

Berechnung von Kompensationsanlagen

Blindleistung ist aus Sicht des energieliefernden Werkes ein unerwünschtes Nebenprodukt meist induktiver Verbraucher (Motoren, Transformatoren, Vorschaltgeräte usw.). Aus dem Leistungsdreieck ist ersichtlich, dass bei Kompensation die Scheinleistung abnimmt. Dadurch wird das Netz weniger belastet und es können kleinere Querschnitte für die Leitungen gewählt werden.

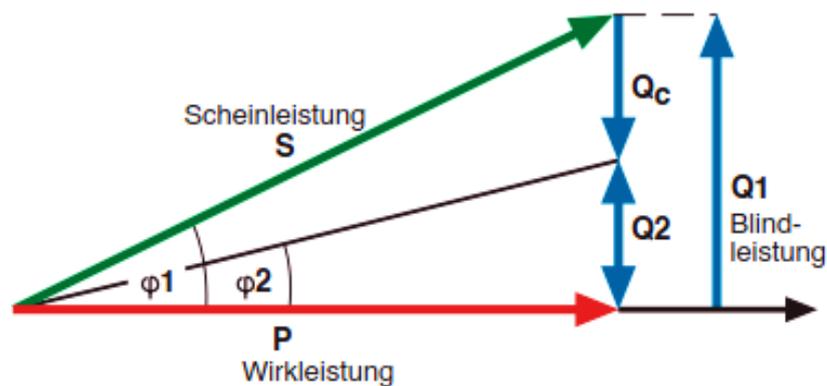


Abb. 1
Blindleistungskompensation

Um in industriellen Betrieben den Blindleistungsanteil auf ein akzeptables Maß zu reduzieren, wird eine Kompensationsanlage benötigt. Der Elektrotechniker unterscheidet Zentralkompensation von Gruppenkompensation und Einzelkompensation. Letztere wird bei Leuchtstoffröhren mit konventionellen Vorschaltgeräten angewandt. Bei den heutigen elektronischen Vorschaltgeräten entfällt sie, stattdessen treten andere Problem wie bspw. Oberschwingungen auf..

Um den durch Induktivitäten erzeugten Blindleistungsanteil zu kompensieren, werden Kondensatoren benötigt. Prinzipiell können Kondensatoren in Dreieck oder in Stern an das Drehstromnetz angeschlossen werden.

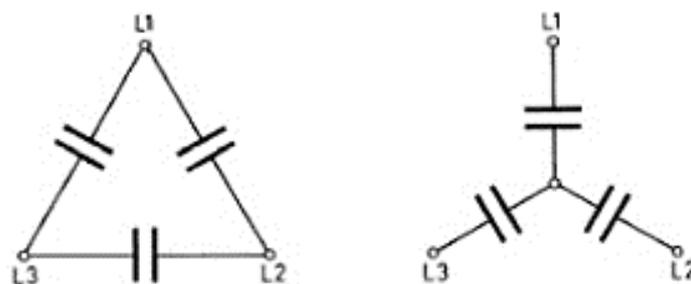


Abb. 2
Kondensatoren in Dreieck- und Sternschaltung

Blindleistung je Strang für Δ -Schaltung

$$Q_{C_{str\ dreieck}} = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot \omega C$$

Blindleistung je Strang für λ -Schaltung

$$Q_{C_{str\ stern}} = \frac{\left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2}{X_C} = \frac{U^2 \cdot \omega C}{3}$$

Gesamtblindleistung Δ -Schaltung

$$Q_{C_{ges\ dreieck}} = 3 \cdot U^2 \cdot \omega C$$

Gesamtblindleistung λ -Schaltung

$$Q_{C_{ges\ stern}} = U^2 \cdot \omega C$$

Ein Nachteil bei Dreieckschaltung ist, dass die Kondensatorspannung um den Faktor $\sqrt{3}$ grösser zu bemessen ist, als dies in Stern der Fall wäre. Dafür ist die abgegebene kapazitive Blindleistung bei gleicher Kapazität der Kondensatoren dreimal grösser. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass nur ein Drittel der Kapazität benötigt wird, um denselben Kompensationseffekt zu erzielen wie bei Verwendung der Sternschaltung.

Weil die höhere Spannungsfestigkeit der Kondensatoren mit geringerem Aufwand zu erreichen ist als die dreifache Kapazität bei Sternschaltung, werden Kompensationsanlagen in der Regel in Dreieck geschaltet.

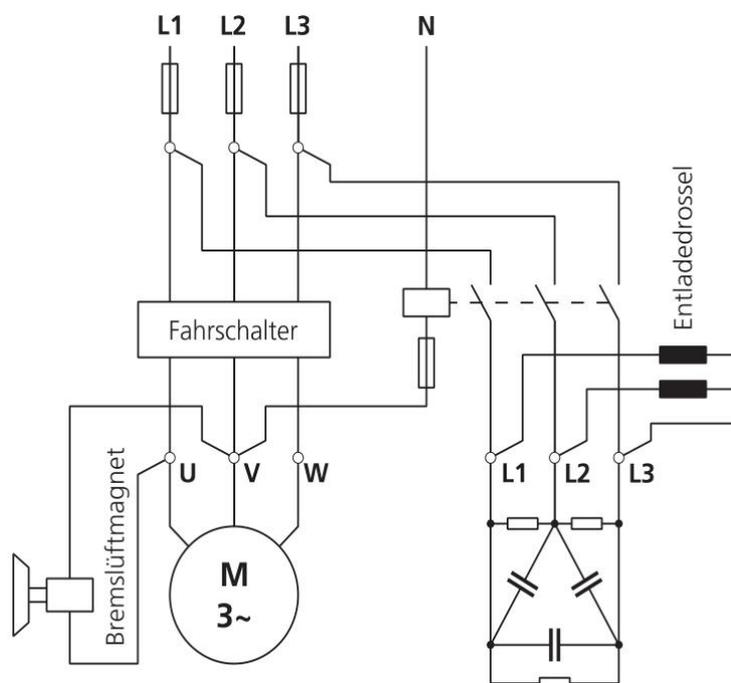


Abb. 2

Einzelkompensation in Dreieckschaltung für eine Aufzugmaschine¹

Die (Bleeder)-Widerstände dienen zur Entladung der Kondensatoren nach dem Ausschalten der Netzspannung.

Berechnungsbeispiel:

Eine Maschine besitzt eine Scheinleistung von 90 kVA. Der Leistungsfaktor ($\cos\varphi$) beträgt 0,64. Um die Blindleistung zu reduzieren soll der Leistungsfaktor auf 0,95 erhöht werden. Zu diesem Zweck werden drei Kondensatorblöcke (bestehend aus je vier parallelgeschalteten Kondensatoren) eingesetzt. Die Kondensatorblöcke werden in Dreieckschaltung an das Drehstromnetz angeschlossen.

- Wie gross muss die zur Verfügung gestellte kapazitive Blindleistung sein?
- Wie gross ist die Kapazität der einzelnen Kondensatoren?

¹ P. Riese: Handbuch der Blindleistungskompensation (FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH).

c) Für welche Spannung müssen die Kondensatoren bemessen sein?

Vorgehensweise:

- Zunächst wird die kapazitive Blindleistung berechnet.
- Dann wird die Strangkapazität (C_{str}) bestimmt.
- Aus C_{str} wird die Einzelkapazität abgeleitet.
- Zuletzt wird die Spannungsfestigkeit der Kondensatoren festgelegt.

1) Kapazitive Blindleistung

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

Der Tangens des Phasenverschiebungswinkels (φ) kann über den Arcus Cosinus² (acos) bestimmt werden. Mit einem Taschenrechner ist das kein Problem; dazu muss lediglich der Cosinus bekannt sein.

$\cos \varphi_1 = 0,64$	$\angle \varphi_1 = 50,2^\circ$	$\tan \varphi_1 = 1,2$
$\cos \varphi_2 = 0,95$	$\angle \varphi_2 = 18,2^\circ$	$\tan \varphi_2 = 0,33$

Die Wirkleistung (P) ergibt sich aus dem Produkt von Scheinleistung (S) und Leistungsfaktor:

$$P = S \cdot \cos \varphi = 90 \text{ kVA} \cdot 0,64 = 57,6 \text{ kW}$$

Nun kann die benötigte kapazitive Blindleistung berechnet werden.

$$Q_{C_{ges}} = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 57,6 \text{ kW}(1,2 - 0,33) = \underline{50,112 \text{ kvar}}$$

2) Kapazität der verwendeten Kondensatoren

Zuerst wird die Strangkapazität berechnet:

Ausgehend von der Gleichung für die Gesamtblindleistung bei Dreieckschaltung

$$Q_{C_{ges \text{ dreieck}}} = 3 \cdot U^2 \cdot \omega C$$

folgt für die Strangkapazität:

$$C_{str} = \frac{Q_{C_{ges}}}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{50'112 \text{ var}}{3 \cdot (400 \text{ V})^2 \cdot 2\pi f} = 332,5 \mu\text{F}$$

Nun kann die Einzelkapazität bestimmt werden. Bei Parallelschaltung von vier gleich grossen Kondensatoren beträgt die Einzelkapazität ein Viertel der Strangkapazität:

$$C = \frac{C_{str}}{4} = \underline{83,1 \mu\text{F}}$$

3) Spannungsfestigkeit der eingesetzten Kondensatoren

Die Spannungsfestigkeit wird aus dem Spitzenwert der anliegenden Netzwechselspannung ermittelt.

² Der Arcus Cosinus ist die Umkehrfunktion der Cosinusfunktion.

$$U_B = \sqrt{2} \cdot U_{eff} = \sqrt{2} \cdot 400 \text{ V} = \underline{566 \text{ V}}$$

In praxi wird aus Sicherheitsgründen ein höherer Wert gewählt, damit der Kondensator auch bei Stoßspannungen und Transienten funktionsfähig bleibt. Im vorliegenden Fall könnten z.B. Kondensatoren mit einer Bemessungsspannung von 750 VAC verwendet werden.

Anm.: Leistungskondensatoren besitzen eine Sollbruchstelle, die bei Überschreiten des zulässigen Gasdruckes die Verbindung unterbricht. Aufgrund des Gefahrenpotentials werden Leistungskondensatoren nur mit kurzgeschlossenen Polen gelagert und transportiert.³

Fachliteratur:

- Steffen, Bausch: Elektrotechnik Grundlagen (Teubner).

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungskondensator>