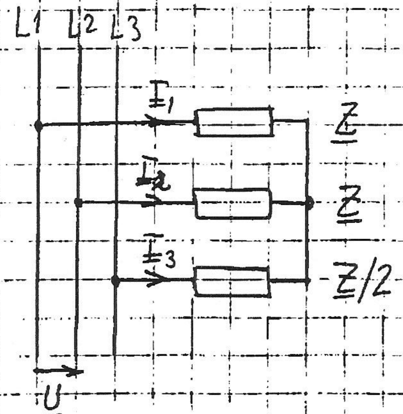


An einem symmetrischen Dreiphasennetz von Sinusspannungen liegt eine zunächst symmetrische Last (Strangimpedanz $\underline{Z}$) in Sternschaltung. Durch eine Störung reduziert sich eine der Strangimpedanzen auf den halben Wert. Berechnen Sie für diesen Störfall die drei Außenleiterströme.

$$\underline{U} = \underline{Z}\,\underline{I}_1 - \underline{Z}\,\underline{I}_2 \; ? \; = \underline{Z}(\underline{I}_1 - \underline{I}_2)$$

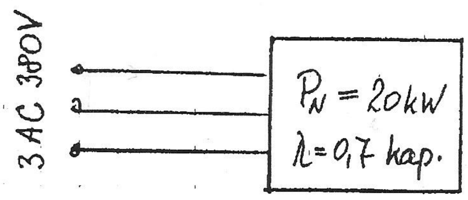
$$\underline{a}^2\underline{U} = \underline{Z}\,\underline{I}_2 + \tfrac{1}{2}\underline{Z}(\underline{I}_1 + \underline{I}_2) = \underline{Z}\left(\tfrac{1}{2}\underline{I}_1 + \tfrac{3}{2}\underline{I}_2\right) \;\Big|\cdot\tfrac{2}{3}$$

$$+ \quad \left(1 + \tfrac{2}{3}\underline{a}^2\right)\underline{U} = \tfrac{4}{3}\underline{Z}\,\underline{I}_1$$

$$\Rightarrow \quad \underline{I}_1 = \underbrace{\left(\tfrac{3}{4} + \tfrac{1}{2}\underline{a}^2\right)}_{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2} - \underline{a}\right)}\underline{U}/\underline{Z} \quad , \quad \underline{I}_2 = \underline{I}_1 - \underline{U}/\underline{Z}$$

$$\underline{I}_2 = \underbrace{\left(-\tfrac{1}{4} + \tfrac{1}{2}\underline{a}^2\right)}_{\frac{1}{2}\left(\frac{3}{2} + \underline{a}\right)}\underline{U}/\underline{Z} \quad , \quad \underline{I}_3 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_2 \; ?$$

$$\underline{I}_3 = -\underbrace{\left(\tfrac{1}{2} + \underline{a}^2\right)}_{\frac{1}{2} + \underline{a}}\underline{U}/\underline{Z} \, . \qquad \square$$

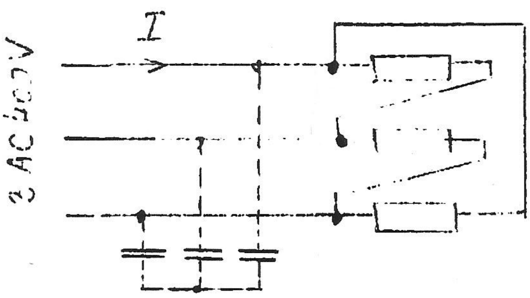


Ein symmetrischer Drehstromverbraucher wird an einem symmetrischen Dreiphasennetz mit den angegebenen Nenndaten betrieben. Berechnen Sie die Effektivwerte der Außenleiterströme

---

$$P_N = U_N I_N \sqrt{3} \cdot \lambda \Rightarrow \underline{I_N} = \frac{P_N}{\sqrt{3}\lambda U_N} = \frac{2 \cdot 10^4 VA}{\sqrt{3} \cdot 0{,}7 \cdot 380V} = \underline{43{,}4\ A}$$

$\square$



symmetrischer
Ein Verbraucher in Dreieckschaltung nimmt am angegebenen Dreiphasennetz die Scheinleistung $\boxed{S = 10\,\mathrm{kVA}}$ mit dem Leistungsfaktor $\boxed{\lambda = 0{,}8\ (\mathrm{ind.})}$ auf.

(i) Berechnen Sie den zugehörigen Effektivwertbetrag $\boxed{I}$ des Außenleiterstroms (ohne Kondensatorbeschaltung).

(ii) Durch die Kondensatorbeschaltung soll der gesamte Leistungsfaktor auf $\boxed{0{,}9\ (\mathrm{ind})}$ angehoben werden. Wie groß ist jetzt der Effektivwertbetrag $\boxed{I}$ des Außenleiterstroms?

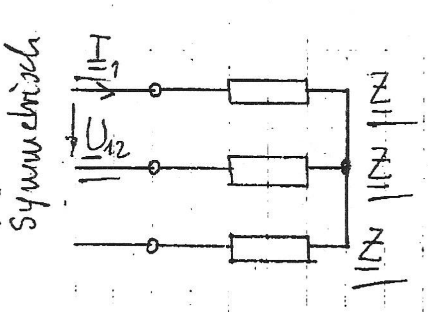
(i) Bezeichnet U den Effektivwertbetrag der Außenleiterspannung, so gilt

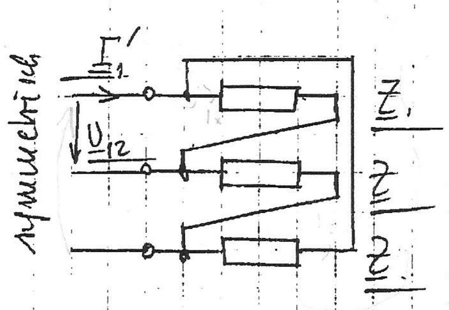
$$S = \sqrt{3}\,U I \Rightarrow \underline{I} = \frac{S}{\sqrt{3}\,U} = \frac{10\,\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}} = \underline{14{,}4\,\mathrm{A}}\,.$$

(ii) Bei gleichbleibender Wirkleistung gilt für die Leistungsfaktoren $\lambda = P/S$, $\lambda' = P/S'$, damit für die neue Scheinleistung $S' = S\lambda/\lambda'$, also für den neuen Außenleiterstrom

$$\underline{I'} = \frac{S'}{\sqrt{3}\,U} = \frac{S}{\sqrt{3}\,U}\frac{\lambda}{\lambda'} = I\frac{\lambda}{\lambda'} = 14{,}4\,\mathrm{A}\,\frac{0{,}8}{0{,}9} = \underline{12{,}8\,\mathrm{A}}\,.$$

□





An das gleiche, symmetrische System von Sinusspannungen werden drei gleiche Impedanzen $\underline{Z}$ einmal in Stern und einmal in Dreieck geschaltet. Bestimmen Sie dafür das Verhältnis $\underline{I}_1'/\underline{I}_1$ der Außenleiterströme nach Betrag und Winkel.

---

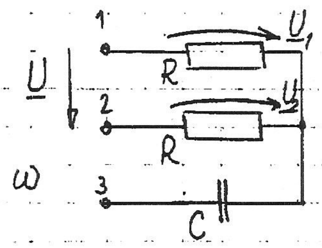
a) $\underline{U}_{12} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = (1-\underline{a}^2)\underline{U}_1 \Rightarrow \underline{I}_1 = \dfrac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \dfrac{\underline{U}_{12}}{(1-\underline{a}^2)\underline{Z}}$

b) $\underline{I}_1' = \dfrac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}} - \dfrac{\underline{U}_{31}}{\underline{Z}} = \dfrac{(1-\underline{a})\underline{U}_{12}}{\underline{Z}}$

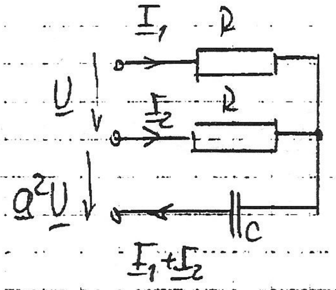
$\Rightarrow$

$$\frac{\underline{I}_1'}{\underline{I}_1} = (1-\underline{a})(1-\underline{a}^2) = 1-\underline{a}-\underline{a}^2+\underbrace{\underline{a}^3}_{1} = 2\underbrace{-\underline{a}-\underline{a}^2}_{+1} = \underline{3}$$ $\square$

keine Winkeldifferenz.



An der skizzierten Sternschaltung mit zwei gleichen Widerständen und einem Kondensator liegt ein symmetrisches Dreiphasensystem von Sinusspannungen, gekennzeichnet durch die Außenleiterspannung $\boxed{\underline{U}_{12} = \underline{U}.}$ Berechnen Sie allgemein die beiden Strangspannungen $\boxed{\underline{U}_1}$ und $\boxed{\underline{U}_2.}$



$$\left.\begin{aligned}\underline{U} &= \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = R\underline{I}_1 - R\underline{I}_2, \\ \underline{a}^2\underline{U} &= \underline{U}_2 - \underline{U}_3 = R\underline{I}_2 + \underline{Z}_3(\underline{I}_1 + \underline{I}_2) = \underline{Z}_3\underline{I}_1 + (R+\underline{Z}_3)\underline{I}_2\end{aligned}\right\}$$

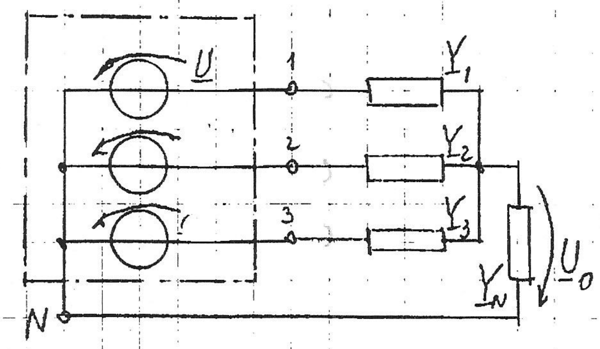
mit $\frac{1}{\underline{Z}_3} = \underline{Y}_3 = j\omega C$

$$\Rightarrow \left.\begin{aligned}\underline{U}_1 - \underline{U}_2 &= \underline{U} \\ \underline{U}_1 + (1+R\underline{Y}_3)\underline{U}_2 &= \underline{a}^2 R\underline{Y}_3\underline{U}\end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1-\underline{a}R\underline{Y}_3}{2+R\underline{Y}_3}\underline{U} = \frac{1-j\underline{a}\nu}{2+j\nu}\underline{U} \qquad \text{mit } \nu = \omega RC$$

$$\underline{U}_2 = \frac{-1+\underline{a}^2R\underline{Y}_3}{2+R\underline{Y}_3}\underline{U} = \frac{-1+j\underline{a}^2\nu}{2+j\nu}\underline{U}$$

□



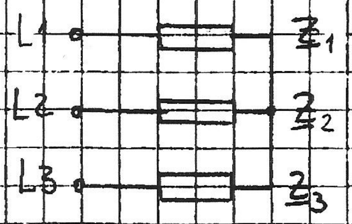
Der gerahmt dargestellte Generator erzeugt ein symmetrisches Dreiphasensystem von Sinusspannungen mit der Sternspannung $\underline{U}$. Berechnen Sie dafür allgemein die Spannung $\underline{U}_0$.

$$\left.\begin{aligned}
\underline{I}_1 &= \underline{Y}_1(\underline{U}-\underline{U}_0)\\
\underline{I}_2 &= \underline{Y}_2(\underline{a}^2\underline{U}-\underline{U}_0)\\
\underline{I}_3 &= \underline{Y}_3(\underline{a}\,\underline{U}-\underline{U}_0)
\end{aligned}\right\}$$

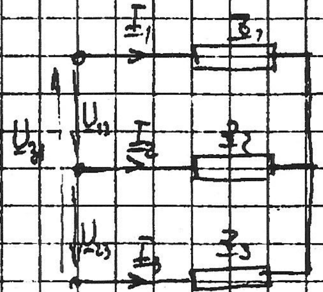
$$\underline{I}_1+\underline{I}_2+\underline{I}_3 = (\underline{Y}_1+\underline{a}^2\underline{Y}_2+\underline{a}\,\underline{Y}_3)\underline{U} - (\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3)\underline{U}_0$$

$$\overset{!}{=} \underline{Y}_N\,\underline{U}_0$$

$$\Rightarrow \quad \underline{\underline{U}_0 = \frac{\underline{Y}_1+\underline{a}^2\underline{Y}_2+\underline{a}\,\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3+\underline{Y}_N}\,\underline{U}}\,,$$



Bei einer Sternschaltung sind die beiden Strangimpedanzen $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_2$ vorgegeben. Wie ist $\underline{Z}_3$ zu wählen, damit die ganze Schaltung bezüglich eines speisenden Dreiphasennetzes eine symmetrische Last darstellt?



$\underline{U}_{12} = \underline{U}$, $\underline{U}_{23} = a^2\underline{U}$, $\underline{U}_{31} = a\underline{U}$,

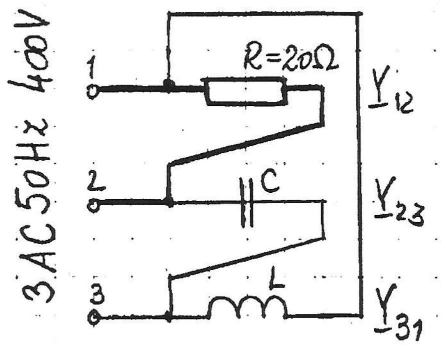
$\underline{I}_1 = \underline{I}$, $\underline{I}_2 = a^2\underline{I}$, $\underline{I}_3 = a\underline{I}$,

$$\left.\begin{array}{r} \underline{U} = \underline{Z}_1\underline{I} - \underline{Z}_2 a^2\underline{I} = (\underline{Z}_1 - a^2\underline{Z}_2)\underline{I} \\ a^2\underline{U} = \underline{Z}_2 a^2\underline{I} - \underline{Z}_3 a\underline{I} = a^2(\underline{Z}_2 - a^2\underline{Z}_3)\underline{I} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$\underline{Z}_1 - a^2\underline{Z}_2 = \underline{Z}_2 - a^2\underline{Z}_3$, $\underline{Z}_3 = -a\underline{Z}_1 + (1+a)\underline{Z}_2$

$$\underline{\underline{Z}_3 = -a\underline{Z}_1 - a^2\underline{Z}_2}.$$

$\square$



In der skizzierten Schaltung, die von einem symmetrischen, starren Dreiphasennetz gespeist wird, ist der Widerstand $\boxed{R}$ als Last vorgegeben. Der Kondensator und die Spule dienen einer näherungsweise verlustfreien Symmetrierung.

Tatsächlich zeigt sich eine Dreieckschaltung von Admittanzen bezüglich der äußeren Anschlusspunkte dann als symmetrische Last, wenn die Bedingung

$$\underline{Y}_{12} + \underline{a}\,\underline{Y}_{23} + \underline{a}^2\underline{Y}_{31} = 0$$

erfüllt ist. Wie groß sind im vorliegenden Fall die Werte $\boxed{L}$ und $\boxed{C}$ zu wählen?

Mit $\underline{Y}_{12} = \frac{1}{R}$, $\underline{Y}_{23} = j\omega C$, $\underline{Y}_{31} = \frac{1}{j\omega C}$

und $\underline{a} = \frac{1}{2}(-1+j\sqrt{3})$, $\underline{a}^2 = \frac{1}{2}(-1-j\sqrt{3})$

folgen aus der angegebenen Symmetriebedingung

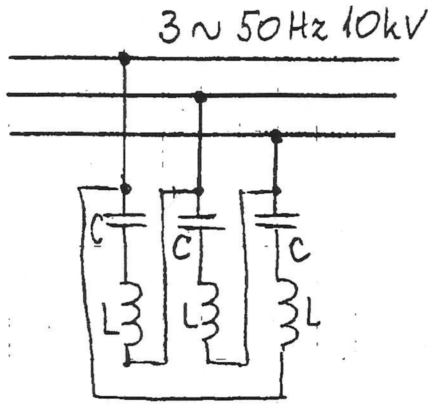
$$\frac{1}{R} + \frac{1}{2}(-1+j\sqrt{3})j\omega C + \frac{1}{2}(-1-j\sqrt{3})\frac{1}{j\omega L} = 0$$

die beiden Gleichungen $\omega C = \frac{1}{\omega L}$, $\frac{1}{R} = \frac{\sqrt{3}}{2}\left(\omega C + \frac{1}{\omega L}\right)$,

also

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} = \sqrt{3}R,$$

$$\underline{L} = \frac{\sqrt{3}R}{\omega} = \frac{\sqrt{3}\cdot 20\,\Omega}{100\pi\,s^{-1}} = \underline{110\,mH}, \quad \underline{C} = \frac{1}{\sqrt{3}\omega R} = \underline{91{,}9\,\mu F}.$$



Die annähernd verlustfreie Beschaltung eines symmetrischen Dreiphasennetzes ist so auszulegen, daß sie bei der Nennfrequenz die Blindleistung 0,5 MVA abgibt und außerdem eine Oberschwingung der 5-fachen Nennfrequenz kurzschließt.
Welche Werte L und C sind zu wählen?

Strangspannung = Außenleiterspannung $U = 10\,kV$

Strangreaktanz $X(\omega) = \omega L - \frac{1}{\omega C}$.

Bei $f_N = 50\,Hz$ soll Blindleistung

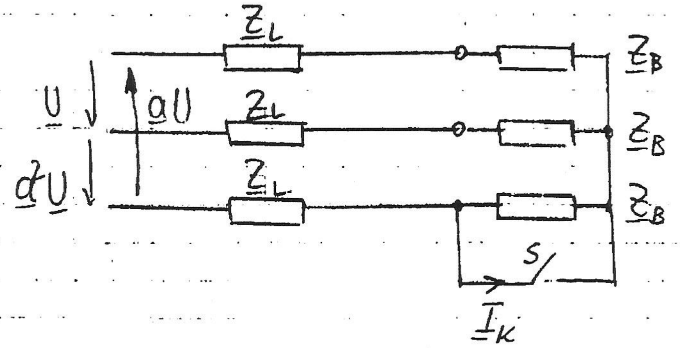
$$Q = 3\,U^2/X(\omega_N)$$

aufgenommen werden $\Rightarrow \underline{X(\omega_N) = -3\frac{U^2}{Q} = -600\,\Omega}$;

bei $5 f_N$ soll die Strangreaktanz verschwinden, $X(5\omega_N) = 0$

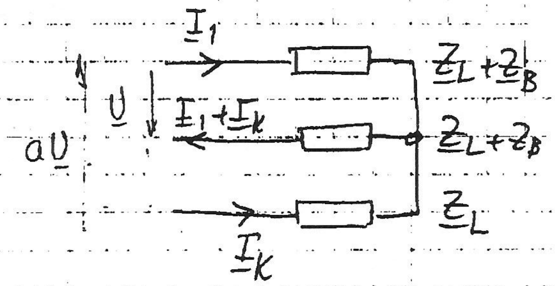
$$\left.\begin{array}{l} \omega_N L - \frac{1}{\omega_N C} = -600\,\Omega, \\ 5\omega_N L - \frac{1}{5\omega_N C} = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \underline{L} = \frac{-600\,\Omega}{24\,\omega_N} = \underline{79{,}6\,mH},$$

$$\underline{C} = \frac{24}{\omega_N \cdot 25 \cdot 600\,\Omega} = \underline{5{,}09\,\mu F}.$$



Ein symmetrischer Verbraucher (Strangimpedanzen $\underline{Z}_B$) wird über eine Leitung (Impedanzen $\underline{Z}_L$) aus einem starren, symmetrischen Dreiphasennetz gespeist.

Durch einen Störfall tritt ein Strangkurzschluß auf ($\underline{S}$ geschlossen). Berechnen Sie den Kurzschlußstrom $\underline{I}_K$ im eingeschwungenen Zustand.



$$\left.\begin{aligned}\underline{U} &= (\underline{Z}_L+\underline{Z}_B)(2\underline{I}_1+\underline{I}_K) \quad \Big|\cdot\tfrac{1}{2}\\ -a\underline{U} &= (\underline{Z}_L+\underline{Z}_B)\underline{I}_1-\underline{Z}_L\underline{I}_K \quad \Big|\cdot -1\end{aligned}\right\}+$$

$$\left(\tfrac{1}{2}+a\right)\underline{U} = \left(\tfrac{3}{2}\underline{Z}_L+\tfrac{1}{2}\underline{Z}_B\right)\underline{I}_K;$$

$I_1 \cdot I_1 \cdot I_1$ c ~~1~~ 1

u_{11} 2 ~~2~~ 2

u_{22} 2 ~~3~~ 2

~~3~~ 4

$$\underline{I}_K = \frac{1+2a}{3\underline{Z}_L+\underline{Z}_B}\underline{U} = \frac{j\sqrt{3}}{3\underline{Z}_L+\underline{Z}_B}\underline{U}$$

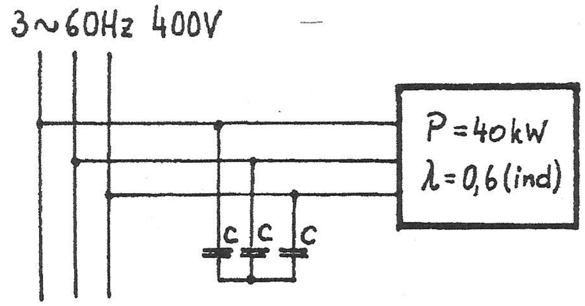
$$\left[1+2a = -(1+2a^2) = a(1-a) = j\sqrt{3}\right]$$

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = e^{j\varphi} \quad \varphi = 120°$

Ein symmetrischer Drehstromverbraucher besitzt am symmetrischen Netz 3 ~ 50Hz 400/230V Leistungsdaten

$$P = 11{,}4\,\text{kW}, \quad \lambda = 0{,}73 \text{ (kap.)}.$$

Für welche Stromstärke ist die Anschlußleitung auszulegen?



Von einer symmetrischen Last sind für den Betrieb an dem symmetrischen Dreiphasennetz die aufgenommene Wirkleistung und der Leistungsfaktor bekannt. Zur Verbesserung des Leistungsfaktors gegenüber dem Netz ist eine Kondensatorschaltung vorzusehen.

Berechnen und skizzieren Sie die Abhängigkeit des gesamten Leistungsfaktors von der Kapazität C.