

---

## **ARBEIDSFACITOR COMPENSATIE VAN REACTIEF VERMOGEN**

---

De factor  $\cos\varphi$  wordt de arbeidsfactor van de belasting genoemd. Deze wordt bepaald door  $R / |Z|$  en wordt derhalve uitsluitend bepaald door de aangesloten belasting (elektrische verbruikers).

### **I. NADELEN VAN EEN LAGE ARBEIDSFACITOR**

Om bij een gegeven spanning  $U$  een zeker actief vermogen  $P$  te leveren, zal naarmate de arbeidsfactor  $\cos\varphi$  van de belasting lager is, de vereiste stroomsterkte  $I$  en daarmee het vereist schijnbaar vermogen  $S$  om dit actief vermogen te leveren groter worden. Dit impliceert dat in de bron (generator) en in de transportleidingen grotere energieverliezen (jouleverliezen) zullen optreden, ofwel dat de leidingdoorsneden groter moeten genomen worden. Dit betekent voor elektriciteitsbedrijven dus grotere aanlegkosten voor het distributienet.

Een generator kan een zeker maximaal schijnbaar vermogen

$$|S_{max}| = U_{nom} \times I_{max}$$

leveren zonder risico dat de spoelwikkelingen oververhitten. Als de arbeidsfactor van de aangesloten belasting klein is, zal het maximaal actief vermogen dat de generator aan die belasting kan leveren, ook klein zijn in verhouding tot  $S_{max}$ .

Om die nadelen te vermijden, eisen elektriciteitsbedrijven dat de arbeidsfactor van een elektrische installatie aangesloten op het distributienet niet lager zou zijn dan 0,9.

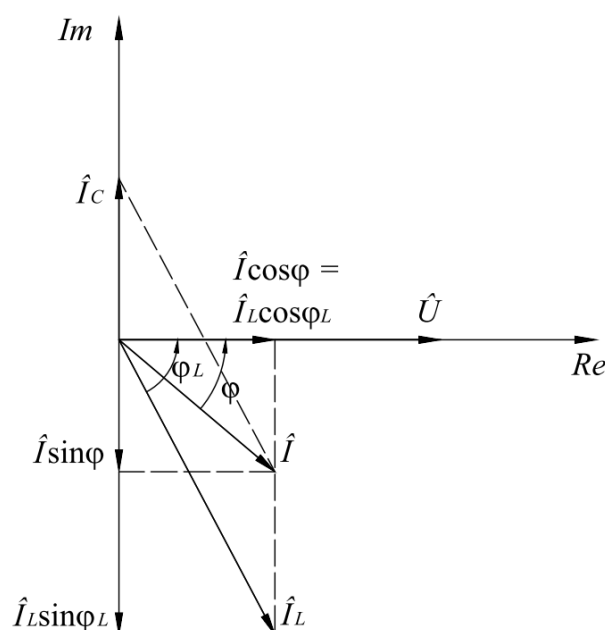
### **II. VERBETEREN VAN EEN TE LAGE ARBEIDSFACITOR**

De meest gebruikte methode om een te lage (slechte) arbeidsfactor te verbeteren (te verhogen) is het parallelschakelen van een condensator met gepaste capaciteit over een inductieve verbruiker (= serieschakeling van weerstand en inductantie).

Hierdoor verandert de stroom  $I_L$  door de inductieve verbruiker niet, maar de opgenomen stroom  $I$  uit het net is nu de vectoriële som van  $I_L$  en  $I_C$  in de condensatorkring.

I.p.v. het distributienet levert de condensator nu de reactieve energie aan de inductieve verbruiker. Het reactief vermogen (blindvermogen, slingervermogen) slingert in werkelijkheid heen en weer tussen de condensator en de inductieve verbruiker.

Zie het volgend fasordiagram van de parallelschakeling van een condensator en een inductieve verbruiker:



$I_L$  is de stroom die de inductieve verbruiker opneemt. Indien er geen condensator is, wordt deze stroom uit het net opgenomen.  $U$  is de netspanning. De inductieve stroom  $I_L$  ijlt na op de netspanning. Deze kan ontbonden worden in een reactieve component, die de netspanning  $90^\circ$  naijlt, en een actieve component, die in fase is met de netspanning.

Sluiten we aan het net een (ideale) condensator aan, dan zal de stroom door die condensator  $90^\circ$  voorijlen op de netspanning. Het net levert nu een stroom  $I$  die gelijk is aan de vectoriële som van  $I_C$  en  $I_L$ .

We stellen vast dat:

1. De reactieve stroomcomponent van de netstroom  $I$  is kleiner geworden; het verbeteren van  $\cos\varphi$  komt dus in feite neer op het gedeeltelijk opheffen van de reactieve stroomcomponent van de inductieve belasting:

$$I \sin\varphi = I_L \sin\varphi_L - I_C$$

2. De actieve stroomcomponent is praktisch constant gebleven:

$$I \cos \varphi = I_L \cos \varphi_L$$

Dit impliceert dat de parallelschakeling van de condensator praktisch geen impact heeft op het geleverd actief vermogen.

3. De opgenomen stroom uit het net is kleiner geworden.  
 4. De faseverschuivingshoek  $\varphi$  tussen de netspanning  $U$  en de netstroom  $I$  is kleiner geworden, m.a.w. de arbeidsfactor  $\cos \varphi$  is verhoogd.

Tussen de stroom door een condensator en de spanning over een condensator bestaat de "complexe" relatie:

$$\hat{I}_C = \frac{\hat{U}}{Z} = j\omega C \cdot \hat{U}$$

Wanneer meerdere condensatoren parallel worden geschakeld, wordt de totale impedantie van die parallelschakeling gelijk aan:

$$\frac{1}{Z_p} = \sum_i \frac{1}{Z_i} = j\omega \sum_i C_i$$

Door meerdere condensatoren parallel te schakelen, vergroot aldus de totale condensatorstroom  $\hat{I}_C$ , waardoor de reactieve stroomcomponent van de netstroom nog verder afneemt, de arbeidsfactor verder wordt verhoogd en de opgenomen netstroom  $I$  kleiner wordt.

Wordt de condensatorstroom even groot als de reactieve component  $I_L \sin \varphi_L$  van de stroom die de inductieve verbruiker opneemt, dan komt de netstroom in fase met de netspanning: de belasting gedraagt zich t.a.v. het net als een zuiver resistieve belasting en er is dan sprake van resonantie.

Om stroomopslingering (overbelasting) te voorkomen, zorgt men in de praktijk dat de arbeidsfactor niet gelijk wordt gemaakt aan 1, maar slechts  $\cos \varphi = 0,9$  tot  $0,95$  is. Zou men nog meer condensatoren parallel schakelen, dan zou de stroom kunnen voorijlen (capacitief gedrag) en de arbeidsfactor weer afnemen.

### III. BEPALING VAN DE BENODIGDE CONDENSATORCAPACITEIT

Uit het bovenstaand fasordiagram kan men afleiden dat:

$$\begin{aligned}
 I_C &= I_L \sin \varphi_S - I \sin \varphi \\
 I_L \cos \varphi_S &= I \cos \varphi \Rightarrow I_L = I \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_S} \\
 I_C &= I \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_S} \cdot \sin \varphi_S - I \sin \varphi \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi} \\
 I_C &= I \cos \varphi \cdot (\tan \varphi_S - \tan \varphi) \\
 UI_C &= UI \cos \varphi \cdot (\tan \varphi_S - \tan \varphi) \\
 \omega CU^2 &= P \cdot (\tan \varphi_S - \tan \varphi) \\
 \Rightarrow C &= \frac{P \cdot (\tan \varphi_S - \tan \varphi)}{\omega U^2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

- $\varphi_S$  = de faseverschuivingshoek van de netstroom vóór verbetering = de faseverschuivingshoek van de inductieve verbruiker.  
 $\varphi$  = de gewenste faseverschuivingshoek van de netstroom  
 $C$  = benodigde capaciteit van de condensator (eenheid Farad, F)

NOOT: Het reactief vermogen van de condensator (VAR)

$$UI_C = U^2 \omega C = \frac{U^2}{|X_C|} = Q_C$$

#### IV. BEPALING VAN DE CONDENSATORCAPACITEIT A.H.V. GEMETEN ACTIEF EN REACTIEF VERBRUIK

$$\begin{aligned}
 Q_C &= P \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi) = Q - P \cdot \tan \varphi \\
 Q &= E_R / \Delta t \\
 P &= E_A / \Delta t \\
 Q_C &= \frac{E_R}{\Delta t} - \frac{E_A}{\Delta t} \cdot \tan \varphi \\
 Q_C &= \frac{E_R - E_A \cdot \tan \varphi}{\Delta t} \quad (2) \\
 \omega C U^2 &= \frac{E_R - E_A \cdot \tan \varphi}{\Delta t} \\
 C &= \frac{E_R - E_A \cdot \tan \varphi}{\Delta t \cdot \omega U^2}
 \end{aligned}$$

- $Q$  = reactief vermogen zonder compensatie  
 $E_r$  = gemeten reactief verbruik (zie factuur energieleverancier) kVAh  
 $E_a$  = gemeten actief verbruik (zie factuur energieleverancier) kWh  
 $\Delta t$  = meetperiode (omgerekend naar aantal uren)

#### V. DRIEFASIGE INSTALLATIE

In het geval van een driefasige installatie is er één condensator per fase, dus drie condensatoren in totaal. Deze drie condensatoren kunnen, hetzij in driehoek, hetzij in ster aan het net verbonden worden.

Als de condensatoren in driehoek geschakeld zijn, kan men voortgaand op het eenfasig geval schrijven:

$$\begin{aligned}
 3 \cdot U \cdot I_C &= 3 \cdot U I \cos \varphi \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi) \\
 3 \cdot \omega C \cdot U_l^2 &= \sqrt{3} \cdot U_l I_l \cos \varphi \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi) \quad (3) \\
 C &= \frac{P \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi)}{3 \omega U_l^2}
 \end{aligned}$$

De effectieve spanning  $U$  over de condensatoren (fasespanning) in een driehoekschakeling is gelijk aan de lijnspanning  $U_l$  van het driefasig net.  $U$  kunnen we dus vervangen door  $U_l$ .

De effectieve waarde  $I_C$  van de stroom door de condensator is gerelateerd aan de effectieve spanning  $U$  over de condensator door  $I_C = \omega CU$ .

Het produkt  $3UI\cos\varphi$  is het driefasig actief vermogen  $P$  dat de belasting opneemt.  $U$  is de fasespanning over de belasting,  $I$  is de fasestroom. De driefasige belasting kan in ster of driehoek geschakeld zijn.

In ster geldt volgende relatie tussen fase- en lijngrootheden:

$$U = \frac{U_I}{\sqrt{3}} \text{ en } I = I_I$$

In driehoek geldt:

$$U = U_I \text{ en } I = \frac{I_I}{\sqrt{3}}$$

Indien de condensatoren in ster zijn geschakeld, geldt dat de spanning over een condensator (fasespanning) gelijk is aan de lijnspanning van het driefasig net gedeeld door de vierkantswortel van drie:

$$C = \frac{P \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi)}{3\omega \left( U_I / \sqrt{3} \right)^2} = \frac{P \cdot (\tan \varphi_s - \tan \varphi)}{\omega U_I^2} \quad (4)$$

Vergelijkt men vgl. (4) met vgl. (3) dan blijkt dat, indien de condensatoren in ster geschakeld worden, de capaciteiten driemaal groter moeten zijn dan indien de condensatoren in driehoek geschakeld worden.