

Netzwerke und Schaltungen II, D-ITET

Übung 5

Leistungsanpassung, Blindleistung und Dreiphasensysteme

Aufgabe 1 Leistungsanpassung

Die Schaltung in Abbildung 1 enthält den Wirkwiderstand $R = 40\ \Omega$, die Induktivität $L = 50\ \text{mH}$ und die Kapazität $C = 10\ \mu\text{F}$. Der Generator hat eine Spannung von $\hat{u}_q = 50\ \text{V}$ mit der Kreisfrequenz $\omega = 1000\ \text{rad/s}$.

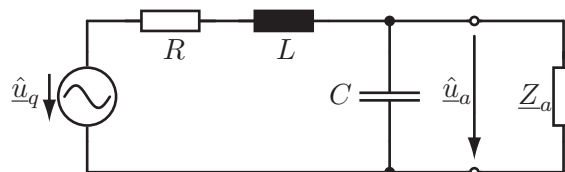


Abbildung 1: Netzwerk zu Aufgabe 1

- 1.1) Bestimmen Sie die komplexe Verbraucherimpedanz $\underline{Z}_a \in \mathbb{C}$ für eine maximale Leistungsaufnahme $P_{a,\max}$ und die zugehörige komplexe Klemmenspannung $\underline{\hat{u}}_a$. Wie gross ist $P_{a,\max}$?
- 1.2) Die Verbraucherimpedanz Z_a soll nun rein reell gewählt werden $Z_a = R_a$ (ohmsche Last). Bestimmen Sie R_a für die maximale Leistungsaufnahme $P_{a,\max}$ und die zugehörige komplexe Klemmenspannung $\underline{\hat{u}}_a$. Wie gross ist $P_{a,\max}$?
- 1.3) $\underline{Z}_a$ sei der komplexe Verbraucherwiderstand, welcher in Aufgabe 1.1) bestimmt wurde. Nun wird die Eingangsspannungsquelle durch eine Gleichspannungsquelle mit $U = \frac{50\ \text{V}}{\sqrt{2}}$ ersetzt. Muss Z_a als Serien- oder Parallelschaltung realisiert werden, damit eine Leistung übertragen wird? Welche Leistung P_a nimmt Z_a dann auf?

Aufgabe 2 Blindleistungskompensation

Für industrielle Antriebsaufgaben werden mit Rücksicht auf Robustheit und Wartungsfreiheit häufig Asynchronmaschinen eingesetzt. Allerdings nimmt diese Maschinenart Magnetisierungsblindleistung aus dem Netz auf und ist daher durch einen relativ schlechten Leistungsfaktor gekennzeichnet. Eine Verbesserung des Leistungsfaktors ist durch Kompensationskondensatoren an den Maschinenklemmen erreichbar. Dieses Prinzip ist in Abbildung 2 illustriert, wobei die eingezeichneten Widerstände des Kompensationsnetzwerks vernachlässigt werden können. Diese sind hochohmig gewählt und dienen zur Kondensatorentladung. Wir wollen im Weiteren eine derartige Kompensation für einen dreiphasigen, aus einem Netz mit Aussenleiterspannung $U_L = 400\text{ V}$ und Frequenz $f = 50\text{ Hz}$ gespeisten Motor betrachten welcher im Nennpunkt an der Welle eine mechanische Leistung von $P_{\text{mech}} = 250\text{ kW}$ abgeben soll. Der Wirkungsgrad des Motors betrage $\eta = 0.9$, der Leistungsfaktor (induktiver Grundschiebungsfaktor) $\cos(\phi) = 0.85$. Durch eine Kompensation soll der Leistungsfaktor auf $\cos(\phi') = 0.98$ verbessert werden.

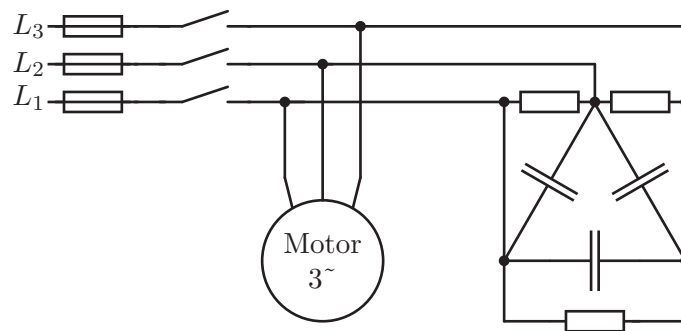


Abbildung 2: Kompensationsprinzip (Widerstände können vernachlässigt werden)

- 2.1) Bestimmen Sie die RL-Dreieck-Ersatzschaltung des Motors (mit Parallelschaltung von R und L) und die jedem Strang parallel zu schaltende Kompensationskapazität C_D . Um welchen Faktor werden die Übertragungsverluste durch die Verbesserung des Leistungsfaktors abgesenkt?
- 2.2) Skizzieren sie für einen Strang das Leistungsdiagramm und den Betriebspunkt in der Wirkleistungs-Blindleistungsebene vor und nach dem Einsetzen der Kompensationskapazität.
- 2.3) Die mechanische Last des Motors werde nun langsam verringert bis keine Leistung ($P = 0$) mehr abgegeben wird. Skizzieren Sie die bei der Leistungsverringerung durchlaufene Scheinleistungskurve $S = f(P)$ im Leistungsdiagramm. Dabei soll unter grober Näherung angenommen werden, dass der Blindstrom der Maschine

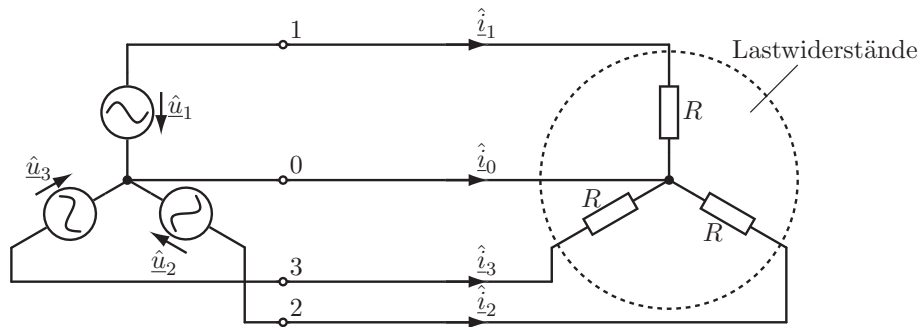
näherungsweise gleich wie im Nennarbeitspunktes sei. Welche Blindleistung wird bei $P = 0$ weiter vom Netz bezogen?

- 2.4) Anstelle der Dreieckschaltung der Kompensationskondensatoren soll nun eine Sternschaltung eingesetzt werden. Welche Kapazität C_S ist je Strang der Sternschaltung einzusetzen um die geforderte Kompensationswirkung zu erreichen?

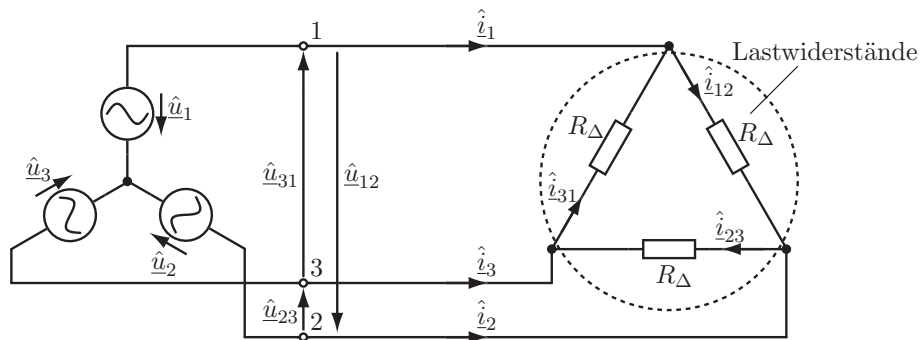
Aufgabe 3 Dreiphasensystem

Eine Sternschaltung drei gleich grosser Widerstände soll gemäss Abbildung 3(a) an einem symmetrischen Dreiphasennetz mit dem Effektivwert der Phasenspannung $U = 230\text{ V}$ und der Frequenz $f = 50\text{ Hz}$ betrieben werden. Die Werte der Widerstände betragen $R = 10\ \Omega$. Es gilt ausserdem:

$$\begin{aligned}\hat{u}_1 &= \sqrt{2} \cdot U \cdot e^{j0^\circ} & \hat{u}_2 &= \sqrt{2} \cdot U \cdot e^{-j120^\circ} & \hat{u}_3 &= \sqrt{2} \cdot U \cdot e^{j120^\circ} \\ \hat{u}_{12} &= \hat{u}_1 - \hat{u}_2 & \hat{u}_{23} &= \hat{u}_2 - \hat{u}_3 & \hat{u}_{31} &= \hat{u}_3 - \hat{u}_1\end{aligned}$$



(a) Sternschaltung



(b) Dreieckschaltung

Abbildung 3: Dreiphasenspannungsquelle und Lastwiderstände.

- 3.1) Welcher Strom $\hat{i}_0$ fließt zwischen den zwei Sternpunkten? Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild der Anordnung.
- 3.2) Berechnen Sie die Ströme $\hat{i}_1$, $\hat{i}_2$, und $\hat{i}_3$. Zeichnen Sie zudem das Zeigerdiagramm für $\hat{u}_1$, $\hat{u}_2$, und $\hat{u}_3$ sowie für $\hat{i}_1$, $\hat{i}_2$, und $\hat{i}_3$.
- 3.3) Welche Leistung nimmt die Last auf?
- 3.4) Die Widerstände sollen nun, wie in Abbildung 3(b) gezeigt, in einer Dreieckschaltung angeordnet werden. Welcher Widerstandswert (R_Δ) ist einzusetzen, wenn die der Quelle entnommene Leistung gegenüber der in der Sternschaltung berechneten Leistung konstant bleiben soll?
- 3.5) Fügen Sie $\hat{u}_{12}$, $\hat{u}_{23}$, $\hat{u}_{31}$, $\hat{i}_{12}$, $\hat{i}_{23}$, $\hat{i}_{31}$ (Ströme und Spannungen der Widerstände in Dreieckschaltung) in das in Teilaufgabe 3.2) gezeichnete Zeigerdiagramm ein.

Aufgabe 4 Symmetrische Last im Dreiphasensystem

Gegeben ist die Schaltung nach Abbildung 4. Je drei Wirkwiderstände $R = 100 \Omega$ und Kondensatoren $C = 16 \mu\text{F}$ liegen an einem Dreiphasennetz mit der Aussenleiterspannung $U_L = 400 \text{ V}$ und der Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$. Es gilt:

$$\begin{aligned} \hat{u}_1 &= \sqrt{2} \cdot U_0 \cdot e^{j0^\circ} & \hat{u}_2 &= \sqrt{2} \cdot U_0 \cdot e^{-j120^\circ} & \hat{u}_3 &= \sqrt{2} \cdot U_0 \cdot e^{j120^\circ} \\ \hat{u}_{12} &= \hat{u}_1 - \hat{u}_2 & \hat{u}_{23} &= \hat{u}_2 - \hat{u}_3 & \hat{u}_{31} &= \hat{u}_3 - \hat{u}_1 \end{aligned}$$

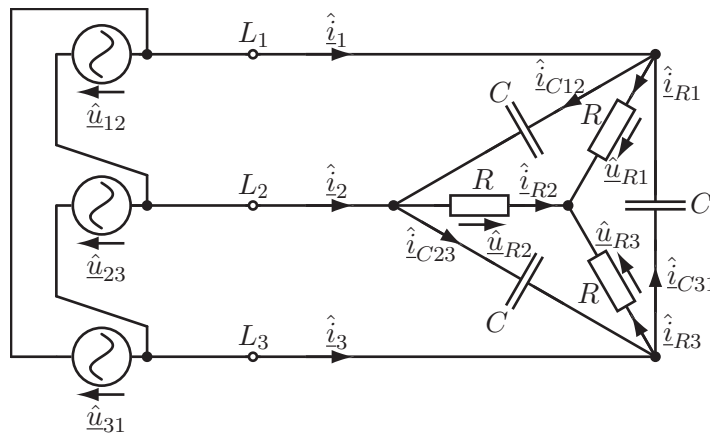


Abbildung 4: Dreiphasennetz mit symmetrischer Last (CAD-konforme Darstellung der Dreieckschaltung der Spannungsquellen, konventionelle Darstellung der Last)

- 4.1) Zeichnen Sie das vollständige Zeigerdiagramm für die Spannungen $\hat{u}_{12}, \hat{u}_{23}, \hat{u}_{31}, \hat{u}_{R1}, \hat{u}_{R2}, \hat{u}_{R3}$ und die Ströme in allen drei Zuleitungen ($\hat{i}_1, \hat{i}_2, \hat{i}_3$), Widerständen ($\hat{i}_{R1}, \hat{i}_{R2}, \hat{i}_{R3}$) und Kondensatoren ($\hat{i}_{C12}, \hat{i}_{C23}, \hat{i}_{C31}$).
- Bemerkung: Das Zeigerdiagramm soll zur Erläuterung der geometrischen Verhältnisse dienen und muss nicht massstabgetreu sein.*
- 4.2) Berechnen Sie den komplexen Aussenleiterstrom $\hat{i}_1$. Geben Sie die Lösung in der Exponentialdarstellung an.
- 4.3) Berechnen Sie die von der Schaltung aufgenommene Wirk-, Blind- und Scheinleistung (rechts der Klemmen L_1, L_2, L_3).
- 4.4) Die Widerstände sollen nun in einer Dreieckschaltung angeordnet werden. Welcher Widerstandswert R_D ist einzusetzen, wenn die dem Netz entnommene Leistung gegenüber der in der Sternschaltung berechneten Leistung unverändert bleiben soll?