, se va studia [compensarea totală](#) a factorului de putere, ca și modalitatea de [compensare parțială](#) a factorului de putere. În final, se va studia [compensarea totală și parțială în sistemele trifazate](#), particularizându-se pentru cazurile bateriilor de condensatoare conectate în stea sau în triunghi.

- cunoștințe anterioare necesare: [Puteri în sistemele trifazate](#)
- nivel: 1 - introductiv
- durata estimată: 30 minute
- autor: [Maria José Resende](#)
- realizare: [Sophie Labrique](#)
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

1. Introducere

Atât motoarele, cât și cea mai mare parte a sarcinilor alimentate cu energie electrică, sunt sarcini cu caracter inductiv, respectiv ele consumă atât energie activă, cât și reactivă.

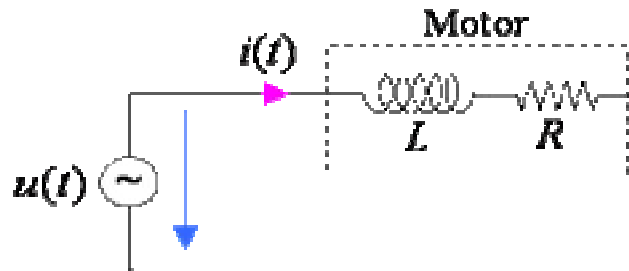


Figura 1 - Reprezentarea schematică a unui motor monofazat alimentat în curent alternativ

Diagrama fazorială aferentă este:

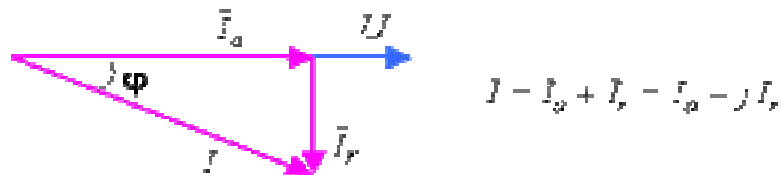


Figura 2 - Diagrama fazorială corespunzătoare schemei din Figura 1

în care \vec{I}_a este componenta activă a curentului, iar \vec{I}_r este componenta reactivă. Existența componentei reactive (datorate inductivității) face ca tensiunea și curentul la bornele sursei să nu fie în fază; curentul este în urma tensiunii cu unghiul φ .

Sursa care alimentează motorul va trebui să fie capabilă să furnizeze puterile:

$$P = U I \cos \varphi = U I_a$$

$$Q = U I \sin \varphi = U I_r$$

sau altfel, să fie capabilă să debiteze puterea aparentă:

$$S = U I$$

și să poată furniza un curent de valoare eficace I .

În cazul în care sursa nu ar trebui să furnizeze energia reactivă (datorată existenței inductanțelor), ar trebui să debiteze puterea aparentă:

$$S' = U I_a = U I \cos \varphi$$

respectiv, să furnizeze un curent de valoare eficace $I_a = I \cos \varphi$.

Această soluție este posibilă, dacă alături de inductanță se introduce în circuit un condensator; această metodă este cunoscută sub numele de compensarea factorului de putere.

Câteva din motivele pentru care se utilizează compensarea factorului de putere sunt:

- sursele de energie electrică (respectiv generatoarele din centralele electrice) trebuie să producă energia reactivă, ceea ce înseamnă diminuarea energiei active produse, astfel încât să nu se depășească puterea aparentă

nominală $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$;

- pe liniile de transmisie apar cele mai importante pierderi, deoarece ele nu sunt ideale (impedanță nulă), ci sunt caracterizate de o impedanță nenulă, iar pierderile sunt cu atât mai mari cu cât curentul ce le străbate este mai

mare ($|\vec{I}| > |\vec{I}_a|$);

- căderile de tensiune pe linii sunt mai mari, din același motiv indicat la punctul anterior.

2. Sistem monofazat - compensare totală

În cazul sistemelor monofazate, compensarea factorului de putere se realizează prin conectare unui condensator în paralel cu sarcina (și de altfel și cu sursa), așa cum se vede în Figura 3.

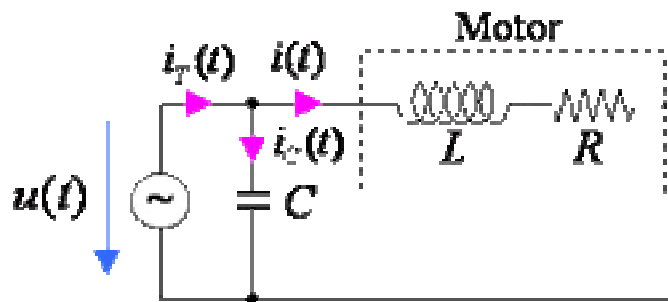


Figura 3 - Reprezentarea schematică a unui motor monofazat alimentat în curent alternativ, cu condensator de compensare a factorului de putere

Valoarea capacității condensatorului C se poate dimensiona pe baza diagramei fazoriale de mai jos:

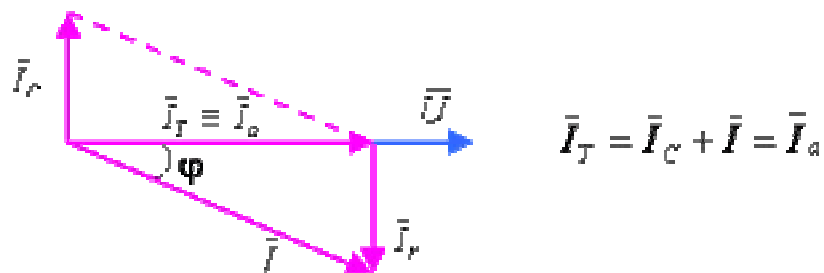


Figura 4 - Diagrama fazorială corespunzătoare schemei din Figura 3

Curentul aferent condensatorului, va trebui să compenseze în totalitate componenta reactivă a curentului absorbit de motor. Curentul absorbit de motor, \vec{I} , poate suferi unele variații. Astfel, curentul debitat de sursă se poate modifica prin diminuarea valorii eficace $I \cos \varphi$ datorită modificării lui $I \cos \varphi$ (reducându-se și pierderile și căderile de tensiune pe linia de transmisie), care este în fază

cu tensiunea sursei (sursa continuă să furnizeze energia reactivă). Puterea activă pe care trebuie să o debiteze sursa nu suferă modificări ca urmare a introducerii condensatorului în circuit, deoarece curentul activ debitat de sursă este exact egal cu componenta activă înainte de compensare.

Prin introducerea unui condensator, se realizează **compensarea totală a factorului de putere**; din punctul de vedere al sursei de energie, sarcina compusă din Motor+Condensator se comportă ca o sarcină rezistivă; condensatorul furnizează toată energia reactivă pe care motorul are nevoie să o absoarbă.

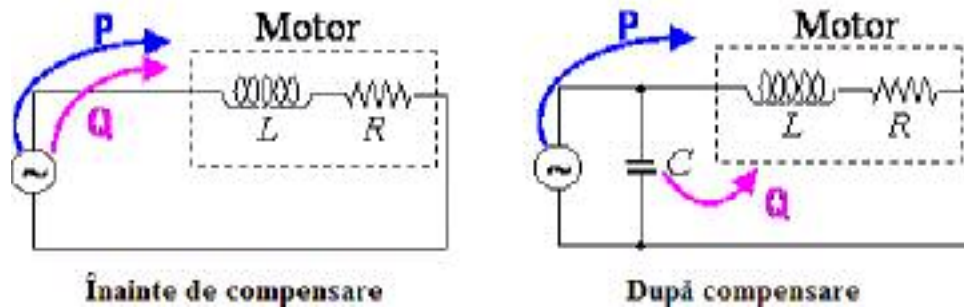


Figura 5 - Reprezentarea schematică a puterilor activă și reactivă înainte și după compensare

Puterea reactivă absorbită de motor este:

$$Q = U I \sin \varphi$$

Deoarece puterea reactivă furnizată de condensator, Q_c , (vezi [Puteri în regim sinusoidal și Componente elementare](#)) este:

$$Q_c = U I_c = \omega C U^2,$$

egalând cele două puteri, se obține:

$$C = \frac{I \sin \varphi}{\omega U},$$

ceea ce reprezintă capacitatea condensatorului pentru compensarea totală a factorului de putere.

3. Sistem monofazat - compensare parțială

Reglementările de utilizare a energiei electrice nu impun compensarea totală a factorului de putere, ci doar limitarea la o valoare minimă a factorului de putere ($\cos \varphi_f$).

Prin compensarea parțială a factorului de putere, se înțelege ca, pornind de la un anumit sistem care consumă energii cu valori inițiale cunoscute S_1, P_1, Q_1 și $\cos \varphi_1 < \cos \varphi_f$, să se mențină puterea activă solicitată de la distribuitorul de energie electrică, P_1 , și, prin instalarea unui condensator de valoare C , adăugat în instalație, să se solicite o cantitate mai mică de energie reactivă, Q_f , care să asigure valoarea impusă $\cos \varphi_f$.

Plecând de la valoarea necesară a puterii active, P_1 , și impunând $\cos \varphi_f$, se obține valoarea finală a puterii aparente solicitată din rețea:

$$S_f = \frac{P}{\cos(\varphi_f)}$$

ceea ce înseamnă că puterea reactivă este:

$$Q_f = S_f \sin(\varphi_f)$$

Diferența dintre Q_c și Q_f va trebui să fie furnizată de condensator:

$$Q_c - \Delta Q = Q_c - Q_f$$

Astfel se poate calcula valoarea capacității C a condensatorului:

$$C = \frac{\Delta Q}{\omega U^2}$$

4. Sistem trifazat - compensare totală și parțială

Compensarea factorului de putere în sistemele trifazate nu diferă substanțial de compensare în sistemele monofazate; diferența esențială constă în necesitatea a 3 condensatoare. Aceste 3 condensatoare pot fi conectate atât în stea, cât și în triunghi, indiferent cum este conectată sarcina.

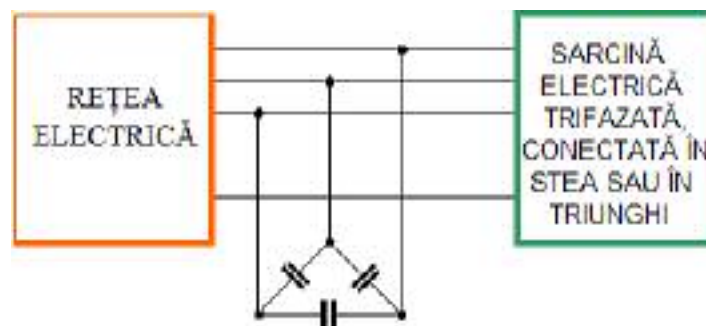


Figura 6 - Reprezentarea schematică a compensării factorului de putere cu condensatoare conectate în triunghi

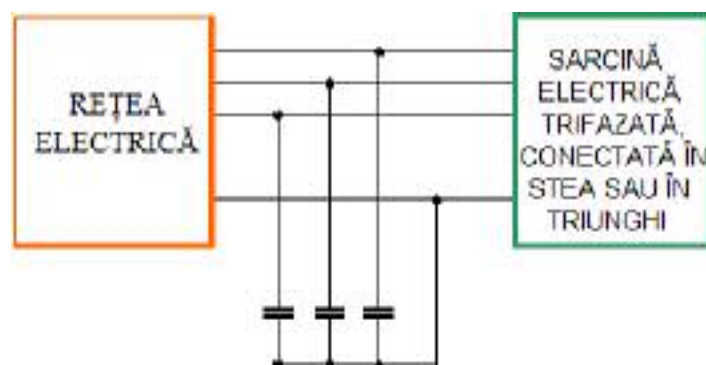


Figura 7 - Reprezentarea schematică a compensării factorului de putere cu condensatoare conectate în stea

Știind că (vezi [Puteri în elementele ideale](#) și [Elemente ideale](#)):

$$Q_C = \omega C U^2$$

este puterea reactivă furnizată de un condensator, în funcție de tensiunea \bar{U} la bornele lor, puterea reactivă furnizată de cele 3 condensatoare de capacitate C_Δ care sunt conectate în triunghi este:

$$Q_{C\Delta} = 3 \omega C_\Delta U_l^2 \quad (1)$$

deoarece sunt conectate la tensiunea de linie U_l (vezi [Tensiuni de fază și de linie](#)).

Analog, vom avea:

$$Q_{CY} = 3 \omega C_Y U_f^2 \quad (2)$$

puterea reactivă furnizată de 3 condensatoare de capacitate C_Y conectate în stea și alimentate la tensiunea de fază U_f .

În cazul în care capacitățile condensatoarelor conectate în stea și în triunghi sunt egale, respectiv, $C_Y = C_\Delta$, deoarece $U_l = \sqrt{3} U_f$ (vezi [Tensiuni de fază și de linie](#)), din expresiile (1) și (2) rezultă:

$$Q_{C\Delta} = 3 Q_{CY}$$

Aceasta înseamnă că, grupul de 3 condensatoare conectate în triunghi, furnizează **triplul** puterii reactive pe care aceleași condensatoare ar furniza-o, dacă ar fi conectate în stea.

Modalitate de dimensionare a condensatoarelor pentru realizarea **compensării parțiale** a factorului de putere, astfel încât să se obțină un anumit factor de putere final, $\cos \varphi_f$, este similară celei prezentate în pagina [Sistem monofazat - compensarea parțială](#).

Plecând de la puterea activă consumată de sarcină, P , și presupunând că aceasta nu se modifică datorită introducerii în circuit a condensatoarelor, impunând $\cos \varphi_f$, se obține valoarea finală a puterii aparente solicitate din rețea:

$$S_f = \frac{P}{\cos \varphi_f}$$

ca și puterea reactivă corespunzătoare:

$$Q_f = S_f \sin(\varphi_f)$$

Diferența dintre Q_Δ și Q_f va trebui să fie furnizată de bateria de 3 condensatoare:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_f \quad (3)$$

Presupunând că bateria de condensatoare este conectată în triunghi, egalând expresiile (3) și (1), se obține:

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_f^2} \quad \text{în triunghi}$$

Presupunând că bateria de condensatoare este conectată în stea, egalând expresiile (3) și (2), se obține:

$$C_Y = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_f^2} \quad \text{în stea}$$

Pentru a obține **aceeași putere reactivă**, ΔQ , din ultimele două expresii obținute, rezultă că:

$$C_Y = 3 C_{\Delta}$$

Aceasta înseamnă că, în cazul în care condensatoarele se conectează în stea, ele trebuie să fie de capacitate de **3 ori mai mare** decât dacă se conectează în triunghi, pentru a obține aceeași putere reactivă.

Pentru a realiza **compensarea totală a factorului de putere în sistemele trifazate**, se pot utiliza relațiile de mai sus, în care $\cos \varphi_f = 1$.

Exerciții

1. O sarcină electrică trifazată conectată la rețeaua de $230 \text{ V} / 400 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$, consumă puterea activă de 44 kW și puterea reactivă de $52,4 \text{ kVAR}$. Determinați puterea reactivă a bateriei de condensatoare, pentru ca factorul de putere să fie compensat la valoarea 0,85.

Răspuns >>

Se consideră că după compensare, sarcina va consuma din rețea puterile finale P_f și Q_f și că factorul de putere final va fi $\cos \varphi_f = 0,85$, respectiv, $\varphi_f = 31,8^\circ$.

Deoarece puterea activă nu se va modifica în urma compensării, vom avea $P_f = P_f'$ și $Q_f' = S_f \sin \varphi_f = P_f \tan \varphi_f = P_f' \tan \varphi_f$.

Deci: $Q_f = 44\,000 \times \tan 31,8 = 27\,281 \text{ VAR}$.

Energia reactivă pe care va trebui să o furnizeze condensatoarele va fi:

$$\Delta Q_C = Q_1 - Q_f = 52\,400 - 27\,281 = 25\,119 \text{ VAR}$$

2. Determinați capacitatea condensatoarelor, dacă bateria este conectată în stea.

Răspuns >>

Deoarece condensatoarele sunt conectate în stea, tensiunea la bornele lor este tensiunea de fază, $U_f = 230\text{ V}$, rezultând:

$$C_Y = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_f^2}$$

Înlocuind valorile numerice, se obține:

$$C_Y = \frac{21119}{3 \times 2\pi 50 \times 230^2} = 503 \cdot 10^{-6} = 503 \mu\text{F}$$

3. Determinați capacitatea condensatoarelor, dacă bateria este conectată în triunghi.

Răspuns >>

Deoarece condensatoarele sunt conectate în triunghi, tensiunea la bornele lor este tensiunea de linie, $U_l = 400\text{ V}$, rezultând:

$$C_\Delta = \frac{\Delta Q}{3 \omega U_l^2}$$

Înlocuind valorile numerice, se obține:

$$C_\Delta = \frac{21119}{3 \times 2\pi 50 \times 400^2} = 168 \cdot 10^{-6} = 168 \mu\text{F}$$

Rezultatul obținut arată că, pentru a obține aceeași putere reactivă compensată, ΔQ_c , capacitatea condensatoarelor conectate în triunghi este de 3 ori mai mică decât capacitatea condensatoarelor conectate în stea.

$$C_\Delta = \frac{C_Y}{3} = \frac{503 \times 10^{-6}}{3} = 168 \times 10^{-6} = 168 \mu\text{F}$$

4. Reprezentați diagrama fazorială a tensiunilor și curenților de fază, înainte și după compensarea factorului de putere.

Răspuns >>

Deoarece puterea activă nu se modifică datorită compensării, componentele active ale curenților de fază înainte și după compensare vor fi egale, respectiv, $I_i \cos \varphi_i = I_f \cos \varphi_f$.

