

6. STUDIUL FACTORULUI DE PUTERE

6.1. Noțiuni teoretice

6.1.1. Definiții

În orice rețea de curent alternativ care conține elemente active (rezistențe) și elemente reactive (inductivități, capacități), simultan cu circulația de putere activă $P=U \cdot I \cdot \cos\varphi$ care are loc într-un sens, de la generator la receptor, are loc și o circulație de putere reactivă $Q=U \cdot I \cdot \sin\varphi$.

Factorul de putere, $\cos\varphi$ al circuitului, se definește ca raportul dintre puterea activă P și puterea aparentă S . În regim sinusoidal simetric este:

$$k = \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \quad (7.1)$$

În cazul circuitelor trifazate nesimetrice și dezechilibrate, valoarea factorului de putere se determină cu relația:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^3 P_i)^2 + (\sum_{i=1}^3 Q_i)^2}} \quad (7.2)$$

Q_i - reprezintă puterea reactivă.

Pentru regimul nesinusoidal valoarea factorului de putere se determină cu relația :

$$k_D = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (7.3)$$

D - este puterea deformantă.

Deoarece funcționarea instalațiilor unui consumator este caracterizată în general de o sarcină variabilă în timp, cerută de procesul tehnologic sau de programul de lucru, se definește factorul de putere mediu ponderat pe o anumită perioadă de timp (zi, lună, an):

$$\cos\varphi_m = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_r}{W_a}\right)^2}} \quad (7.4)$$

W_a - energia activă (kWh):

W_r - energia reactivă (kVArh).

6.1.2. Cauzele și efectele factorului de putere scăzut

6.1.2.1. Cauzele factorului de putere scăzut

Apare datorită receptoarelor de putere reactivă aflate în sistemele electrice (motoare asincrone și transformatoare). Factorul de putere este cu atât mai redus, cu cât circulația de reactiv este mai mare.

Cauzele scăderii factorului de putere al receptoarelor sunt:

- funcționarea transformatoarelor subîncărcate un timp îndelungat;
- funcționarea în gol a motoarelor asincrone;
- circulația de putere reactivă cauzată de funcționarea lămpilor cu descărcări în vapori metalici;
- reparații de proastă calitate (bobinarea necorespunzătoare-reducerea numărului de spire, strunjirea rotorului – creșterea întrefierului, etc.).

6.1.2.2 . Efectele efectele factorului de putere scăzut

a. Creșterea încălzirii conductoarelor rețelei de distribuție din cauza creșterii curentului, la aceeași putere activă consumată:

$$P = \sqrt{3}UI_1 \cos \varphi_1 = \sqrt{3}UI_2 \cos \varphi_2 \quad (7.5)$$

deci pentru $\cos \varphi_1 > \cos \varphi_2$ vom avea $I_2 > I_1$ la $U = \text{ct.}$

b. Creșterea pierderilor de putere activă pentru o rețea dată:

$$\Delta P = 3RI^2 = R \cdot \frac{(P^2 + Q^2)}{U^2} = \Delta P_a + \Delta P_r \quad (7.6)$$

c. Scade capacitatea de încărcare a rețelelor electrice.

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (7.7)$$

deci Q crește, iar P scade la aceeași secțiune a rețelei (7.7).

d. Creșterea căderii de tensiune pe rețea.

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U} = \Delta U_a + \Delta U_r \quad (7.8)$$

Dacă Q crește, va crește și căderea de tensiune, deci la receptor tensiunea este mai mică.

6.1.3. Circulația puterii deformante

Extinderea utilizării energiei electrice sub formă de curent continuu obținut prin redresarea curentului alternativ, precum și răspândirea mașinilor și aparatelor cu circuite magnetice neliniare, au făcut ca fenomenul deformant să devină tot mai accentuat în sistemele electrice.

Spre deosebire de puterea reactivă, puterea deformantă a receptoarelor inductive și capacitive are același semn și deci nu se pot compensa efectele negative ale puterii deformante ale unui receptor inductiv cu unul capacitiv sau invers.

Circulația de puterea deformantă are următoarele efecte negative:

- creșterea pierderilor de energie concomitent cu înrăutățirea calității energiei electrice;
- mărirea erorilor de măsurare a mărimilor ce caracterizează rețelele electrice. Aparatele de măsură clasice dau erori de până la 30%.

6.1.4. Mijloace pentru îmbunătățirea factorului de putere în regim permanent sinusoidal**a. Măsuri tehnico-organizatorice**

- înlocuirea motoarelor asincrone și a transformatoarelor supradimensionate;
- folosirea motoarelor sincrone în locul celor asincrone;
- deconectarea motoarelor asincrone, transformatoarelor de sudare și speciale la mersul în gol prin utilizarea dispozitivelor pentru limitarea mersului în gol;
- executarea unor reparații de calitate a mașinilor electrice;

b. Instalații și echipamente pentru generarea energiei

Se folosesc în acest scop: motoarele sincrone în regim supraexcitat, compensatoarele sincrone (pentru puteri de ordinul MVar) și condensatoarelor statice.

b1. Îmbunătățirea factorului de putere folosind baterii de condensatoare

Dacă în vecinătatea receptoarelor de energie reactivă se montează condensatoare electrice, atunci energia înmagazinată în câmpul magnetic al generatoarelor ($\frac{1}{2}LI^2$), care se anulează la trecerea prin zero a curentului, nu se mai restituie câmpului magnetic al generatorului

sincron din centrală, ci condensatoarele o acumulează sub formă de energie electrostatică ($\frac{1}{2}CU^2$).

Circulația oscilantă a acestei energii între receptoarele inductive și condensatoare reprezintă puterea reactivă (absorbită de receptoare și furnizată de condensatoare).

Bateriile de condensatoare de fabricație indigenă destinate ameliorării factorului de putere sunt construite din două armături de foiță din aluminiu înfășurate pe ambele fețe ale unor benzi de hârtie impregnată în ulei. Elementele sunt înseriate cu siguranțe fuzibile, conectate în triunghi și introduse într-o carcasă metalică de protecție. Există și elemente monofazate care se pot monta în triunghi sau în stea.

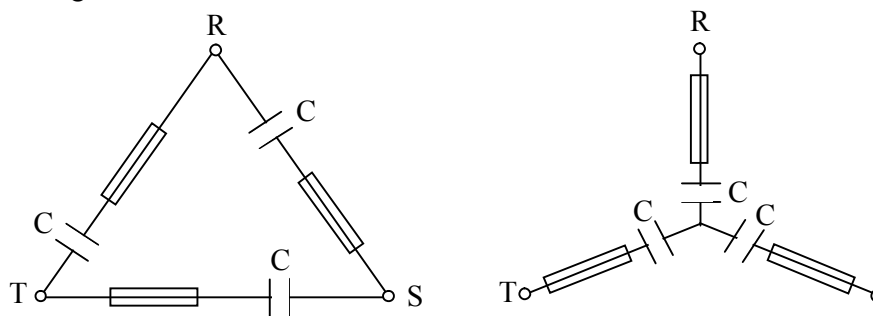


Fig. 6.1. Conexiunile bateriilor de condensatoare

b2. Calculul bateriei de condensatoare

Dacă într-un sistem electric permanent sinusoidal trebuie compensată puterea inductivă (Q_{lf}) pe fază și se cere îmbunătățirea factorului de putere de la valoarea $\cos\varphi_2$ la $\cos\varphi_1$ ($\varphi_2 < \varphi_1$) se calculează puterea reactivă capacitivă care trebuie produsă de bateria de condensatoare cu relația:

$$Q_{cf} = P_f (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad [\text{kVAr}] \quad (7.9)$$

Capacitatea pe fază a bateriei de condensatoare se determină prin montajul în stea sau triunghi cu relațiile:

$$C_{f\Delta} = \frac{Q_{cf}}{\left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2 \omega} = \frac{3Q_{cf}}{U^2 \omega} \quad [\text{F}] \quad (7.10)$$

$$C_{fY} = \frac{Q_{cf}}{U^2 \omega} \quad [\text{F}] \quad (7.11)$$

U - este tensiunea de linie, [V];

ω - este pulsația frecvenței tensiunii de alimentare, [rad/s];

Din relațiile 7.10 și 7.11 rezultă că: $C_{f\Delta} = 3 \cdot C_{fY}$, adică pentru compensarea aceleiași puteri reactive montajul în triunghi necesită o baterie de condensatoare cu capacitatea de trei ori mai mare decât montajul în stea.

b3. Calculul rezistenței de descărcare a condensatoarelor

Datorită rezistenței interioare mari, condensatorul poate rămâne încărcat un timp îndelungat după deconectarea de la sistemul electroenergetic constituind un pericol. Pentru a calcula rezistența la descărcare se pleacă de la relația:

$$U_{adm} = \sqrt{2}U \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad [\text{V}] \quad (7.12)$$

U_{adm} - tensiunea admisă la finele descărcării, [V];

U - tensiunea de linie a rețelei, [V];

t - timpul de descărcare, [s];

ω - pulsuația pentru frecvența $f = 50$ Hz;

T - constanta electromagnetică de timp [s], care se determină cu relația:

$$T = RC_{cf} \quad (7.13)$$

Înlocuind relațiile 7.11 și 7.12 în relația 7.13 vom obține:

$$R = \frac{tU^2\omega}{Q_{cf} \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{U\sqrt{2}}{U_{adm}}} \quad (7.14)$$

În practică se pot folosi rezistențe sau becuri incandescente pentru a face descărcarea, avându-se în vedere că puterea disipată pe rezistență la tensiunea U este:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W] \quad (7.15)$$

Rezistențele de descărcare pot rămâne conectate tot timpul în circuit sau pot fi conectate la bornele bateriei în momentul deconectării acesteia de la rețea.

6.2. Chestiuni de studiat

- Determinarea puterii reactive generate de aceeași capacitate pentru montajul în Δ și montajul în Y .
- Studiul variației factorului de putere în funcție de încărcare pentru un motor sincron.
- Studiul schemelor de conectare la rețea în bateriile de condensatoare.

6.3. Modul de lucru

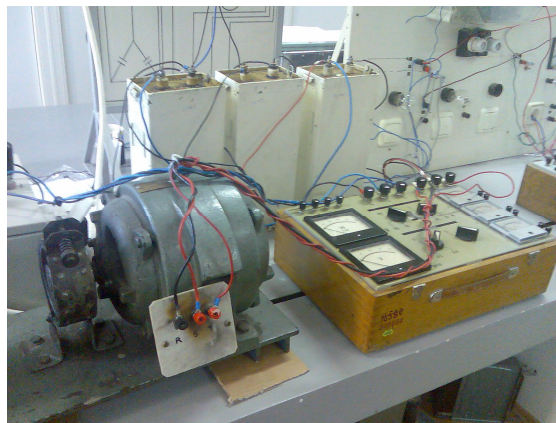
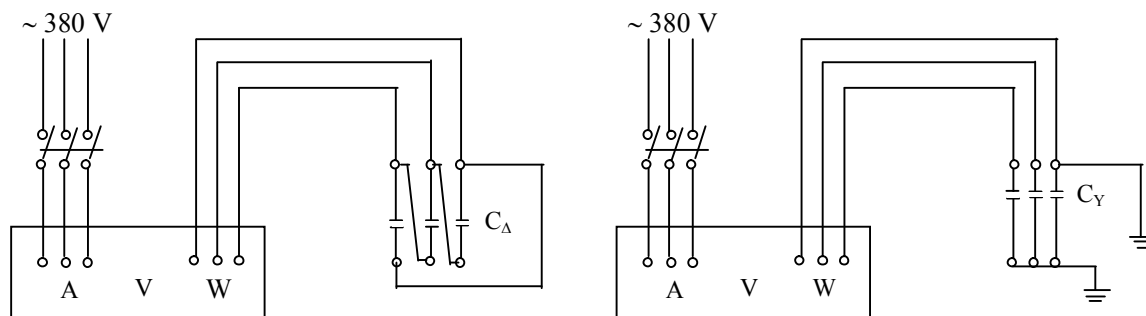


Fig. 6.2. Echipamentele utilizate

Pentru a studia funcționarea condensatoarelor legate în Δ și Y se vor realiza montajele din figura 6.3 a și 6.3 b și se va măsura tensiunea și curentul de încărcare a bateriilor.



a.

Fig. 6.3. Montajele de studiu

b.

a. Baterii de condensatoare alimentate în Δ b. Baterii de condensatoare alimentate în Y

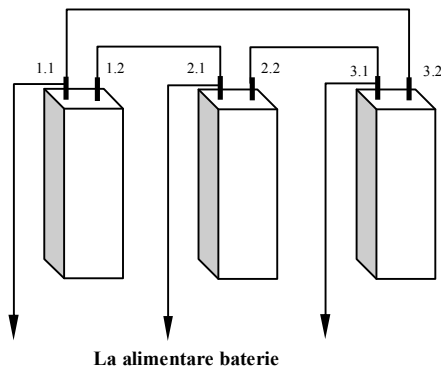


Fig. 6.4. Baterie montată în Y

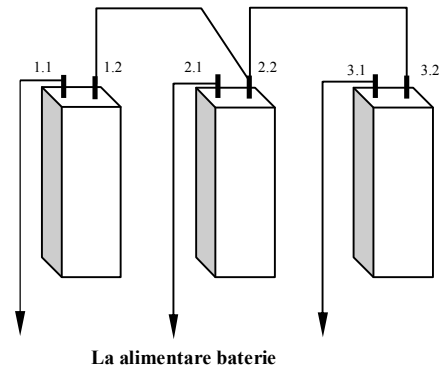


Fig. 6.5. Baterie montată în Δ

Datele măsurate și calculate se vor centraliza în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

	U [V]	I [A]	Q _{calculat} [VAr]	C _{calculat} [μF]	Observații
Baterii de condensatoare montaj Δ					Scala aparatului de măsură pe 25
Baterii de condensatoare montaj Y					Scala aparatului de măsură pe 10

Utilizând valorile citite la trusa de măsură se calculează puterea reactivă debitată de montajul în Δ și respectiv Y în al celor trei baterii de condensatoare monofazate, cu relația:

$$Q = \sqrt{3}UI$$

apoi se determină capacitatea unei baterii de condensatoare monofazată cu 6.10 sau 6.11.

Pentru a ridica caracteristica $\cos \varphi = f(I/I_n)$ se va realiza montajul din figura 6.6 a și respectiv 6.6. b, în care motorul asincron este prevăzut cu o frână la arbore.

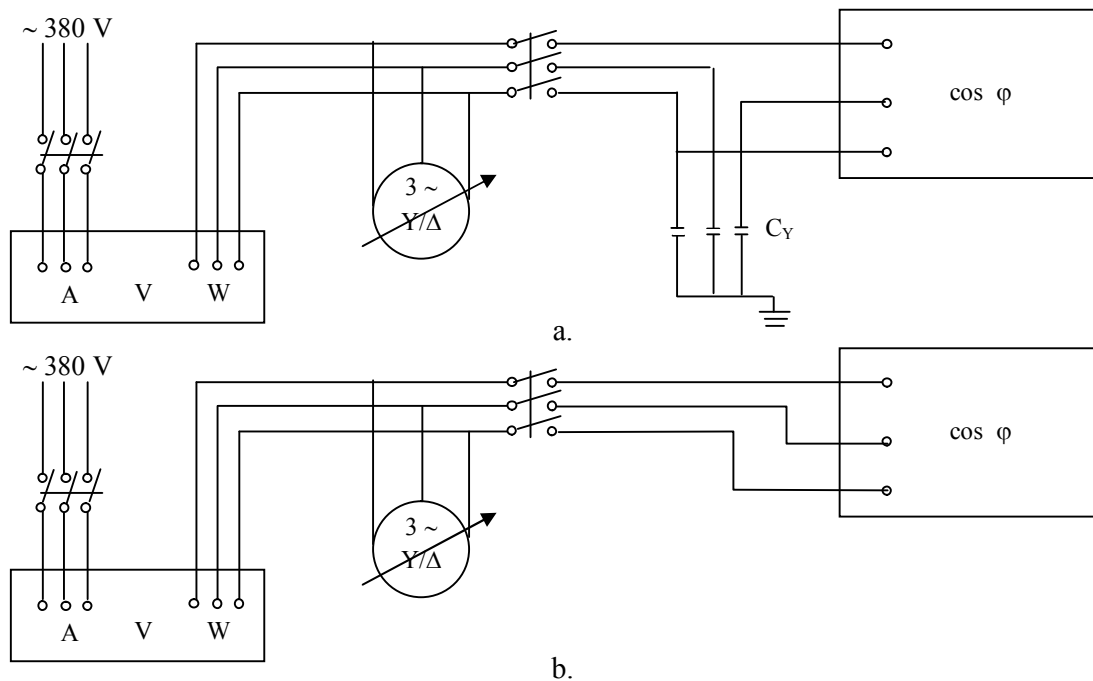


Fig. 6.6. Montajele de studiat

- a. Montaj cu motor și CU baterie de condensatoare în Y
- b. Montaj cu motorul FĂRĂ baterie de condensatoare

Se va studia influența bateriei de condensatoare asupra factorului de putere pentru montaj la bornele motorului.

După realizarea montajelor din figura 6.6 a și respectiv 6.6. b, se stabilește prin frânarea motorului valoarea curentului la 4A, 6A, 8A și se citește pe trusa de măsurare tensiunea și puterea.

Datele măsurate și calculate se vor centraliza în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

	I [A]	U [V]	P [W]	cos φ	I/I _n	Observații
Montaj cu motor și CU baterie de condensatoare în Y	2,00					Scala aparatului de măsură pe 10 <i>Motorul absoarbe mai mult de 2 A nefrânat</i>
	4,00					Scala aparatului de măsură pe 25
	6,00					
	8,00					
Montaj cu motorul FĂRĂ baterie de condensatoare	2,00					Scala aparatului de măsură pe 5
	4,00					Scala aparatului de măsură pe 10
	6,00					
	8,00					

Se va calcula apoi factorul de putere cu relația:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI}$$

Caracteristicile motorului:

$$U_n = 380 \text{ V}$$

$$P_n = 1,7 \text{ kW}$$

$$n_s = 1450 \text{ rot/min}$$

$$\cos \varphi_n = 0,86$$

$$\eta_n = 90\%$$

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}$$

Cu valorile obținute se construiește curba $\cos \varphi = f(I/I_n)$.