

---

# Factorul de putere

---

Posibilități de îmbunătățire

## Definiția puterii active

Puterea instantanee

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

În sistemul trifazat se definesc vectorii (coloană) a tensiunii și a curentului de fază

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Puterea instantanee în regim trifazat

$$p_{\Sigma}(t) = \mathbf{u}(t)^T \cdot \mathbf{i}(t)$$

Puterea medie (**activă**) se definește pe o perioadă sau pe mai multe perioade

În monofazat

$$P = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(\tau) \cdot d\tau$$

În trifazat

$$P_{\Sigma} = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p_{\Sigma}(\tau) \cdot d\tau$$

## Vectorul de curent, curent activ și reactiv

Valoarea efectivă a tensiunii  $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t u^2(\tau) \cdot d\tau}$

În sistem monofazat, la puterea activă dată, curentul activ reprezintă curentul a cărei valoare efectivă este minimă la tensiunea  $u(t)$  - definiția Fryze

$$i_a(t) = \frac{P}{U^2} u(t)$$

În sistem trifazat, regim periodic

$$i_a(t) = \frac{P_\Sigma}{U_\Sigma^2} u(t)$$

Unde tensiunea efectivă globală ("collective rms value")

$$U_\Sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^3 U_j^2}$$

Unde  $U_j$  reprezintă valoarea efectivă a tensiunii de fază.

Curentul reactiv este definit de relația

$$i_x(t) = i(t) - i_a(t)$$

## Vectorul de curent, curent activ și reactiv

Vectorul de curent al puterii instantanee (“instantaneous power current vector”) este definit pentru sistemele polifazate

$$\mathbf{i}_{ip}(t) = \frac{p_{\Sigma}(t)}{\|\mathbf{u}(t)\|^2} \mathbf{u}(t)$$

Reprezintă vectorul curenților momentani cu valoarea efectivă minimă, care determină puterea instantanee totală  $p_{\Sigma}(t)$  pentru vectorul tensiunilor instantanee  $\mathbf{u}(t)$

$$\|\mathbf{u}(t)\| = \sqrt{\sum_{j=1}^3 u_j^2(t)}$$

Vectorul de curent fără puterea instantanee (“instantaneous powerless current vector”)

$$\mathbf{i}_{ix}(t) = \mathbf{i}(t) - \mathbf{i}_{ip}(t)$$

Puterea instantanee totală corespunzătoare acestui curent este zero.

Curentul instantaneu poate fi măsurat.

A avut diverse denumiri; Depenbrock – curent rezidual; Agaki – curent reactiv; Ferrero – curent imaginar; din 1998 curent fără puterea instantanee .

## Puterea aparentă și reactivă

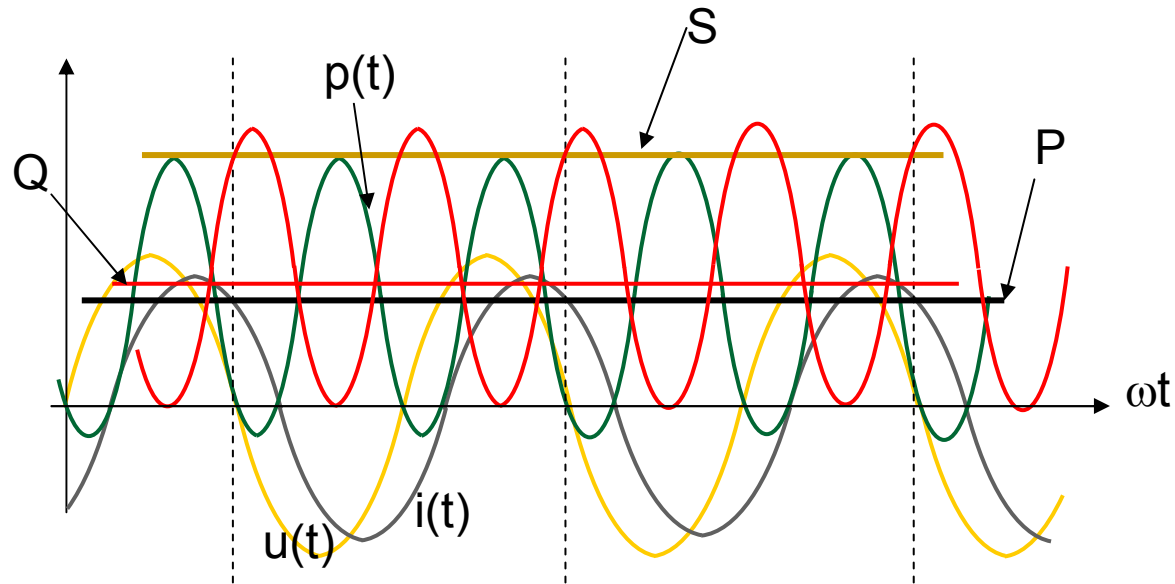
Puterea aparentă este o cantitate convențională. Puterea aparentă reprezintă maximul puterii active la tensiune și curent impuse.

În monofazat

$$S = U \cdot I$$

În trifazat

$$S = U_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma}$$

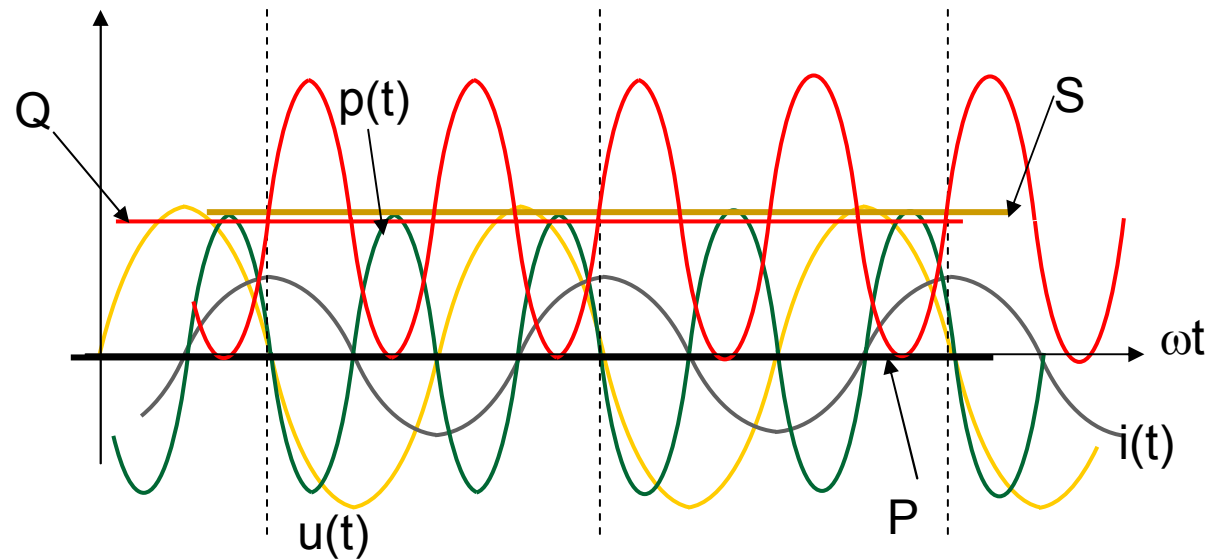


$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

# Puterea aparentă și reactivă și deformantă

conform cu standardul IEEE 100-1977 puterea deformantă

$$D = \sqrt{\sum_{r=1}^{\infty} \sum_{p=1}^{\infty} \left\{ E_r^2 \cdot I_p^2 - E_r \cdot E_p \cdot I_r \cdot I_p \cdot \cos(\theta_r - \theta_p) \right\}}$$



## Puterea aparentă complexă instantanee

Dacă tensiunea și curentul instantaneu se exprimă prin intermediul fazorilor

$$\underline{u} = U_m e^{j(\omega t + \alpha)} \quad \underline{i} = I_m e^{j(\omega t + \beta)}$$

Puterea aparentă complexă instantanee

$$\underline{s} = \frac{1}{2} \underline{u} (\underline{i} + \underline{i}^*) = p + jq = s(t) e^{j\lambda}$$

Puterea complexă aparentă  $\underline{S}$  este valoarea medie puterii aparente complexe Instantanee.

$$\underline{S} = \frac{1}{T} \int_0^T \underline{s} \cdot dt = \frac{1}{2} \underline{u} \cdot \underline{i}^* = P + jQ = S e^{j\varphi}$$

În regim trifazat definiind fazorii generalizați ai tensiunii și curentului, puterea complexă aparentă

$$\underline{S} = \frac{1}{T} \int_0^T \underline{s} \cdot dt = \frac{3}{2} \underline{u} \cdot \underline{i}^* = P + jQ = S e^{j\varphi}$$

---

## Definiții

Ce este factorul de putere

Factorul de putere este definit ca raportul dintre puterea activă  $P$  și puterea aparentă  $S$  a sistemului.

În regim sinusoidal se poate defini cosinusul unghiului dintre tensiune și curent.

Curentul de linie a mașinilor de curent alternativ, transformatoarelor și altor dispozitive inductive conține două componente: curentul de magnetizare și curentul ce produce putere.

**Curentul de magnetizare** este un curent ce produce fluxul magnetic în mașină. Această componentă a curentului creează o putere reactivă  $Q$ , ce este măsurată în kilovolți-amperi reactivi (kvar).

**Curentul ce produce puterea** este un curent ce interacționează cu fluxul magnetic pentru a produce cuplu mașinii.

---



# Definiții

Cuplul mașinii:

$$C = k_c \cdot \Phi \cdot I_p$$

Unde:

$K_c$  este constanta de cuplu

$\Phi$  este fluxul de magnetizare din întrefier

$I_p$  curentul ce produce cuplul, puterea

Diagrama curenților

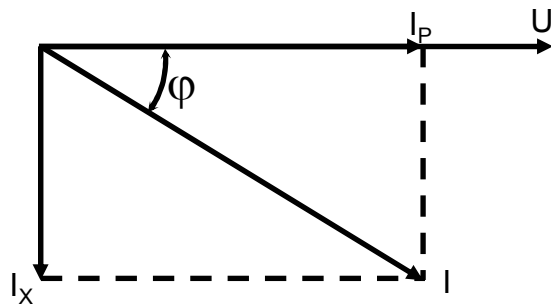
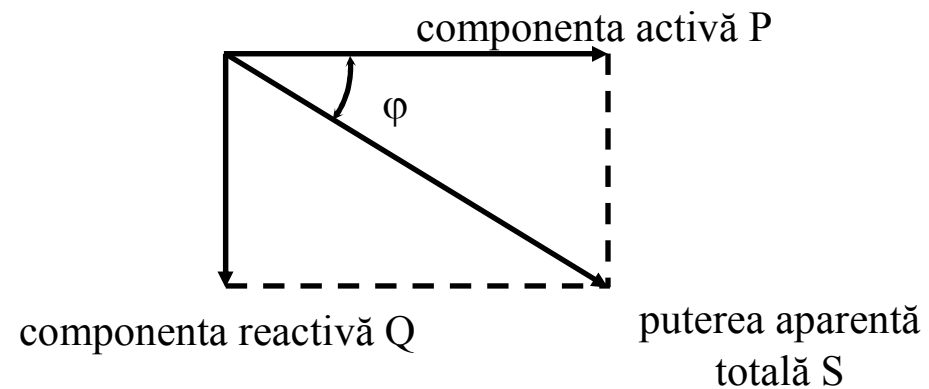


Diagrama puterilor

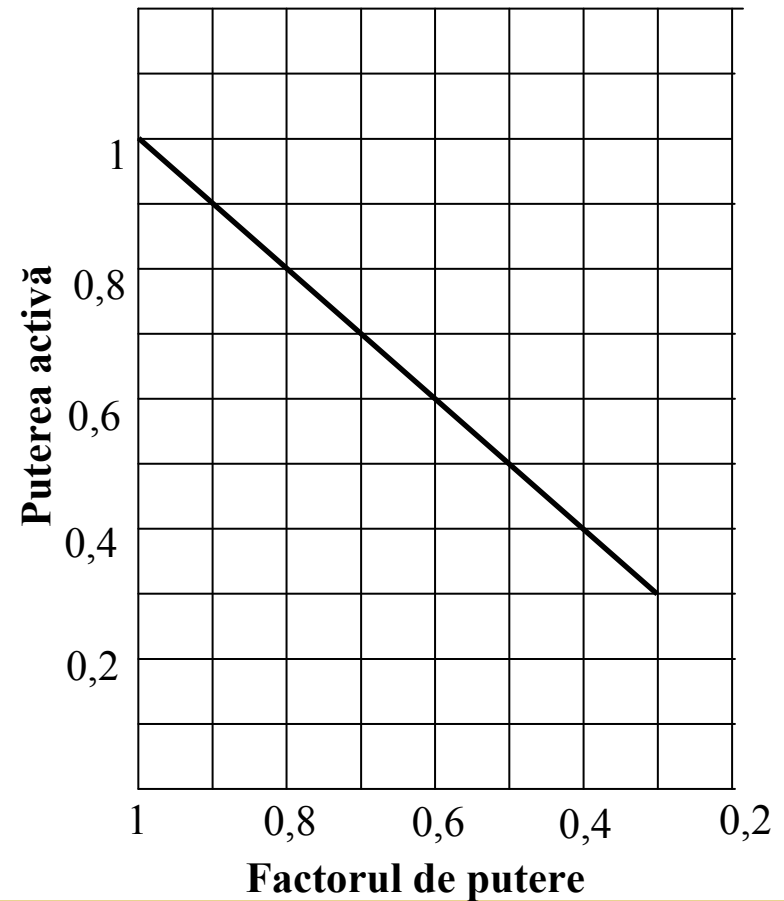


## Efectele factorului de putere scăzut

Factorul de putere scăzut cauzează pierderi adiționale în sistem.

- crește curentul la aceeași putere activă
- Cresc pierderile în conductoare de legături și dispozitive

Determină micșorarea puterii active disponibile la borna unui transformator



## Efectele factorului de putere scăzut

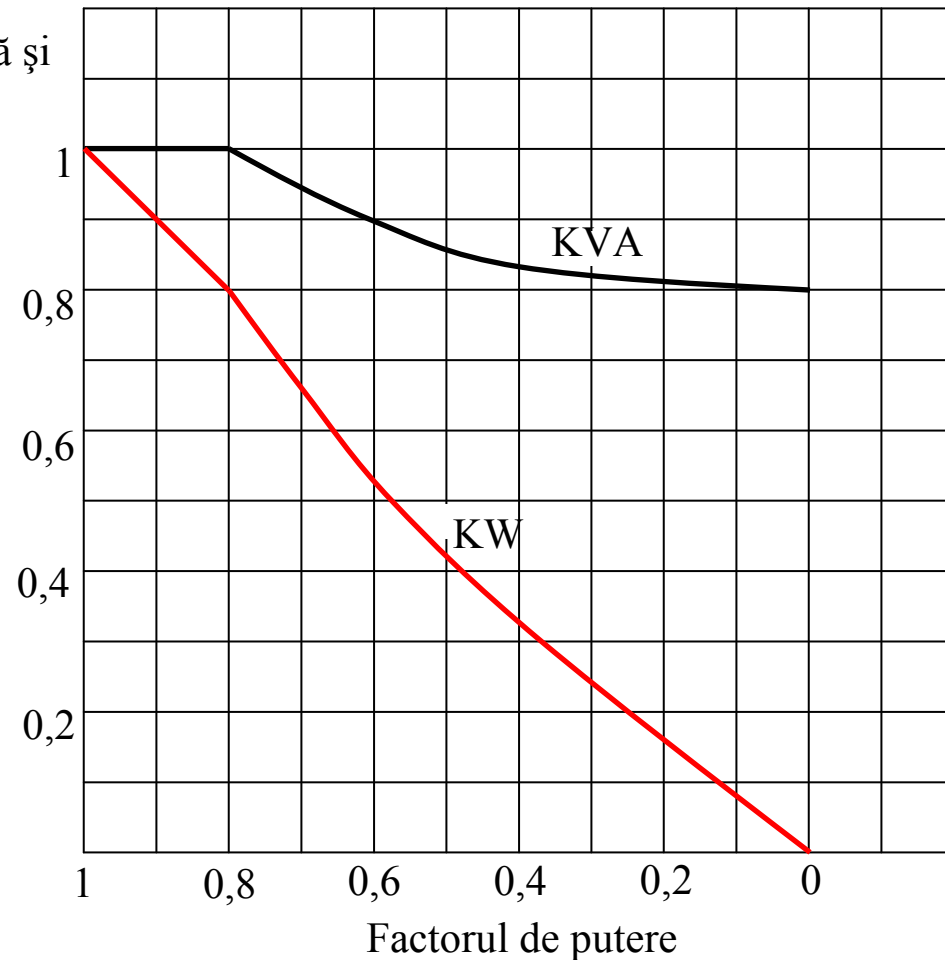
Determină micșorarea puterii active și aparente disponibile la borna unui generator sincron.

Determină creșterea pierderilor pe linia de transport a energiei.

Reduce puterea disponibilă în sistem, micșorează stabilitatea sistemului.

Pentru a descuraja un factor de putere scăzut al sarcinilor, majoritatea furnizorilor de energie electrică impun anumite forme de penalizare.

Puterea  
aparentă și  
activă



---

## Rezultatele îmbunătățirii factorului de putere

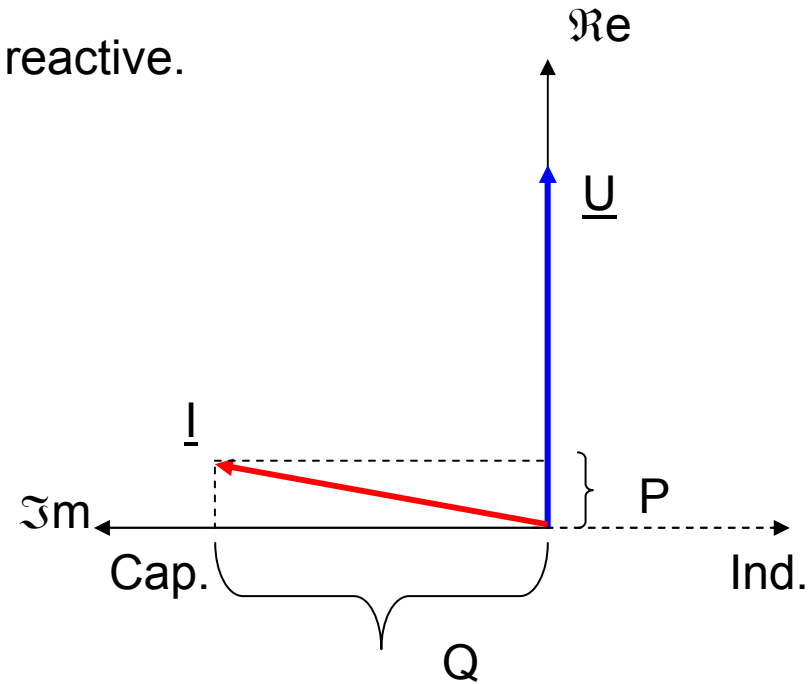
1. Un factor de putere mare elimină penalizările.
  2. Un factor de putere mare reduce sarcina în transformator și în echipamente
  3. Un factor de putere mare scade pierderile  $I^2R$  în transformatoare, în cabluri și în alte echipamente
  4. Un factor de putere mare reduce sarcina în generatoare sincrone
  5. Un factor de putere mare ajută la stabilizarea tensiunii din sistem prin  
Creșterea puterii aparente disponibile
-

# Cum se îmbunătățește factorul de putere ?

Prin injectarea în sistem a unei puteri reactive.

Cum se poate obține putere reactivă ?

1. condensatoare



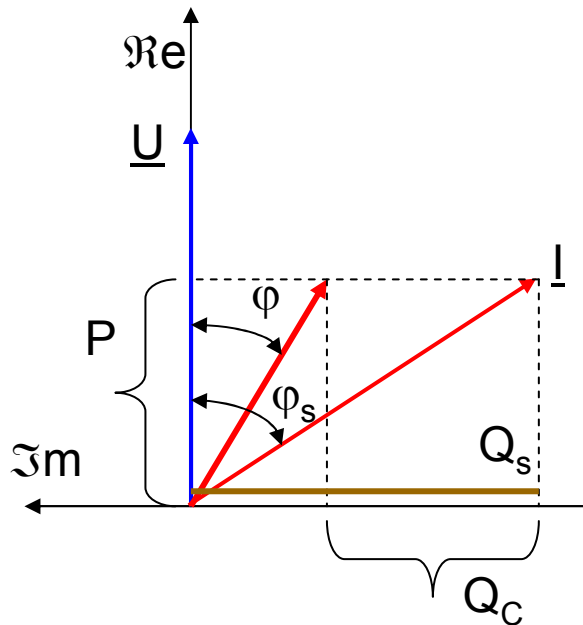
2. Mașină sincronă supraexcitată

O aplicație tipică a motoarelor sincrone este antrenarea unui compresor de aer necesar sistemului de compensare a aerului pentru instalație.

## Puterea reactivă necesară compensării

Cea mai populară metodă de îmbunătățire a factorului de putere la un sistem de distribuție cu tensiune scăzută este utilizarea condensatoarelor de putere..

Mărimea și locația condensatoarelor de corecție trebuie determinată



$Q_c$  puterea reactivă a capacității

$$Q_c = P(\operatorname{tg}(\varphi_s) - \operatorname{tg}(\varphi))$$

Depinde de sarcina activă.

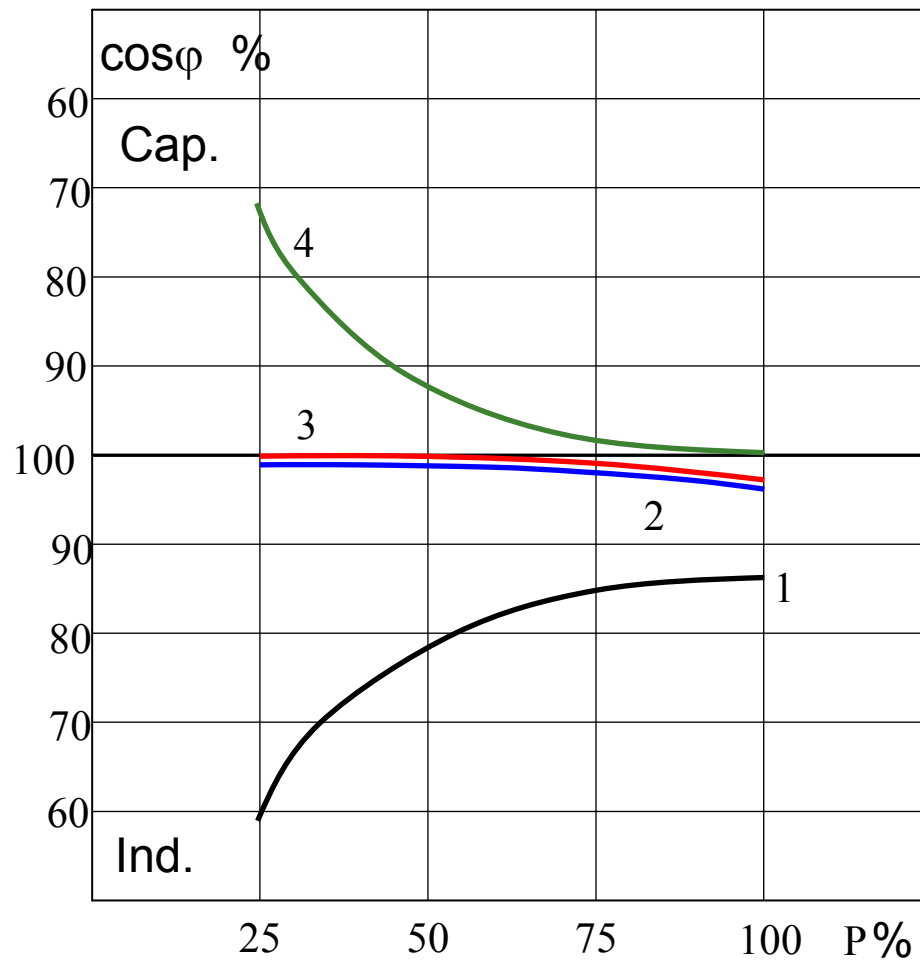
Factorul de corecție depinde numai de valoarea inițială și finală a factorului de putere

$$k_{c\varphi} = (\operatorname{tg}(\varphi_s) - \operatorname{tg}(\varphi))$$

## Valorile coeficientului $k_{c\phi}$

Factorul de putere existent, %	Factorul de putere corectat, %			
	100	95	90	85
60	1,333	1,005	0,849	0,714
62	1,265	0,937	0,781	0,646
64	1,201	0,872	0,716	0,581
66	1,138	0,810	0,654	0,519
68	1,078	0,750	0,595	0,459
70	1,020	0,692	0,536	0,400
72	0,964	0,635	0,480	0,344
74	0,909	0,780	0,425	0,289
76	0,855	0,526	0,371	0,235
78	0,802	0,474	0,318	0,183
80	0,750	0,421	0,266	0,130
81	0,724	0,395	0,240	0,104
82	0,698	0,369	0,214	0,078

# Compensarea factorului de putere



Factorul de putere, pentru un motor de inducție de 36 kW cu diferite nivele de corecție.

1- Factorul de putere, necorectat

2- Factorul de putere, corectat cu 12-kvar

3 - Factor de putere corectat cu 13,7-kvar

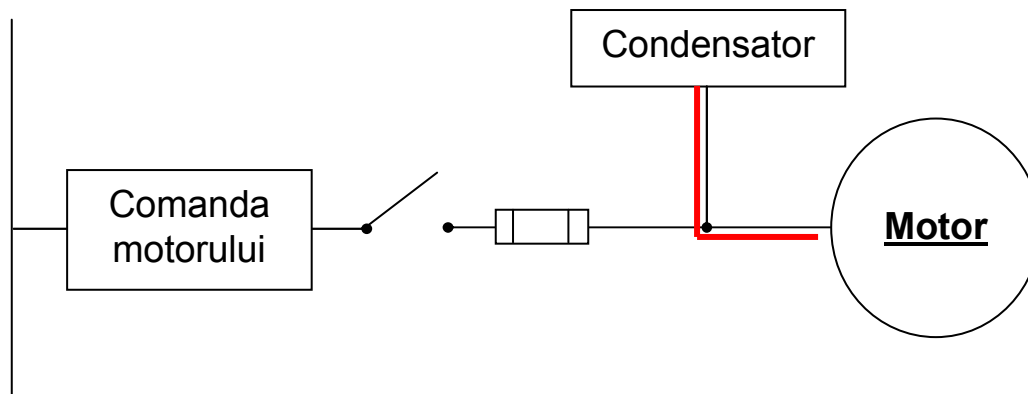
4 - Factor de putere corectat cu 23,7-kvar



## Locul de montare a capacității

Condensatorii, la tensiunea joasă, pentru corectarea factorului de putere trebuie să fie conectați cât mai aproape posibil de sarcină.

*Condensatori conectați la bornele motorului*



Pierderi reduse

Nu necesită aparate de conectare

La decuplare sarcina condensatorului se consumă prin înfășurările motorului

**Niciodată nu se conectează condensatorii direct la motor în cazurile următoare:**

Dacă motorul face parte dintr-un sistem de frecvență reglabilă

Dacă motorul este pornit și oprit repetat (serviciul S3 - S8 )

Dacă se utilizează un motor cu mai multe viteze

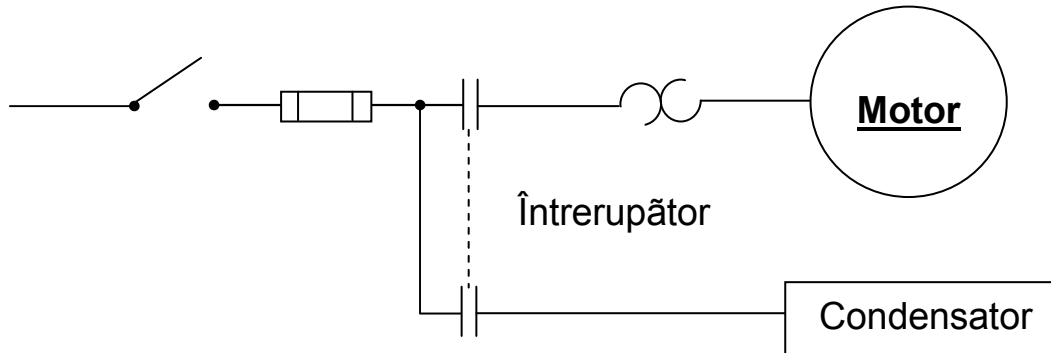
Dacă se utilizează un motor care funcționează în ambele sensuri

Dacă este posibil ca sarcina să devină inerțială.

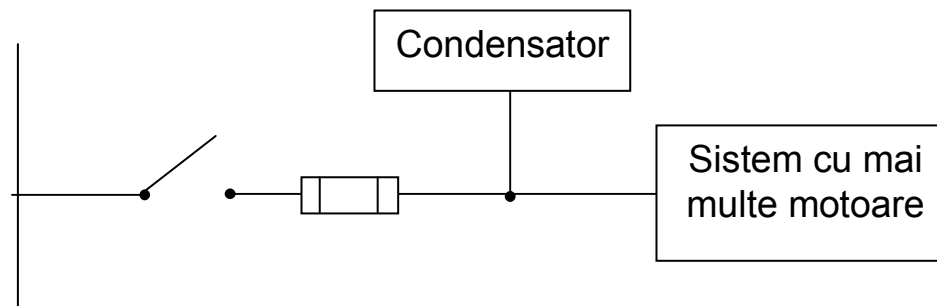
~~În toate aceste cazuri tensiunea de autoexcitare sau curenții de tranziție pot produce stricăciuni la condensatori sau motor.~~

# Locul de montare a capacității

Cu întrerupător separat pentru condensatori

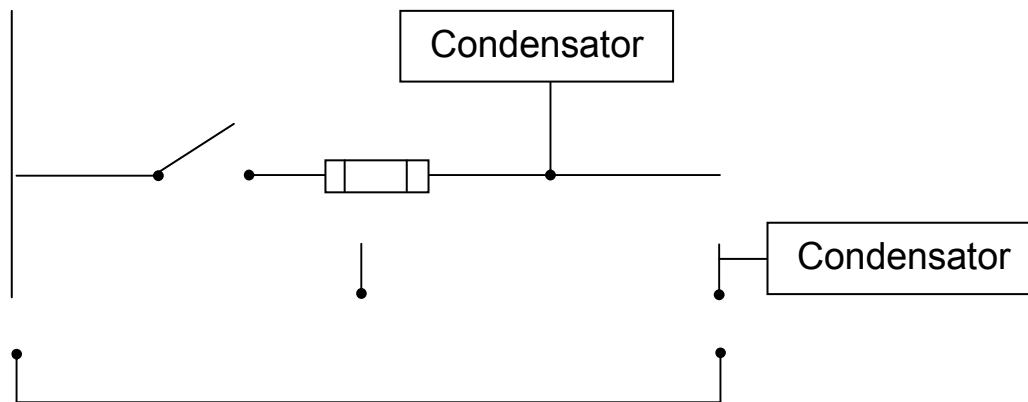


*Condensatori conectați la magistrala principală de curent pentru un sistem de mai multe motoare*



# Locul de montare a capacității

*Condensatori conectați la centrul de distribuție*



Așezarea cea mai practică

Când există o diversitate de sarcini mici ce necesită corectarea factorului de putere condensatorii se conectează la centrul de distribuție sau în apropierea sarcinii cea mai mare.

## Exemplu de calcul al costurilor

În nota de plată se iau în considerare trei lucruri:

1. Costul energiei consumate  $C_{ec} = 0,05 \text{ USD} / \text{KWh}$

2. Costul puterii totale cerute  $C_{pc} = 5,50 \text{ USD} / \text{KW}$

3. Costurile suplimentare datorate factorului de putere mai mic de 85%

Penalitățile platite depind de factorul de putere minim  $\eta_m$ , factorul de putere real  $\eta$  și de puterea totală cerută  $P_{tc}$

$$C_{sfp} = \frac{\eta_m - \eta}{\eta} P_{tc} \cdot C_{pc}$$

Fabrica a folosit într-o lună 240000 KWh	x 0,05 =	12.000 USD
cererea de putere totală a fost de 1700 kW	x 5,5 =	9.350 USD
factor de putere de 70%.	$15 \times 1700 \times 5,5 / 70 =$	<b>2.003,5 USD</b>

---

**23.353,5 USD**

## Exemplu de calcul al capacitatii

Pentru exemplul anterior, considerand toata puterea:

Puterea reactiva necesara

$$Q_C = 1700 \cdot [tg(\arccos(0.70)) - tg(\arccos(0.85))] = 679,3 \text{ kVAr}$$

Pentru un motor de 30 kW,  $\eta = 0,9$  ;  $\cos\varphi = 0,91$ ;  $i_0 = 29\%$ ;  $\cos\varphi_0 = 0,105$

Puterea absorbita

$$P_a = \frac{P}{\eta} = \frac{30}{0.9} = 33.333 \text{ kW}$$

Capacitatea necesara pentru a mări factorul de putere la 0,95 în sarcina nominală

$$Q_C = 3,333 \cdot [tg(\arccos(0.9)) - tg(\arccos(0.95))] = 5,2 \text{ kVAr}$$

## Exemplu de calcul al capacitatii

Se verifica supracompensarea la mersul in gol

$$\text{Puterea la mersul in gol} \quad P_0 = P_a \cdot i_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi} = 33.333 \cdot 0,384 \frac{0,105}{0,9} = 1,49 \text{ kW}$$

Puterea reactiva la mersul in gol al motorului

$$Q_0 = P_0 \cdot \text{tg}(\varphi_0) = 1,49 \cdot 9,5144 = 14,17 \text{ kVAr}$$

$$Q_0 > Q_C$$

Deci condensatorul este bine ales

Factorul de putere la mers in gol va fi:

$$\text{tg} \varphi_0' = \frac{Q_0 - Q_C}{P_0} = \frac{14,17 - 5,2}{1,49} = 6,0244$$

$$\cos \varphi_0' = 0,183$$