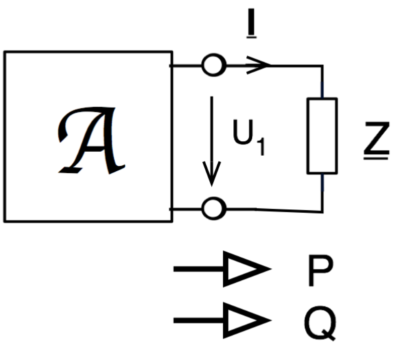
8 Spannende Energieübertragung

8.1 Blindleistungskompensation bei einer Asynchronmaschine

Eine Asynchronmaschine mit 8kW Nenn(wirk)leistung und Wirkfaktor $\cos(\varphi) = 0,85$ wird an einem einphasigen 230V Netz betrieben. Ihre Blindleistung soll mit einem komplexen Widerstand $\underline{Z}$ kompensiert werden.



Diese Aufgabe funktioniert für jedes Tor, an dem Blindleistung kompensiert werden soll:

a) Der Betrag der Blindleistung berechnet sich wie folgt aus den Angaben:

$\cos(\varphi) = 0,85 = \frac{P}{S}$

$\sin(\cos^{-1}(0,85)) = \sin(\varphi) = \frac{Q}{S} = Q\ \frac{0,85}{P}$

$Q = \frac{6kW}{0,85} \sin(31,78°) = 3,7kVA$

b) Allgemein gilt:

$\underline{U}_1 = \underline{I} \cdot \underline{Z}$

c) Für die Leistungen gilt:

$\underline{S} = \underline{U}_1 \cdot \underline{I}^* = (Re\{\underline{U}_1\} + jIm\{\underline{U}_1\}) \cdot (Re\{\underline{I}\}\ -\ jIm\{\underline{I}\}) =$
$= (Re\{\underline{U}_1\} \cdot Re\{\underline{I}\} + Im\{\underline{U}_1\} \cdot Im\{\underline{I}\}) + j\,(Re\{\underline{U}_1\} \cdot (-Im\{\underline{I}\}) + Im\{\underline{U}_1\} \cdot Re\{\underline{U}_1\}) =$
$= P + jQ$

d) Blindleistung zu kompensieren heißt auch, keine Wirkleistung aufzunehmen. In der Energietechnik ist es zudem üblich, **eine Torspannung** des betrachteten Systems **rein reell** zu wählen (quasi Koordinatentransformation):

$Re\{\underline{U}_1\} = U_1$

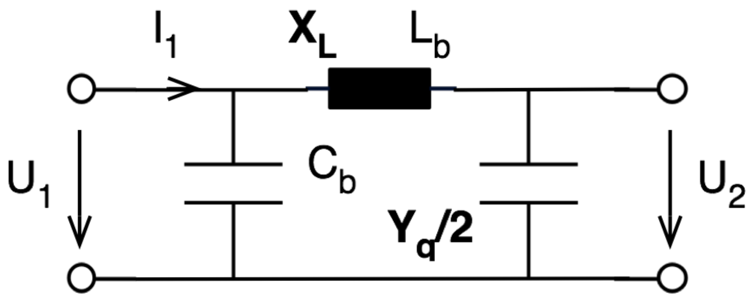
$\Rightarrow P = 0 = Re\{\underline{U}_1\} \cdot Re\{\underline{I}\} + Im\{\underline{U}_1\} \cdot Im\{\underline{I}\} = U_1 \cdot Re\{\underline{I}\}$

$U_1 \neq 0 \Rightarrow Re\{\underline{I}\} = 0$

$\Rightarrow jQ = U_1 \cdot j(-Im\{\underline{I}\})$
$Q = U_1 \cdot (-Im\{\underline{I}\}) = U_1 \cdot Im\{U_1 Y_c\} = U_1^2 \cdot Im\{j\omega C\} = U_1^2 \omega C$
$\Leftrightarrow C = \frac{Q}{\omega U_1^2} = \frac{3,7kVA}{2\pi \cdot 50\ Hz \cdot (230V)^2} \approx 224\ \mu F$

Es genügt also ein idealerweise rein reaktives Bauteil. In der Praxis wird aus Kostengründen (Materialaufwand) ein Kondensator verwendet.

8.2 Spannungsteilerformel im Komplexen aufstellen



- $\omega L_b = 80\Omega$
- $\omega C_b = 600\mu S$

Zusatzaufgabe a) Π-Ersatzschaltbild einer kurzen Leitung: Stelle die Leitungsgleichungen (Zweitorkettenmatrix) in Abhängigkeit von X_L und $Y_q/2$ auf. Vereinfache mit dem sogenannten Betriebswellenwiderstand $Z_W = \sqrt{\frac{X_l}{Y_q}}$ und dem Leitungswinkel $\vartheta = \sqrt{-X_l \cdot Y_q}$.

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{2-\vartheta^2} & \vartheta \cdot Z_W \\ 1 - \frac{1}{4}\vartheta^2 & \frac{\vartheta^2}{2-\vartheta^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix}$$

b) Setze nun die Bauteilwerte in die komplexen Widerstände ein und bestimme das Verhältnis $\frac{U_2}{U_1}$ bei Leerlauf an den Leitungsenden!

$X_l = j\omega L_b$

$\frac{Y_q}{2} = \frac{j\omega C_b}{2}$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{2}{Y_q}}{X_l + \frac{2}{Y_q}} = \frac{\frac{2}{j\omega C_b}}{j\omega L_b + \frac{2}{j\omega C_b}} = \frac{2}{-\omega^2 L_b C_b + 2} \approx 1{,}025$$

c) Berechne die komplexe Übertragungsfunktion $H(p) = U_2/U_1$ mit $p = j\omega$.

$p = j\omega$ oben einsetzen ($-(\omega)^2 = p^2$): $H(p) = \frac{2}{p^2 L_b C_b + 2}$

d) Gib die Pol- und Nullstellen von $H(p)$ an.

Keine Nullstellen, Polstellen $p_{1.2} = \pm j\sqrt{\frac{2}{L_b C_b}} \Leftrightarrow f_1 = 322{,}75\ Hz \Leftrightarrow$ Das ist eine Größenordnung jenseits der praktisch auftretenden Oberschwingung von 50 Hz und stellt somit keine Gefahr dar.

e) Gib $H(p)$ nach Betrag und Phase an.

$|H(p)| = \frac{|2|}{|p^2 L_b C_b + 2|} = \frac{2}{p^2 L_b C_b + 2}$

$\angle H(p) = \arctan \frac{Im\{H(p)\}}{Re\{H(p)\}} = 0$

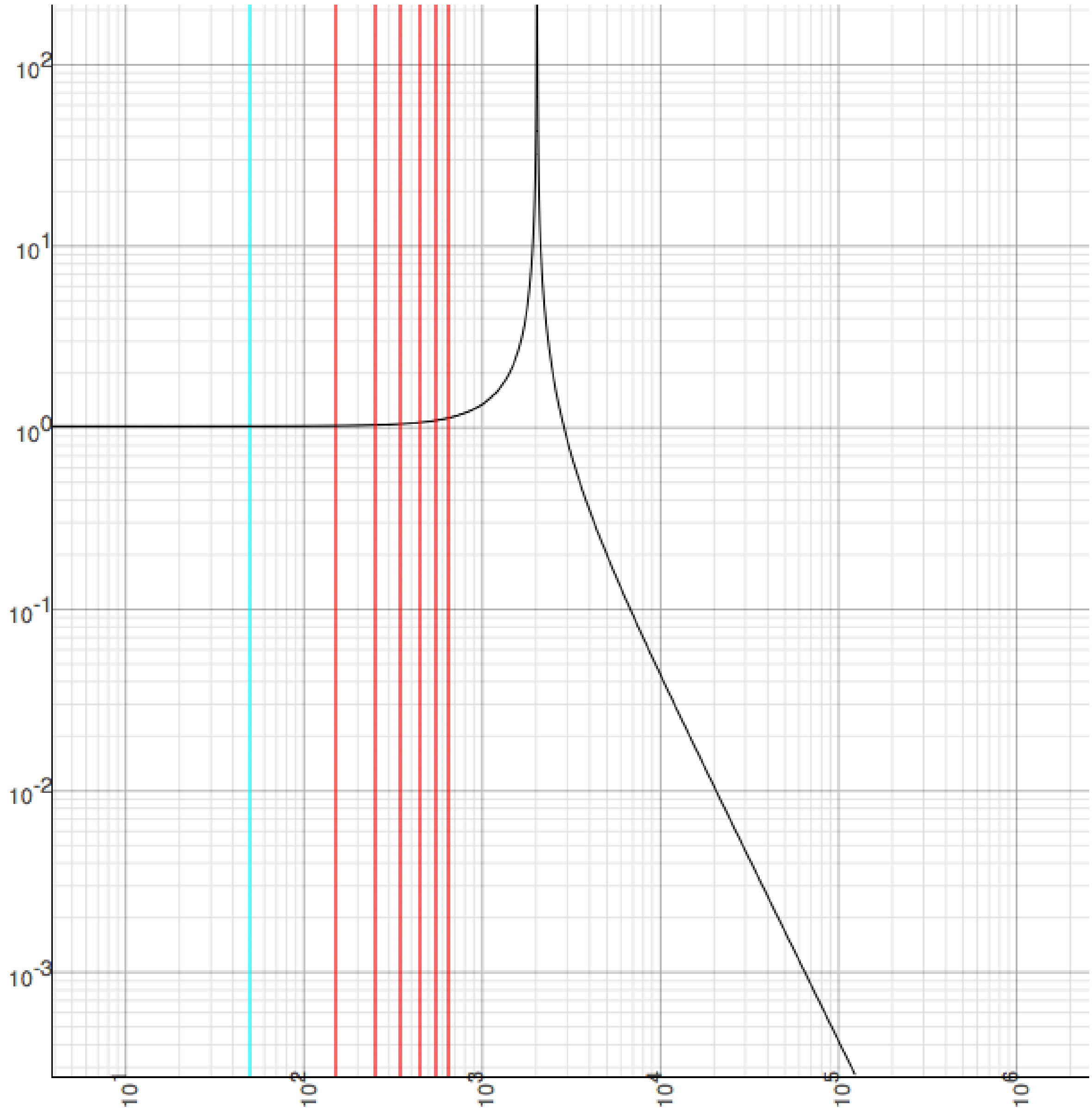
e) U_1 sei nun $230V \cdot \sin(\omega t)$. Gib den Zeiger zur Spannung U_2 an für $\omega = 0, \omega = 2, \omega = 10$ und $\omega \to \infty$

e) $U_1 = U_0 \sin(\omega t) = U_0 e^{-\frac{\pi}{2}}$

$U_2 = \frac{2}{-\omega^2 LC + 2} U_1$

	$\omega = 0$	$\omega = 2$	$\omega = 10$	$\omega \to \infty$
$U_2 =$	U_1			$U_2 \to 0$

$\Rightarrow$ Tiefpassverhalten


10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^1
10^2
10^3
10^4
10^5
10^6