

# 0 Impressum

Gregor Lenherr

Fokus Elektro 3<sup>+</sup>

Lehrmittel für 4-jährige Elektroberufslehren

Gestaltung, Satz, Grafiken: Tech-Verlag

Druck vom 12.4.2019 bei Edubook AG, Merenschwand

1. Ausgabe 2019

Artikelnummer: TECH-0530 (methodische Lösungswege)

Copyright © Gestaltung, Satz, Grafiken by Tech-Verlag

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Tech-Verlags.

Tech-Verlag Lenherr, Brugg 7, CH-9473 Gams  
www.tech-verlag.ch; info@tech-verlag.ch



## Tech-Verlag

Lehrmittel: für Techniker - von Techniker

## 1 Kenngrößen bei Wechselstrom

### 1.1 Lösung

$$n_s = \frac{n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{750 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{12.5 \text{ s}^{-1}} \quad f = p \cdot n_s = 4 \cdot 12.5 \text{ s}^{-1} = \underline{\underline{50 \text{ s}^{-1} = 50 \text{ Hz}}}$$

### 1.2 Lösung

$$n_s = \frac{n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{400 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{6.6\bar{6} \text{ s}^{-1}} \quad p = \frac{f}{n_s} = \frac{60 \text{ s}^{-1}}{6.6\bar{6} \text{ s}^{-1}} = \underline{9}$$

### 1.3 Lösung

$$n_s = \frac{f}{p} = \frac{300 \text{ Hz}}{15} = \frac{300 \text{ s}^{-1}}{15} = \underline{20 \text{ s}^{-1}} \rightarrow n = \underline{\underline{1200 \text{ min}^{-1} = 1200 \frac{1}{\text{min}}}}$$

### 1.4 Lösung

$$n_s = \frac{n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{750 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{12.5 \text{ s}^{-1}} \quad p = \frac{f}{n_s} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{12.5 \text{ s}^{-1}} = \underline{4}$$

Anzahl Pole:  $N = 2 \cdot p = 2 \cdot 4 = \underline{\underline{8 \text{ Stück}}}$

### 1.5 Lösung

$$n_s = \frac{f}{p} = \frac{60 \text{ Hz}}{2} = \frac{60 \text{ s}^{-1}}{2} = \underline{30 \text{ s}^{-1}} \rightarrow n = \underline{\underline{1800 \text{ min}^{-1} = 1800 \frac{1}{\text{min}}}}$$

### 1.6 Lösung

$$n_s = \frac{n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{1420 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{23.6\bar{6} \text{ s}^{-1}} \quad f = p \cdot n_s = 3 \cdot 23.6\bar{6} \text{ s}^{-1} = \underline{\underline{71 \text{ s}^{-1} = 71 \text{ Hz}}}$$

### 1.7 Lösung

$$n_s = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{22} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{22} = \underline{2.27 \text{ s}^{-1}} \rightarrow n = \underline{\underline{136.3\bar{6} \text{ min}^{-1} = 136.3\bar{6} \frac{1}{\text{min}}}}$$

### 1.8 Lösung

$$n_s = \frac{n}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \frac{66.6\bar{6} \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{1.1\bar{1} \text{ s}^{-1}} \quad p = \frac{f}{n_s} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{1.1\bar{1} \text{ s}^{-1}} = \underline{45}$$

Anzahl Pole:  $N = 2 \cdot p = 2 \cdot 45 = \underline{\underline{90 \text{ Stück}}}$

### 1.9 Lösung

$$n_s = \frac{f}{p} = \frac{850 \text{ Hz}}{6} = \frac{850 \text{ s}^{-1}}{6} = \underline{141.6\bar{6} \text{ s}^{-1}} \rightarrow n = \underline{\underline{8500 \text{ min}^{-1} = 8500 \frac{1}{\text{min}}}}$$

$$U_R = R \cdot I = 150 \Omega \cdot 1.4 \text{ A} = \underline{\underline{210 \text{ V}}}$$

$$U_C = X_C \cdot I = 46.8 \Omega \cdot 1.4 \text{ A} = \underline{\underline{65.5 \text{ V}}}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left( \frac{U_R}{U} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{210 \text{ V}}{220 \text{ V}} \right) = \underline{\underline{-17.3^\circ}} \quad \text{Vorzeichen beachten!}$$

## 4.17 Lösung

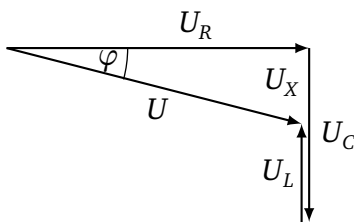
$$\text{a) } U_C = \sqrt{U^2 - U_R^2} = \sqrt{(400 \text{ V})^2 - (280 \text{ V})^2} = \underline{\underline{210.7 \text{ V}}}$$

$$\text{b) } X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 110 \mu\text{F}} = \underline{\underline{28.9 \Omega}} \quad I = \frac{U_C}{X_C} = \frac{210.7 \text{ V}}{28.9 \Omega} = \underline{\underline{7.29 \text{ A}}}$$

$$\text{c) } R = \frac{U_R}{I} = \frac{340 \text{ V}}{7.29 \text{ A}} = \underline{\underline{46.6 \Omega}}$$

$$\text{d) } \cos(\varphi) = \frac{U_R}{U} = \frac{340 \text{ V}}{400 \text{ V}} = \underline{\underline{0.85}}$$

## 4.18 Lösung



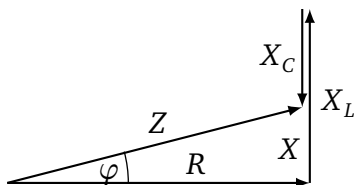
a) Die Schaltung wirkt kapazitiv, weil  $U_C > U_L$ .

$$\text{b) } U_X = U_C - U_L = 80 \text{ V} - 20 \text{ V} = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_X^2} = \sqrt{(80 \text{ V})^2 + (60 \text{ V})^2} = \underline{\underline{100 \text{ V}}}$$

$$\text{c) } \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{U_R}{U} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{80 \text{ V}}{100 \text{ V}} \right) = \underline{\underline{-36.9^\circ}}$$

## 4.19 Lösung



$$\text{a) } Z = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{0.36 \text{ A}} = \underline{\underline{638.9 \Omega}}$$

$$\text{b) } X = X_L - X_C = 500 \Omega - 240 \Omega = \underline{\underline{260 \Omega}}$$

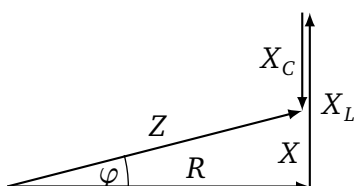
$$R = \sqrt{Z^2 - X^2} = \sqrt{(638.9 \Omega)^2 - (260 \Omega)^2} = \underline{\underline{583.6 \Omega}}$$

$$\text{c) } U_L = X_L \cdot I = 500 \Omega \cdot 0.36 \text{ A} = \underline{\underline{180 \text{ V}}}$$

$$\text{d) } \varphi = \cos^{-1} \left( \frac{R}{Z} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{583.6 \Omega}{638.9 \Omega} \right) = \underline{\underline{24.0^\circ}}$$

Die Schaltung wirkt induktiv, weil  $X_L > X_C$ .

## 4.20 Lösung



$$\text{a) } X = X_L - X_C = 70 \Omega - 30 \Omega = \underline{\underline{40 \Omega}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(30 \Omega)^2 + (40 \Omega)^2} = \underline{\underline{50 \Omega}}$$

$$\text{b) } I = \frac{U}{Z} = \frac{230 \text{ V}}{50 \Omega} = \underline{\underline{4.6 \text{ A}}}$$

**6.8 Lösung**

$$a) U = R \cdot I = 470 \Omega \cdot 0.36 \text{ A} = \underline{\underline{169.2 \text{ V}}}$$

$$b) \cos(\varphi) = \frac{I_R}{I} = \frac{0.36 \text{ A}}{0.62 \text{ A}} = \underline{\underline{0.58}} \quad \varphi = \cos^{-1}(0.58) = \underline{\underline{-54.5^\circ}}$$

$$c) I_L = \sqrt{I^2 - I_R^2} = \sqrt{(0.62 \text{ A})^2 - (0.36 \text{ A})^2} = \underline{\underline{0.505 \text{ A}}}$$

$$X_L = \frac{U}{I_L} = \frac{169.2 \text{ V}}{0.505 \text{ A}} = \underline{\underline{335.0 \Omega}}$$

$$f = \frac{X_L}{2\pi \cdot L} = \frac{335 \Omega}{2\pi \cdot 2.2 \text{ H}} = \underline{\underline{24.2 \text{ Hz}}}$$

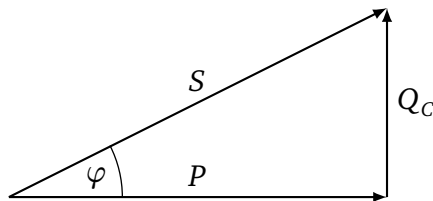
**6.9 Lösung**

$$a) S = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 4.5 \text{ A} = \underline{\underline{1035 \text{ VA}}}$$

$$Q_L = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(1035 \text{ VA})^2 - (550 \text{ W})^2} = \underline{\underline{876.8 \text{ Var}}}$$

$$b) P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{(230 \text{ V})^2}{550 \text{ W}} = \underline{\underline{96.2 \Omega}}$$

$$Q_L = \frac{U^2}{X_L} \Rightarrow X_L = \frac{U^2}{Q_L} = \frac{(230 \text{ V})^2}{876.8 \text{ Var}} = \underline{\underline{60.3 \Omega}}$$

**6.10 Lösung**

Bei der Parallelschaltung schaut  $Q_C$  nach oben!

$$b) X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 12 \mu\text{F}} = \underline{\underline{265.3 \Omega}}$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(230 \text{ V})^2}{120 \Omega} = \underline{\underline{440.8 \text{ W}}}$$

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = \frac{(230 \text{ V})^2}{265.3 \Omega} = \underline{\underline{199.4 \text{ Var}}}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2} = \sqrt{(440.8 \text{ W})^2 + (199.4 \text{ Var})^2} = \underline{\underline{483.8 \text{ VA}}}$$

$$c) \cos(\varphi) = \frac{P}{S} = \frac{440.8 \text{ W}}{483.8 \text{ VA}} = \underline{\underline{0.91}}$$

**6.11 Lösung**

$$a) X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 1.4 \text{ H} = \underline{\underline{439.8 \Omega}}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{230 \text{ V}}{439.8 \Omega} = \underline{\underline{523 \text{ mA}}}$$

$$b) Q_L = Q_M + 10 \cdot Q_F = 492.2 \text{ Var} + 10 \cdot 72.9 \text{ Var} = \underline{\underline{1221.2 \text{ Var}}}$$

$$c) S = \sqrt{P^2 - Q_L^2} = \sqrt{(1617.1 \text{ W})^2 + (1221.2 \text{ Var})^2} = \underline{\underline{2026.4 \text{ VA}}}$$

$$\cos(\varphi_1) = \frac{P}{S} = \frac{1617.1 \text{ W}}{2026.4 \text{ VA}} = \underline{\underline{0.798}}$$

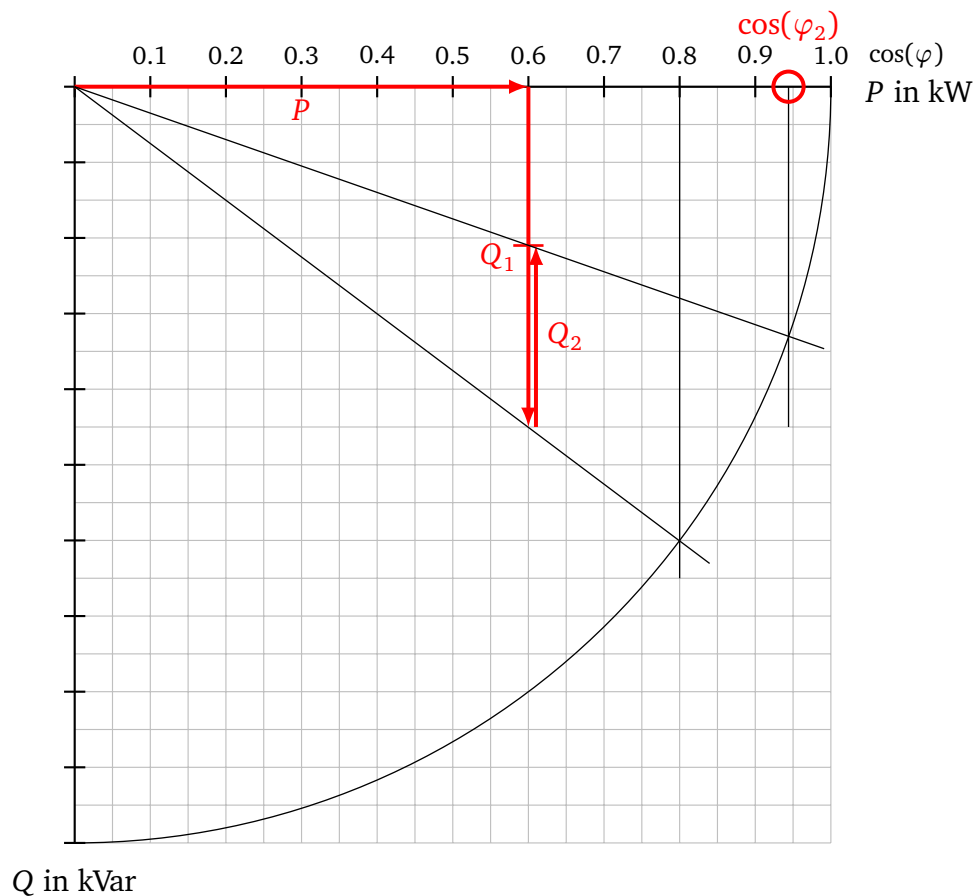
$$d) \varphi_1 = \cos^{-1}(0.798) = \underline{\underline{37.1^\circ}} \quad \varphi_2 = \cos^{-1}(0.95) = \underline{\underline{18.2^\circ}}$$

$$Q_C = P \cdot [\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)] = 1617.1 \text{ W} \cdot [\tan(37.1^\circ) - \tan(18.2^\circ)] = \underline{\underline{691.3 \text{ Var}}}$$

$$X_C = \frac{U^2}{Q_C} = \frac{(230 \text{ V})^2}{691.3 \text{ Var}} = \underline{\underline{76.5 \Omega}}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 76.5 \Omega} = \underline{\underline{41.6 \mu\text{F}}}$$

### 7.18 Lösung



$$a) Q_1 \text{ gemessen} = 45 \text{ mm} \rightarrow Q_1 = \underline{\underline{22.5 \text{ kVar}}}$$

$$b) \text{ aus dem Einheitskreis abgelesen} \rightarrow \cos(\varphi_2) = \underline{\underline{0.94}}$$

## 10 Dreieckschaltung symmetrisch

### 10.1 Lösung

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Str}} = \sqrt{3} \cdot 18.9 \text{ A} = \underline{\underline{32.7 \text{ A}}}$$

### 10.2 Lösung

$$I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{2.7 \text{ A}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{1.56 \text{ A}}}$$

### 10.3 Lösung

$$\text{a) } U_{\text{Str}} = U = \underline{\underline{400 \text{ V}}} \quad I_{\text{Str}} = \frac{U_{\text{Str}}}{R} = \frac{400 \text{ V}}{75 \Omega} = \underline{\underline{5.33 \text{ A}}}$$

$$\text{b) } I = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Str}} = \sqrt{3} \cdot 5.33 \text{ A} = \underline{\underline{9.24 \text{ A}}}$$

### 10.4 Lösung

$$I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{27.3 \text{ A}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{15.76 \text{ A}}} \quad U = U_{\text{Str}} = R \cdot I_{\text{Str}} = 25 \Omega \cdot 15.76 \text{ A} = \underline{\underline{394.0 \text{ V}}}$$

### 10.5 Lösung

$$U_{\text{Str}} = U = \underline{\underline{400 \text{ V}}} \quad I_{\text{Str}} = \frac{U_{\text{Str}}}{R} = \frac{400 \text{ V}}{12 \Omega} = \underline{\underline{33.33 \text{ A}}}$$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Str}} = \sqrt{3} \cdot 33.33 \text{ A} = \underline{\underline{57.7 \text{ A}}}$$

### 10.6 Lösung

$$U_{\text{Str}} = U = \underline{\underline{385 \text{ V}}} \quad I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{87 \text{ A}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{50.2 \text{ A}}}$$

$$R_{\text{Str}} = \frac{U_{\text{Str}}}{I_{\text{Str}}} = \frac{385 \text{ V}}{50.2 \text{ A}} = \underline{\underline{7.67 \Omega}}$$

### 10.7 Lösung

$$\text{a) } U_{\text{Str}} = U = \underline{\underline{400 \text{ V}}}$$

$$\text{b) } I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{7.6 \text{ A}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{4.39 \text{ A}}}$$

### 10.8 Lösung

$$I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{3.4 \text{ A}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{1.96 \text{ A}}} \quad X_C = \frac{U_{\text{Str}}}{I_{\text{Str}}} = \frac{400 \text{ V}}{1.96 \text{ A}} = \underline{\underline{203.8 \Omega}}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 203.8 \Omega} = \underline{\underline{15.6 \mu\text{F}}}$$

**10.52 Lösung**

- $\Delta$  400 V      $Y/\Delta$  400 V/230 V      $Y/\Delta$  690 V/400 V      $\Delta/Y$  400 V/690 V

Obiger Motor ist nicht geeignet, weil seine Wicklungen nur für 230 V gebaut sind.

**10.53 Lösung**

- sinkt auf das  $\sqrt{3}$ -fache                       steigt auf das  $\sqrt{3}$ -fache  
 steigt auf das Doppelte                       steigt auf das Dreifache

**10.54 Lösung**

Dreileiter-Drehstromnetz mit Aussenleiterspannung 400 V bei Netzfrequenz 50 Hz.

**10.55 Lösung**

Weil der Drehstrommotor ein symmetrischer Verbraucher und demzufolge der Neutralleiterstrom Null ist. Der Neutralleiter kann somit weggelassen werden.

**10.56 Lösung**

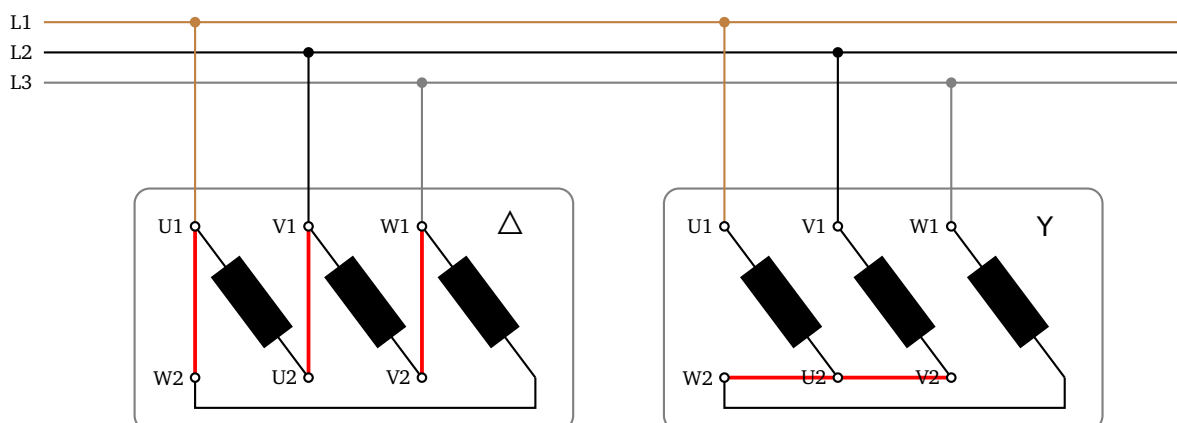
- a) Im  $3 \times 400$  V-Netz muss der Motor in Stern geschaltet werden.  
b) Im  $3 \times 230$  V-Netz muss der Motor in Dreieck geschaltet werden.

Ein Strang dieses Motors darf höchstens eine Spannung von 230 V erhalten. Die kleinere Spannungsangabe bei Dreieck bezieht sich immer auf die Strangspannung.

**10.57 Lösung**

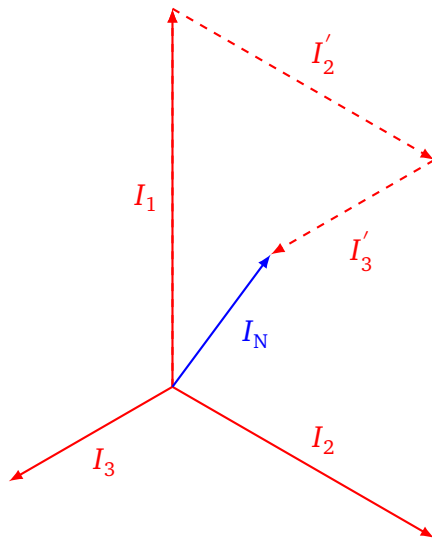
$\Delta$  400 V    oder    690 V/400 V    oder     $Y$  690 V    oder     $Y/\Delta$  690 V/400 V

Die Strangspannung des Motors muss für 400 V ausgelegt sein.

**10.58 Lösung**

$$R_1 = \frac{U_{\text{Str}1}}{I_1} = \frac{500\text{V}}{78\text{A}} = \underline{\underline{6.41\Omega}}$$

11.13 Lösung

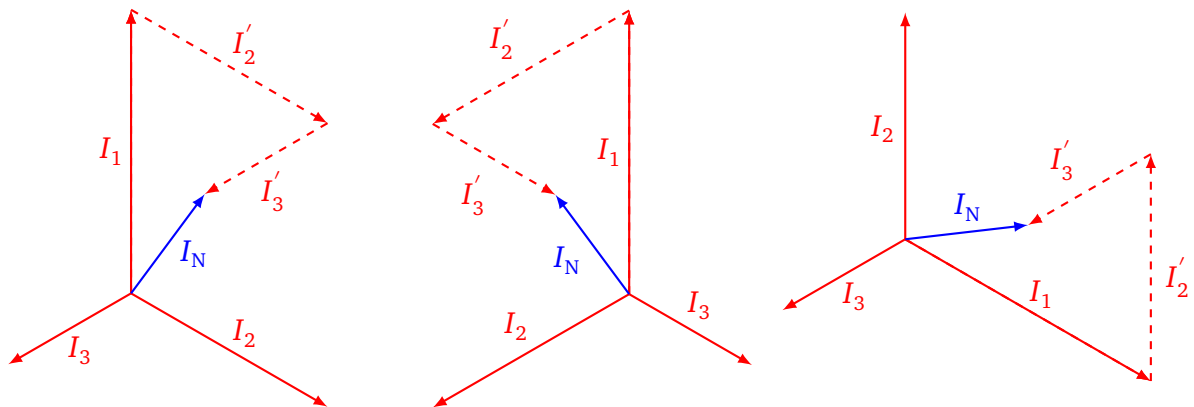


MST: 1 cm ≙ 2 A

$$I_N = 2.18\text{ cm} \cdot 2 \frac{\text{A}}{\text{cm}} = \underline{\underline{4.36\text{A}}}$$

Hinweis zur Bestimmung des Neutralleiterstromes:

In welchem Umlaufsinn (Uhrzeiger- oder Gegenuhrzeigersinn) die drei Aussenleiterströme mit Zwischenwinkel 120° angeordnet werden, spielt für die Bestimmung des Neutralleiterstromes keine Rolle. Es entsteht in jedem Fall dasselbe Ergebnis (vgl. Darstellung unten).



Schlussfolgerung:

Unabhängig vom Umlaufsinn ist der Pfeil des Neutralleiterstromes immer gleich lang!

11.14 Lösung



## 12 Grundlagen Elektromotoren

### 12.1 Lösung

Der Generator wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um.  
Der Elektromotor wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um.

### 12.2 Lösung

Der Frequenzumrichter (FU)

### 12.3 Lösung

Umformer erzeugen aus elektrischer Energie wiederum elektrische Energie. Allerdings hat das neue Stromsystem z.B. eine andere Frequenz, Strangzahl oder Spannung.

### 12.4 Lösung

Maschine für waagrechte Anordnung mit Füße unten, ein freies Wellenende und zwei Lagerschilde.

### 12.5 Lösung

IMV 1

### 12.6 Lösung

Normmotoren haben bei gleicher Bauform und Leistung auch gleiche Abmessungen.

### 12.7 Lösung

für Dauerbetrieb S1

### 12.8 Lösung

Kühlschrankmotor, Garagator, Haushaltsmaschinen (z.B. Kaffeemühlen, Mixer), Laugenpumpe in Waschmaschine usw.

### 12.9 Lösung

a) Kurzzeitbetrieb S2                      b) Dauerbetrieb S1                      c) Aussetzbetrieb S3, S4, S5

### 12.10 Lösung

z.B. S3 15 % (oder S4 15 % oder S5 15 %)

### 12.11 Lösung

Bei diesen Motoren ist der Betrieb mit Bemessungslast nur von kurzer Dauer z.B. 30 min. Anschliessend kühlt sich der Motor wieder auf Raumtemperatur ab.

### 12.12 Lösung

für 180 °C

# 16 Resultate der Berechnungen

## Kapitel 1: Kenngrößen bei Wechselstrom

- 1.1 50 Hz  
 1.2 9  
 1.3  $1200 \text{ min}^{-1}$   
 1.4 8 Stück  
 1.5  $1800 \text{ min}^{-1}$   
 1.6 71 Hz  
 1.7  $136.36 \text{ min}^{-1}$   
 1.8 90 Stück  
 1.9  $8500 \text{ min}^{-1}$   
 1.10 2.5 ms  
 1.11 476.2 Hz  
 1.12 a) 1.4 ms                      b) 714.3 Hz  
 1.13 2.272 ms  
 1.14  $4.082 \cdot 10^{-10} \text{ s}$   
 1.15 a) 60 ms                      b)  $104.72 \text{ s}^{-1}$   
 1.16 a) 100 Hz                      b)  $628.3 \text{ s}^{-1}$   
 1.17 a) 1016 Hz                      b) 0.984 ms  
 1.18 2400 Stück  
 1.19 a) 8 ms                      b)  $785.4 \text{ s}^{-1}$   
 1.20 a) 9                      b) 16.67 ms                      c)  $377 \text{ s}^{-1}$   
 1.21 565.7 V  
 1.22 6.36 A  
 1.23 176.8 V  
 1.24 2828.4 V  
 1.25 geht nicht, weil  $\hat{u} = 565.7 \text{ V}$   
 1.26 7.92 kV  
 1.27 a) 230 V                      b) 325.3 V                      c) 2.3 A                      d) 3.25 A                      e) 20 ms                      f)  $314.2 \text{ s}^{-1}$   
 1.28 a) 300 V                      b) 212.1 V                      c) 80 ms                      d)  $78.5 \text{ s}^{-1}$   
           a) 125 V                      b) 88.4 V                      c) 32 ms                      d)  $196.3 \text{ s}^{-1}$

## Kapitel 2: Mathematik bei Wechselstrom

- 2.1 3 m  
 2.2 3.86 m  
 2.3 83.5 cm  
 2.4 a) 8.86 m                      b) 26.2% kürzer  
 2.5 87.3 cm  
 2.6 6.93 cm  
 2.7 305.5 m  
 2.8 keine Resultate  
 2.9 a) 5.07 m                      b) 59.6 mm                      c) 3.31 m                      d) 0.45 m                      e) 85 mm                      f) 30.8 mm  
 2.10 71.7 cm  
 2.11 76.4 mm  
 2.12  $36.6^\circ$   
 2.13 a)  $63.4^\circ$                       b)  $64.6^\circ$                       c)  $66.4^\circ$                       d)  $53.1^\circ$                       e)  $36.2^\circ$                       f)  $50.9^\circ$   
 2.14 a) 7.52 m                      b) 2.74 m  
 2.15 1.73 m                      3.04 m  
 2.16 12.02 m  
 2.17 2.69 m  
 2.18 a)  $268.1 \Omega$ ;  $225.0 \Omega$                       b)  $171.6 \Omega$ ;  $189.3 \Omega$                       c)  $24.2^\circ$   
 2.19 a)  $60^\circ$                       b) 0.5                      c) 4 A; 325 V                      d) 2.83 A; 229.8 V                      e) 325.2 W                      f) 563.2 Var

## Kapitel 3: Wechselstromwiderstände

- 3.1  $125.7 \Omega$   
 3.2 99.9 Hz  
 3.3  $527.8 \Omega$   
 3.4 1.53 H  
 3.5  $94.2 \Omega$   
 3.6 1.91 H