

**ElektronikerInnen für Betriebstechnik
 MechatronikerInnen**

- 8. Dreiphasenwechselstrom
- 8.1 Sternschaltung
- 8.1.1 Sternschaltung: symmetrische Belastung**

131.7

An ein Drehstromnetz von 400/230 V sind drei gleich große Heizwiderstände in Stern geschaltet. Dabei fließt ein Strangstrom von 12 A.

Berechnen Sie

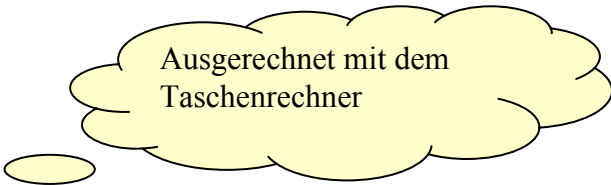
- a) die Widerstandswerte der Heizwiderstände,
- b) die Leiterstromstärke, wenn zu jedem Heizwiderstand ein ohmscher Widerstand von 15 Ω parallel geschaltet wird.

Lösung a)

$$\begin{aligned}
 R_{Str_Heizwiderstand} &= \frac{U_{Str}}{I_{Str}} \\
 &= \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I} \\
 &= \frac{400\text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 12\text{ A}} = 19,245\dots \Omega \\
 &\approx 19,2 \Omega
 \end{aligned}$$

Lösung b)

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R'_{Str}} &= \frac{1}{R_{Str_Heizwiderstand}} + \frac{1}{R_{parallel}} \\
 &= \frac{1}{19,2 \Omega} + \frac{1}{15 \Omega} \\
 R'_{Str} &\approx 8,42 \Omega
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 I' &= \frac{U_{Str}}{R'_{Str}} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot R'_{Str}} \\
 &= \frac{400\text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 8,42 \Omega} \\
 &\approx 27,4\text{ A}
 \end{aligned}$$

131.6

An ein Drehstromnetz 400/230 V 50 Hz sind drei Kondensatoren von 22 μF in Stern angeschlossen.

Berechnen Sie

- den Strangstrom,
- den Leiterstrom.

Lösung a)

$$\begin{aligned}
 X_C &= \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \\
 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 22 \cdot 10^{-6} \frac{A \cdot s}{V}} \\
 &\approx 144,7 \, \Omega \\
 I_{Str} &= \frac{U_{Str}}{X_C} \\
 &= \frac{230 \, V}{144,7 \, \Omega} \approx 1,59 \, A
 \end{aligned}$$

Größe ω	Kreisfrequenz Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$
Einheit F	Farad Einheit für die elektrische Kapazität	$1 \, F = 1 \frac{C}{V} = 1 \frac{A \cdot s}{V}$
Einheits- vorsatz μ	Mikro	Millionstel 10^{-6}

Lösung b)

$$\begin{aligned}
 I &= I_{Str} \\
 &= 1,59 \, A
 \end{aligned}$$

8.1.2 Sternschaltung: unsymmetrische, gleichartige Last

132.2

Die Heizwiderstände $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$ und $R_3 = 40 \Omega$ liegen in Sternschaltung an einem Vierleiter Drehstromnetz 400/230 V.

Ermitteln Sie

- rechnerisch den Strangstrom,
- zeichnerisch den Strom im Neutralleiter,
- rechnerisch den Strom in den Leitern L2 und L3, wenn der Neutralleiter und der Leiter 1 gleichzeitig ausfallen.

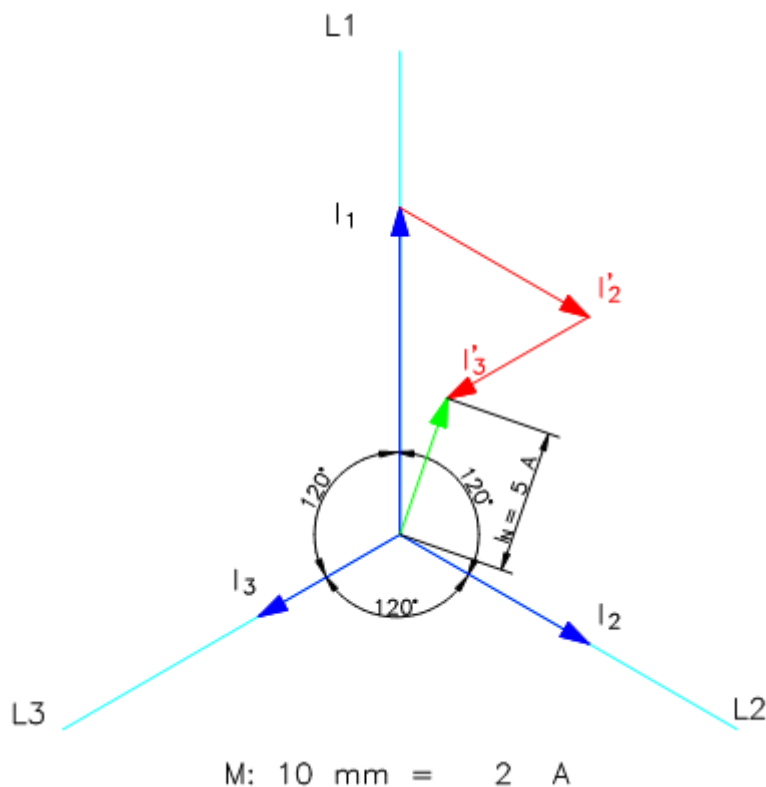
Lösung a)

$$I_{Str1} = \frac{U_{Str1}}{R_1} = \frac{230 V}{20 \Omega} = 11,5 A$$

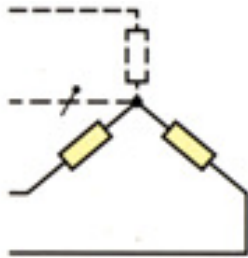
$$I_{Str2} = \frac{U_{Str2}}{R_2} = \frac{230 V}{30 \Omega} \approx 7,67 A$$

$$I_{Str3} = \frac{U_{Str3}}{R_3} = \frac{230 V}{40 \Omega} = 5,75 A$$

Lösung b)



Lösung c)



$$\begin{aligned}
 I_2 = I_3 &= \frac{U}{R_2 + R_3} \\
 &= \frac{400 \text{ V}}{30 \Omega + 40 \Omega} = \frac{400 \text{ V}}{70 \Omega} \\
 &\approx 5,7 \text{ A}
 \end{aligned}$$

132.5

Ein 400-V-Drehstromnetz ist mit drei gleich großen Heizwiderständen von je 10Ω in Sternschaltung bei angeschlossenem Neutralleiter belastet.

Berechnen Sie

- die Strangströme,
- die Leiterströme,
- den Strom im Neutralleiter,
- den Strom im Neutralleiter, wenn ein Widerstand ausfällt,
- den Strom im Neutralleiter, wenn zwei Widerstände ausfallen.

Lösung a)

$$\begin{aligned}
 I_{Str} &= \frac{U_{Str}}{R_{Str}} = \frac{230 \text{ V}}{10 \Omega} \\
 &= 23 \text{ A}
 \end{aligned}$$

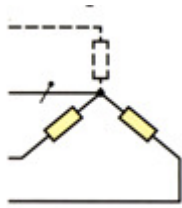
Lösung b)

$$I = I_{Str} = 23 \text{ A}$$

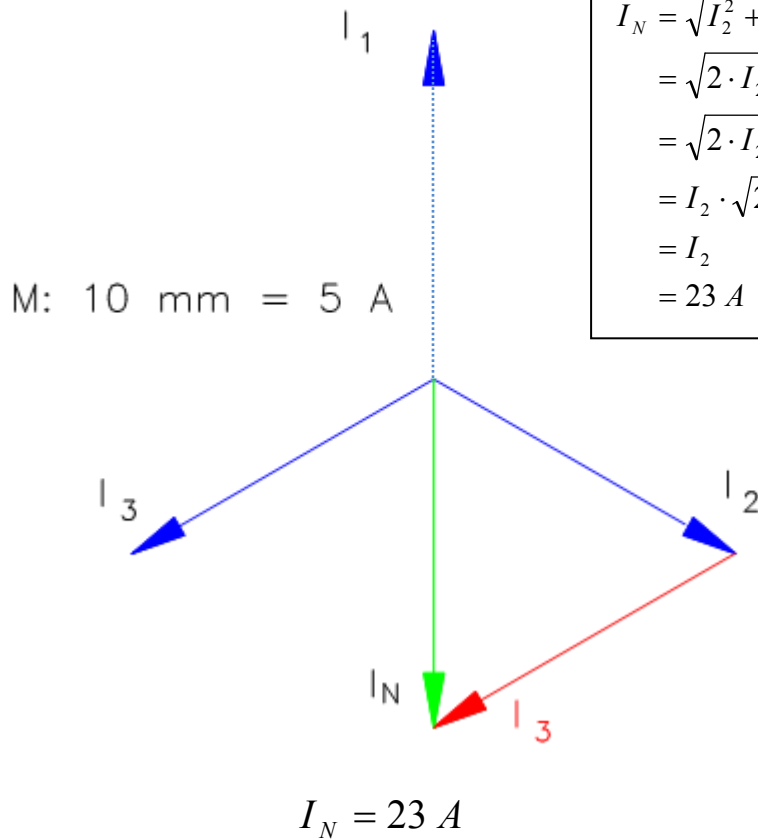
Lösung c)

$$I_N = 0$$

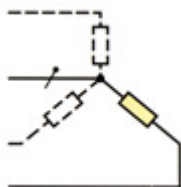
Lösung d)



$$\begin{aligned} \vec{I}_N &= \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 \\ |I_1| &= 0 \\ \vec{I}_N &= \vec{I}_2 + \vec{I}_3 \\ |I_1| &= |I_2| \\ I_N &= \sqrt{I_2^2 + I_3^2 - 2 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot \cos 60^\circ} \\ &= \sqrt{2 \cdot I_2^2 - 2 \cdot I_2^2 \cdot \cos 60^\circ} \\ &= \sqrt{2 \cdot I_2^2 \cdot (1 - \cos 60^\circ)} \\ &= I_2 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - 0,5)} = I_2 \cdot \sqrt{1} \\ &= I_2 \\ &= 23 \text{ A} \end{aligned}$$



Lösung e)



$$I_N = 23 \text{ A}$$

8.1.2 Sternschaltung: unsymmetrische, ungleichartige Last

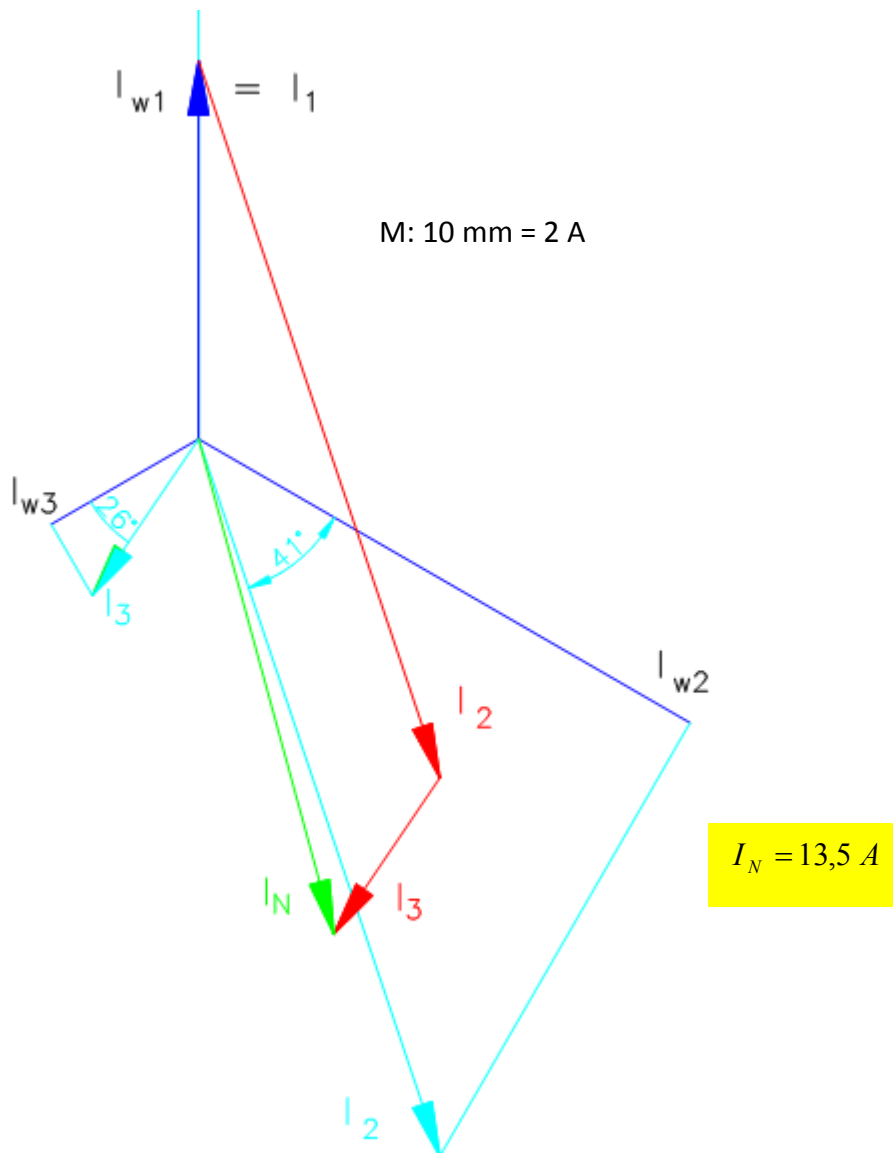
133.4

In einem Vierleiter-Drehstromnetz werden gemessen: $I_1 = 10 \text{ A}$, $\cos \varphi_1 = 1$, $I_2 = 20 \text{ A}$, $\cos \varphi_2 = 0,75$ induktiv, $I_3 = 5 \text{ A}$, $\cos \varphi_3 = 0,9$ kapazitiv.

Bestimmen Sie die Stromstärke im Neutraleiter.

Lösung

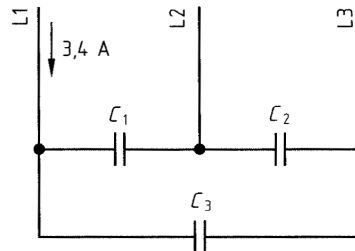
	Wirkstrom	Phasenverschiebung
Strang 1	$I_{w1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 10 \text{ A} \cdot 1 = 10 \text{ A}$	0°
Strang 2	$I_{w2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 20 \text{ A} \cdot 0,75 = 15 \text{ A}$	$41,4^\circ$ induktiv
Strang 3	$I_{w3} = I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 5 \text{ A} \cdot 0,9 = 4,5 \text{ A}$	$25,8^\circ$ kapazitiv



8.2 Dreieckschaltung
 8.2.1 Dreieckschaltung: symmetrische Belastung

134.6
 Drei gleich große Kondensatoren sind an ein Drehstromnetz 400/230 V 50 Hz angeschlossen (vgl. Abbildung).

Welche Kapazität hat ein Kondensator?



Kondensatoren am Drehstromnetz in Dreieckschaltung

Lösung:

$$I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{3,4 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 1,9629... \text{ A} \approx 1,96 \text{ A}$$

$$X_{C_Str} = \frac{U_{Str}}{I_{Str}} = \frac{400 \text{ V}}{1,96 \text{ A}} = 204,0816... \Omega \approx 204,1 \Omega$$

$$X_{C_Str} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{C_Str}}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 204,1 \frac{V}{A}} = 15,595... \cdot 10^{-6} \frac{A \cdot s}{V}$$

$$\approx 15,6 \mu F$$

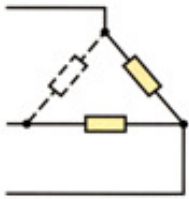
134.7
 An ein Drehstromnetz mit der Leiterspannung von 400 V sind drei Heizwiderstände mit je 22 Ω angeschlossen.

- Berechnen Sie den Strom in den Zuleitungen.
- Wie ändern sich die Ströme in den Zuleitungen, wenn ein Heizwiderstand unterbrochen wird?

Lösung a)

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{Str} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{Str}}{R_{Str}} = \sqrt{3} \cdot \frac{400 \text{ V}}{22 \Omega} = 31,4918... \text{ A} \approx 31,5 \text{ A}$$

Lösung b)



Die Dreieckschaltung ist unsymmetrisch gleichartig belastet.

Der Strom bleibt in einem Außenleiter (in der Abb. L3) gleich, in den beiden anderen Außenleitern wird er um $\sqrt{3}$ kleiner.

8.2.2 Dreieckschaltung: unsymmetrische, gleichartige Last

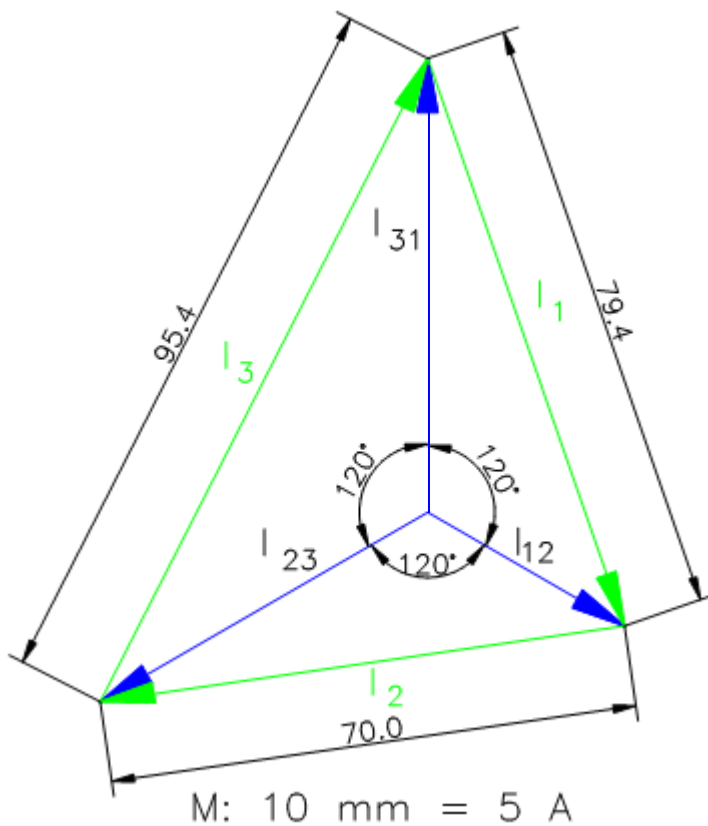
135.1

Ein Dreileiter-Drehstromnetz ist mit drei Wirkwiderständen unsymmetrisch belastet. Die Strangstromstärken betragen $I_{12} = 15 \text{ A}$, $I_{23} = 25 \text{ A}$, $I_{31} = 30 \text{ A}$.

Ermitteln Sie die Leiterstromstärke

- a) zeichnerisch und
- b) rechnerisch.

Lösung a)



$I_1 = 39,7 \text{ A}$
$I_2 = 35 \text{ A}$
$I_3 = 47,7 \text{ A}$

M: 10 mm = 5 A

Lösung b)

Vgl. Abbildung vorherige Seite: mit dem Kosinussatz ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 I_1^2 &= I_{31}^2 + I_{12}^2 - 2 \cdot I_{31} \cdot I_{12} \cdot \cos 120^\circ \\
 &= I_{31}^2 + I_{12}^2 - 2 \cdot I_{31} \cdot I_{12} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) \\
 &= I_{31}^2 + I_{12}^2 + 2 \cdot I_{31} \cdot I_{12}
 \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \sqrt{I_{12}^2 + I_{31}^2 + I_{12} \cdot I_{31}} \\
 I_2 &= \sqrt{I_{23}^2 + I_{12}^2 + I_{23} \cdot I_{12}} \\
 I_3 &= \sqrt{I_{31}^2 + I_{23}^2 + I_{31} \cdot I_{23}}
 \end{aligned}$$

Berechnung mit Excel:

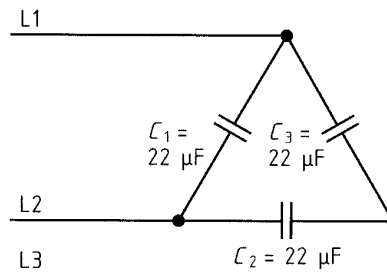
I12	15	A	I12 x I31	450	A ²
I23	25	A	I23 x I12	375	A ²
I31	30	A	I31 x I23	750	A ²
I1	39,69	A			
I2	35,00	A			
I3	47,70	A			

135.5

Drei Kondensatoren $C_1 = 16 \mu\text{F}$, $C_2 = 22 \mu\text{F}$, $C_3 = 47 \mu\text{F}$ sind in Dreieckschaltung an ein Drehstromnetz 400 V 50 Hz angeschlossen (ähnlich Abbildung).

Berechnen Sie

- die kapazitiven Blindwiderstände,
- die Strangströme und
- die Leiterströme.
- Berechnen Sie die Leiterströme, wenn der Kondensator C_1 gegen einen Kondensator mit $27 \mu\text{F}$ ausgetauscht wird.



Kondensatoren in Dreieckschaltung

Lösung a)

$$\begin{aligned}
 X_{C1} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1} \\
 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}}} \\
 &\approx 199 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{C2} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2} \\
 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 22 \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}}} \\
 &\approx 145 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{C3} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_3} \\
 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 47 \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}}} \\
 &\approx 68 \Omega
 \end{aligned}$$

Lösung b

$$I_{12} = \frac{U_{Str}}{X_{C1}}$$

$$= \frac{400 \text{ V}}{199 \Omega}$$

$$\approx 2 \text{ A}$$

$$I_{23} = \frac{U_{Str}}{X_{C2}}$$

$$= \frac{400 \text{ V}}{145 \Omega}$$

$$\approx 2,76 \text{ A}$$

$$I_{31} = \frac{U_{Str}}{X_{C3}}$$

$$= \frac{400 \text{ V}}{68 \Omega}$$

$$\approx 5,9 \text{ A}$$

Lösung c)

Berechnung mit Excel:

I12	2	A	I12 x I31	11,8	A ²
I23	2,8	A	I23 x I12	5,6	A ²
I31	5,9	A	I31 x I23	16,52	A ²
I1	7,11	A			
I2	4,18	A			
I3	7,69	A			

Lösung d)

$$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 27 \cdot 10^{-6} \frac{As}{V}}$$

$$\approx 118 \Omega$$

$$I_{12} = \frac{U_{Str}}{X_{C1}}$$

$$= \frac{400 \text{ V}}{118 \Omega}$$

$$\approx 3,4 \text{ A}$$

Berechnung mit Excel

I12	3,4	A	I12 x I31	20,06	A ²
I23	2,8	A	I23 x I12	9,52	A ²
I31	5,9	A	I31 x I23	16,52	A ²
I1	8,15	A			
I2	5,38	A			
I3	7,69	A			

Der Leiterstrom I_3 ändert sich nicht!

8.2.3 Dreieckschaltung: unsymmetrische, ungleichartige Last

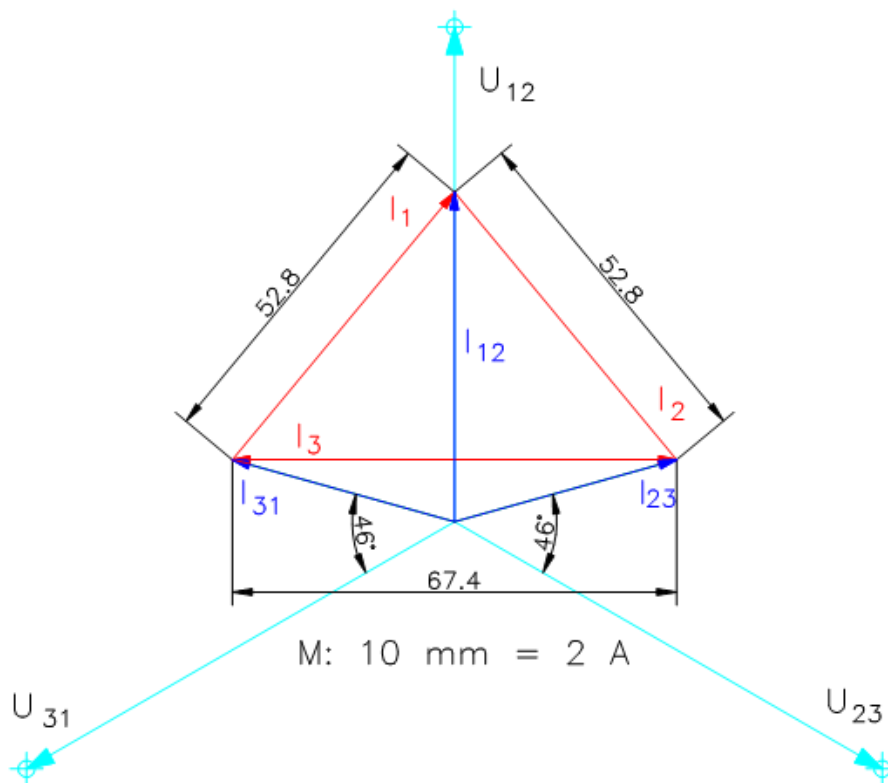
136.2

In einem Dreileiter-Drehstromnetz fließen die Ströme: $I_{12} = 10 \text{ A}$, $\cos \varphi_1 = 1$, $I_{23} = 7 \text{ A}$, $\cos \varphi_2 = 0,7$ kapazitiv, $I_{31} = 7 \text{ A}$, $\cos \varphi_3 = 0,7$ induktiv.

Ermitteln Sie alle Leiterströme.

Lösung

	Wirkstrom	Phasenverschiebung
Strang 1	$I_{w12} = I_{12} \cdot \cos \varphi_1 = 10 \text{ A} \cdot 1 = 10 \text{ A}$	0°
Strang 2	$I_{w23} = I_{23} \cdot \cos \varphi_2 = 7 \text{ A} \cdot 0,7 = 4,9 \text{ A}$	$45,6^\circ$ kapazitiv
Strang 3	$I_{w31} = I_{31} \cdot \cos \varphi_3 = 7 \text{ A} \cdot 0,7 = 4,9 \text{ A}$	$45,6^\circ$ induktiv



$$I_1 = I_2 = 52,8 \text{ mm} \cdot \frac{2 \text{ A}}{10 \text{ mm}} = 10,56 \text{ A}$$

$$I_3 = 67,4 \text{ mm} \cdot \frac{2 \text{ A}}{10 \text{ mm}} = 13,48 \text{ A}$$

136.6

Bei einem Dreileiter-Drehstromnetz 400 V 50 Hz sind folgende Verbraucher angeschlossen: Zwischen L1 und L2: $R_1 = 50 \Omega$; zwischen L2 und L3: $Z_2 = 50 \Omega$, $\varphi_2 = 40^\circ$ (kapazitiv); zwischen L3 und L1: $Z_3 = 50 \Omega$, $\varphi_3 = 40^\circ$ (induktiv).

- Berechnen Sie die Strangströme.
- Ermitteln Sie grafisch die Leiterströme.

Lösung a)

$$I_{12} = \frac{U_{Str1}}{Z_{Str1}} = \frac{400 V}{50 \Omega} = 8 A$$

$$\varphi_1 = 0^\circ$$

$$\cos \varphi_1 = 1$$

$$I_{23} = \frac{U_{Str2}}{Z_{Str2}} = \frac{400 V}{50 \Omega} = 8 A$$

$$\varphi_2 = 40^\circ$$

$$\cos \varphi_2 \approx 0,7660$$

kapazitiv

$$I_{31} = \frac{U_{Str3}}{Z_{Str3}} = \frac{400 V}{50 \Omega} = 8 A$$

$$\varphi_3 = 40^\circ$$

$$\cos \varphi_3 \approx 0,7660$$

induktiv

Lösung b)

