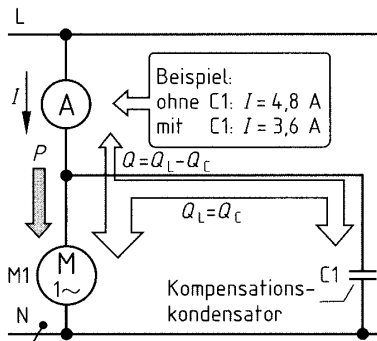


7. Wechselstrom
7.10 Kompensation bei Wechselstromverbrauchern

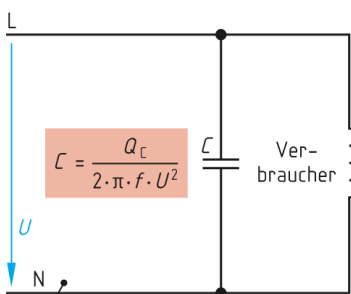
Das Kompensieren dient der Entlastung des Leitungsnetzes von Blindleistung. Dabei unterscheidet man die Parallel- und die Reihenkompensation. Die erforderliche Kompensationsleistung Q_C kann grafisch oder rechnerisch mit den Winkelfunktionen ermittelt werden.



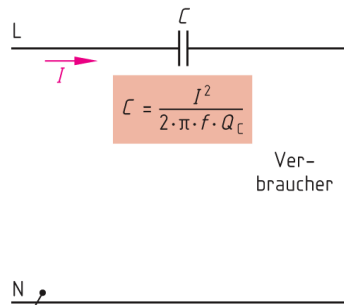
Parallelkompensation eines Motors (Prinzip)

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Q_C	Kapazitive Blindleistung
P	Wirkleistung
φ_1	Phasenverschiebungswinkel vor der Kompensation
φ_2	Phasenverschiebungswinkel nach der Kompensation



Parallelkompensation



Reihenkompensation

$$C = \frac{I^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Q_C}$$

C	Kapazität des Kompensationskondensators
Q_C	Kapazitive Blindleistung
f	Frequenz
U	Spannung am Kondensator
I	Strom

129.1

Ein Wechselstrommotor hat bei 230 V 50 Hz eine Leistungsaufnahme von 1,6 kW. Der Wirkleistungsfaktor beträgt $\cos \varphi = 0,65$. Durch Parallelkompensation soll der Wirkleistungsfaktor auf $\cos \varphi = 0,90$ verbessert werden.

Bestimmen Sie

- die erforderliche Blindleistung und
- die Kapazität des Kompensationskondensators.

Löser a)

$$\begin{aligned}
 Q_C &= Q_{\text{vor}} - Q_{\text{nach}} \\
 &= P \cdot \tan \varphi_{\text{vor}} - P \cdot \tan \varphi_{\text{nach}} \\
 &= P \cdot (\tan \varphi_{\text{vor}} - \tan \varphi_{\text{nach}}) = P \cdot (\tan(\arccos \varphi_{\text{vor}}) - \tan(\arccos \varphi_{\text{nach}})) \\
 &= 1,6 \text{ kW} \cdot (\tan(\arccos 0,65) - \tan(\arccos 0,9)) \\
 &= 1,6 \text{ kW} \cdot (\tan 49,4583\dots^\circ - \tan 25,8419\dots^\circ) = 1,6 \text{ kW} \cdot (1,1691\dots - 0,4843\dots) \\
 &= 1,0956\dots \text{ k var} \\
 &\approx 1,1 \text{ k var}
 \end{aligned}$$

Lösung b)

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Q_C}{\omega \cdot U^2} \\
 &= \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} \\
 &= \frac{1100 \text{ VA}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot (230 \text{ V})^2} = 6,6189\dots \cdot 10^{-5} \frac{\text{VA s}}{\text{V}^2} = 66,189\dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}} \\
 &\approx 66 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

129.2

Ein Wechselstrommotor hat die Bemessungsdaten: $U = 230 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $P = 1,8 \text{ kW}$, $\eta = 0,82$ und $\cos \varphi = 0,7$. Durch Parallelkompensation soll der Wirkleistungsfaktor auf $\cos \varphi = 0,90$ verbessert werden.

Berechnen Sie die Kapazität C des Kompensationskondensators.

Lösung:

- a) Zugeführte Leistung (Leistungsaufnahme des Motors):

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}$$

- b) **Berechnung der Kapazität C des Kompensationskondensators**

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U)^2} = \frac{P \cdot (\tan(\arccos \varphi_{\text{vor}}) - \tan(\arccos \varphi_{\text{nach}}))}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U)^2} \\
 &= \frac{1800 \text{ VA}}{0,82} \cdot (\tan(\arccos 0,7) - \tan(\arccos 0,9)) \\
 &= \frac{2195,12 \text{ VA}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot (230 \text{ V})^2} = 7,0781\dots \cdot 10^{-5} \frac{\text{As}}{\text{V}} \\
 &\approx 71 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

130.7

An 230 V 50 Hz nimmt eine Beleuchtungsanlage mit Leuchtstofflampen bei einem Wirkleistungsfaktor $\cos \varphi = 0,50$ eine Leistung von 2,5 kW auf. Der Wirkleistungsfaktor soll durch Parallelkompensation auf $\cos \varphi = 0,90$ verbessert werden.

Bestimmen Sie die kapazitive Blindleistung des Kompensationskondensators

- zeichnerisch und
- rechnerisch.

Berechnen Sie

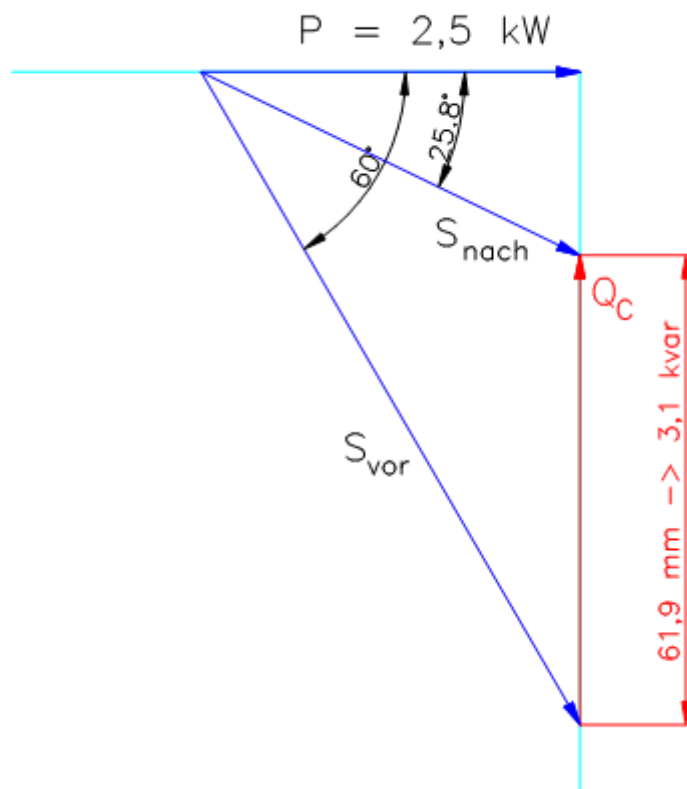
- die Kapazität des Kondensators,
- die Stromstärke vor und nach der Kompensation und
- den Kondensatorstrom.

Lösung a) Blindleistung des Kompensationskondensators (zeichnerische Lösung)

$$\varphi_{\text{vor}} = \arccos 0,5 = 60^\circ$$

$$\varphi_{\text{nach}} = \arccos 0,9 = 25,8419\dots^\circ$$

M: 10 mm = 500 W, 500 var, 500 VA



Lösung b) Blindleistung des Kompensationskondensators (rechnerische Lösung)

$$\begin{aligned}Q_C &= P \cdot (\tan(\arccos \varphi_{\text{vor}}) - \tan(\arccos \varphi_{\text{nach}})) \\&= 2500 \text{ VA} \cdot (\tan(\arccos 0,5) - \tan(\arccos 0,9)) \\&= 3119,32 \dots \text{ var} \\&\approx 3,1 \text{ k var}\end{aligned}$$

Lösung c) Kapazität des Kondensators

$$\begin{aligned}C &= \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} \\&= \frac{3100 \text{ VA}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot (230 \text{ V})^2} = 1,8653 \dots \cdot 10^{-4} \frac{\text{VA s}}{\text{V}^2} = 186,53 \dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}} \\&\approx 187 \mu\text{F}\end{aligned}$$

Lösung d) Stromstärke vor und nach der Kompensation

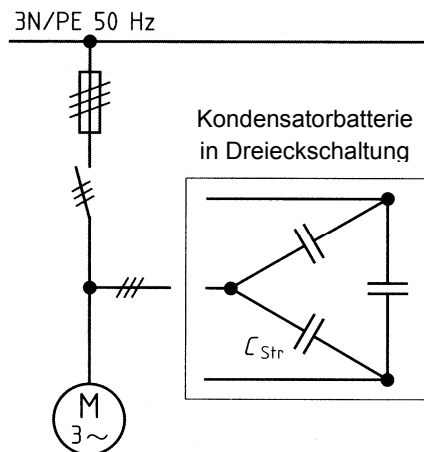
$$\begin{aligned}P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \\I_{\text{vor}} &= \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_{\text{vor}}} = \frac{2500 \text{ VA}}{230 \text{ V} \cdot 0,5} = 21,739 \dots \text{ A} \approx 21,7 \text{ A} \\I_{\text{nach}} &= \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_{\text{nach}}} = \frac{2500 \text{ VA}}{230 \text{ V} \cdot 0,9} = 12,077 \dots \text{ A} \approx 12,1 \text{ A}\end{aligned}$$

Lösung e) Kondensatorstrom

$$\begin{aligned}I_{bc} &= \frac{Q_C}{U} \\&= \frac{3100 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 13,478 \dots \text{ A} \\&\approx 13,5 \text{ A}\end{aligned}$$

8. Dreiphasenwechselstrom
8.4 Kompensation bei Drehstromverbrauchern

Drehstromverbraucher werden ähnlich wie Wechselstromverbraucher kompensiert. Aus der zu kompensierenden Blindleistung wird die Kondensatorkapazität ermittelt. Kondensatorbatterien können in Stern oder Dreieck geschaltet sein.



Kompensation eines Drehstrommotors (Prinzip)

$$C = \frac{Q_C}{\omega \cdot U^2} \quad C_{Str} = \frac{C}{3}$$

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

C	Gesamtkapazität der Kondensatorbatterie zu kompensierende Blindleistung
Q_C	Blindleistung
ω	Kreisfrequenz
U	Leiterspannung
C_{Str}	Strangkapazität
P	Wirkleistung
φ_1	Phasenverschiebungswinkel vor der Kompensation
φ_2	Phasenverschiebungswinkel nach der Kompensation

139.1

Die technischen Anschluss-Bedingungen (TAB) eines VNB fordern für Drehstrommotoren eine Kompensationsleistung von 35 % der Motor-Nennleistung (Motor-Bemessungsleistung).

Berechnen Sie die Kondensatorblindleistungen für folgende Drehstrommotoren:

- 5,5 kW,
- 15 kW und
- 55 kW.

Lösungen

- $Q_C = 0,35 \cdot P_{ab} = 0,35 \cdot 5,5 \text{ kW} = 1,925 \text{ k var}$
- $Q_C = 0,35 \cdot P_{ab} = 0,35 \cdot 15 \text{ kW} = 5,25 \text{ k var}$
- $Q_C = 0,35 \cdot P_{ab} = 0,35 \cdot 55 \text{ kW} = 19,25 \text{ k var}$

139.2

Ein Drehstromtransformator nimmt am Drehstromnetz 400 V 50 Hz einen Strom von 34 A auf. Das EVU fordert eine Kondensatorblindleistung von 60 % der Transformator-Scheinleistung.

- Welche Blindleistung muss kompensiert werden?
- Welche Strangkapazität muss der Kondensator haben?

Lösung a) zu kompensierende Blindleistung

$$\begin{aligned}Q_c &= 0,60 \cdot S \\&= 0,60 \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I \\&= 0,60 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 34 \text{ A} \\&= 14133,53 \dots \text{ var} \\&\approx 14,1 \text{ k var}\end{aligned}$$

Lösung b) Strangkapazität des Kondensators

$$\begin{aligned}C_{Str} &= \frac{C}{3} \\&= \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{Q_c}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} \\&= \frac{14134 \text{ VA}}{6 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot (400 \text{ V})^2} = 9,37289 \dots \cdot 10^{-5} \frac{\text{VA s}}{\text{V}^2} = 93,7289 \dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}} \\&\approx 94 \mu\text{F}\end{aligned}$$

139.6

In einem Fertigbetonwerk treibt ein 37-kW-Drehstrommotor für 400 V eine Mischmaschine an. Der Nennstrom beträgt 78 A, der Wirkungsgrad 92 %. Das EVU schreibt eine Kondensatorblindleistung von 45 % der Motorleistung vor.

Berechnen Sie

- die Blindleistung der Kondensatorbatterie,
- die Gesamtkapazität der in Dreieck geschalteten Kondensatoren,
- den Leistungsfaktor bei Nennbetrieb vor und nach der Kompensation und
- den Strom in der Zuleitung nach der Kompensation.

Lösung a) Blindleistung der Kondensatorbatterie

$$\begin{aligned} Q_C &= 0,45 \cdot P_{ab} \\ &= 0,45 \cdot 37 \text{ kW} \\ &= 16,65 \text{ k var} \end{aligned}$$

Lösung b) Gesamtkapazität der Kondensatoren

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} \\ &= \frac{16650 \text{ VA}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} (400 \text{ V})^2} = 3,3124 \dots \cdot 10^{-4} \frac{\text{VA s}}{\text{V}^2} = 331,24 \dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}} \\ &\approx 331 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Lösung c) Leistungsfaktor bei Nennbetrieb

Vor der Kompensation

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{\text{vor}} &= \frac{P_{zu}}{S} = \frac{P_{zu}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} = \frac{\frac{P_{ab}}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \\ &= \frac{P_{ab}}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I} = \frac{37000 \text{ VA}}{0,92 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 78 \text{ A}} = 0,7442 \dots \\ &\approx 0,744 \end{aligned}$$

$$Q_{L_vor} = P_{zu} \cdot \tan \varphi_{\text{vor}} = P_{zu} \cdot \tan(\arccos \varphi_{\text{vor}}) = \frac{37 \text{ kW}}{0,92} \cdot \tan 41,92^\circ \approx 36,1 \text{ k var}$$

Nach der Kompensation

$$\begin{aligned} Q_{L_nach} &= Q_{L_vor} - Q_C \\ &= 36,1k \text{ var} - 16,65k \text{ var} \\ &= 19,45 k \text{ var} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \varphi_{nach} &= \frac{Q_{L_nach}}{P_{Zu}} = \frac{Q_{L_nach}}{\frac{P_{ab}}{\eta}} \\ &= \frac{19450 \text{ VA} \cdot 0,92}{37000 \text{ VA}} = 0,4836\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{nach} &= \cos(\arctan 0,4836\dots) = 0,9002\dots \\ &\approx 0,90 \end{aligned}$$

Lösung d) Strom in der Zuleitung nach der Kompensation

$$P_{zu} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{P_{zu}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{P_{ab}}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \\ &= \frac{P_{ab}}{\eta \cdot U \cdot \cos \varphi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{nach} &= \frac{37000 \text{ VA}}{0,92 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,9} \\ &\approx 64,5 \text{ A} \end{aligned}$$