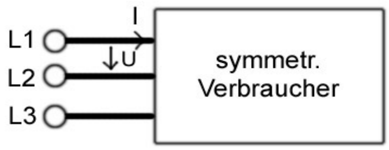
Aufgabe 2: ***Drehstromsystem (30 Punkte)***

Ein Drehstromnetz speise einen symmetrischen Verbraucher:

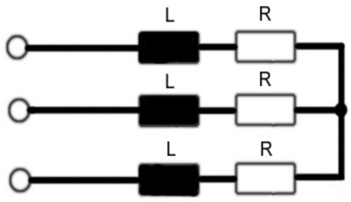


$U = 380\,\mathrm{V}$

$f = 50\,\mathrm{Hz}$

Der Strom I betrage 90 A bei einem Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}85$ (induktiv).

Nun werde zusätzlich die unten abgebildete ohmsch-induktive Last in Sternschaltung parallel geschaltet.



$R = 2\,\Omega$

$L = 10\,\mathrm{mH}$

a) Wie groß ist der vom Netz abgegebene Gesamtstrom I_{ges} ?

b) Berechnen Sie den im Netz resultierenden Leistungsfaktor $\cos\varphi_{ges}$!

c) Geben Sie die vom Netz gelieferte Blindleistung Q_{ges} an!

d) Welche Verlustleistung wird in jedem der Widerstände R umgesetzt?

e) Zur Kompensation werden drei gleiche Kondensatoren C in Stern zugeschaltet Wie groß muss der Wert C sein, damit der Leistungsfaktor wieder den anfänglichen Wert $\cos\varphi_{ges} = 0{,}85$ (induktiv) erhält?

Musterlösung Aufgabe 2:

a) [12 P] Die beiden Lasten werden parallel geschaltet: Der Netzstrom wird dann:

$\underline{I}_{ges} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$, $\underline{I}_1$: Außenleiterstrom des 1. symmetrischen Verbrauchers

$\underline{I}_2$: Außenleiterstrom des 2. symmetrischen Verbrauchers

Über die Verschaltung des 1. Verbrauchers ist nichts bekannt. Von den beiden äquivalenten Beschreibungsmöglichkeiten wird hier die Sternschaltung angenommen, weil auch der 2. Verbraucher in Stern geschaltet ist.

Die Spannung $\underline{U}_{RS}$ hat die Phasenlage +30° : $\underline{U}_{RS} = U \cdot \mathrm{e}^{+\mathrm{j}30°}$. (vgl. KE 5, Bild 10.5)

Dann ist die zugehörige Sternspannung $\underline{U}_R = \frac{\underline{U}_{RS}}{\sqrt{3}} \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}30°} = \frac{U}{\sqrt{3}}$ reell.

Außenleiter- und Strangstrom sind bei Sternschaltung identisch:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_R}{\underline{Z}_R} = \frac{\underline{U}_{RS} \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}30°}}{\sqrt{3} \cdot (R + \mathrm{j}\omega L)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (2 + \mathrm{j}\,3{,}14)\Omega} = \frac{380\,\mathrm{V}}{\sqrt{3} \cdot 3{,}72 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}57{,}5°}\Omega} = 59 \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}57{,}5°}\ \mathrm{A}$$

$$\underline{I}_{ges} = 90 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}\arccos(0{,}85)}\ \mathrm{A} + 59 \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}57{,}5°}\ \mathrm{A} = (76{,}5\text{-j}\,47{,}4 + 31{,}7\text{-j}\,49{,}8)\ \mathrm{A}$$

$$\underline{I}_{ges} = \underline{\underline{(108{,}2\text{-j}\,97{,}2)\ \mathrm{A} = 145{,}4 \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}42{,}0°}\ \mathrm{A}}}$$

b) [2 P] Der resultierende Leistungsfaktor ist $\underline{\underline{\cos(\varphi = -42{,}0°) = 0{,}74}}$ (induktiv) .

c) [6 P] Die aus dem Netz aufgenommene Scheinleistung ist

$$\underline{S}_{DS} = 3 \cdot \underline{U}_Y \cdot \underline{I}^* = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot \underline{I}^*_{ges} = P_{DS} + \mathrm{j}\,Q_{DS} \quad , \quad \text{vgl. (11.24) bis (11.27)}$$

$$\underline{S}_{DS} = \sqrt{3} \cdot 380\,\mathrm{V} \cdot 145{,}4 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}42{,}0°}\ \mathrm{A} = 95{,}7 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}42{,}0°}\ \mathrm{kVA} = (71{,}1 + \mathrm{j}\,64{,}0)\,\mathrm{kVA}$$

$$\Rightarrow \qquad P_{DS} = 71{,}1\,\mathrm{kW}\,, \qquad \underline{\underline{Q_{DS} = 64{,}0\,\mathrm{kVAr}}}$$

d) [2 P] Die Verlustleistung im Widerstand R (also pro Strang des 2. Verbrauchers) ist:

$$P_{2,Str} = R \cdot I_2^2 = 2\,\Omega \cdot (59\ \mathrm{A})^2 = \underline{\underline{7{,}0\,\mathrm{kW}}}$$

e) [8 P] Um wieder den Gesamtleistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0{,}85$ (induktiv) zu erreichen, muss die vom Netz aufgenommene Blindleistung

$$Q_{DS,komp} = S_{DS} \cdot \sin\varphi = P_{DS} \cdot \tan\varphi = 71{,}1 \cdot 0{,}62\,\mathrm{kVAr} = 44{,}1\,\mathrm{kVAr}$$

betragen. Pro Strang sind also

$$Q_{Str,komp} = \frac{64{,}0\,\mathrm{kVAr} - 44{,}1\,\mathrm{kVAr}}{3} = 6{,}6\,\mathrm{kVAr}$$

bereit zu stellen:

$$Q_{Str,komp} = \frac{U_Y^2}{X_{C,komp}} \qquad \Rightarrow \qquad X_{C,komp} = \frac{380\,\mathrm{V}^2/3}{6{,}6\,\mathrm{kVAr}} = 7{,}29\,\Omega$$

$$X_{C,komp} = \frac{1}{\omega C_{Str,komp}} \qquad \Rightarrow \qquad C_{Str,komp} = \frac{1}{\omega X_{C,komp}} = \underline{\underline{437\,\mu\mathrm{F}}}$$