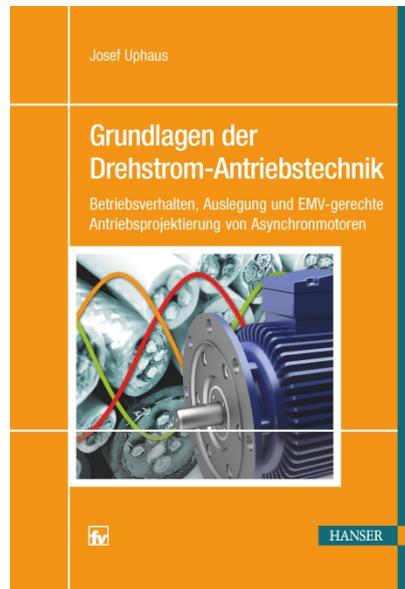


# HANSER



## Lösungen

zu

## „Grundlagen der Drehstrom- Antriebstechnik“

von Josef Uphaus

ISBN (Buch): 978-3-446-45495

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446454958>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

## **Inhalt**

Lösungen zu Abschnitt 1.8 .....	2
Lösungen zu Abschnitt 2.1.14 .....	7
Lösungen zu Abschnitt 2.2.4 .....	10
Lösungen zu Abschnitt 2.3.4 .....	12
Lösungen zu Abschnitt 2.4.7 .....	21
Lösungen zu Abschnitt 2.5.8 .....	23
Lösungen zu Abschnitt 2.7.3 .....	31
Lösungen zu Abschnitt 3.1.8 .....	37
Lösungen zu Abschnitt 3.5.3 .....	46
Lösungen zu Abschnitt 3.6.9 .....	47
Lösungen zu Abschnitt 3.7.6 .....	53
Lösungen zu Abschnitt 4.1.3 .....	56
Lösungen zu Abschnitt 4.2.7 .....	58
Lösungen zu Abschnitt 4.3.2 .....	60
Lösungen zu Abschnitt 5.7 .....	68
Lösungen zu Abschnitt 6.8 .....	70
Lösungen zu Abschnitt 7.2.8 .....	76
Lösungen zu Abschnitt 7.14 .....	79
Lösungen zu Kapitel 8 .....	81

## Lösungen zu Abschnitt 1.8

1a)  $U_{\text{Str}} = 400 \text{ V}$   
 $I_{\text{Str}} = 28,9 \text{ A}$   
 $S_{\text{Str}} = 11,6 \text{ kVA}$

b)  $S = 34,8 \text{ kVA}$

2a)  $S_{\text{Str}} = 20,7 \text{ kVA}$   
 $I_{\text{Str}} = 30 \text{ A}$

b)  $I = 51,9 \text{ A}$   
 $U_{\text{Str}} = 690 \text{ V}$   
 $S = 62,1 \text{ kVA}$

c)  $I = 51,9 \text{ A}$   
 $U_{\text{St}} = 400 \text{ V}$   
 $S = 62,1 \text{ kVA}$

d)  $I = 51,9 \text{ A}$   
 $S = 62,1 \text{ kVA}$

e)  $I = 51,9 \text{ A}$   
 $S = 62,1 \text{ kVA}$

3a)  $I_{\text{Str}} = 4,9 \text{ A}$   
 $I = 8,49 \text{ A}$

b)  $U_{\text{Str}} = 230 \text{ V}$   
 $I_{\text{Str}} = 2,83 \text{ A}$   
 $S_{\text{Str}} = 653 \text{ VA}$

c)  $P = 1,33 \text{ kW}$

d)  $U = 690 \text{ V}$

4a)  $S = 10 \text{ kVA}$

$P = 8 \text{ kW}$

$Q = 6 \text{ kvar}$

b)  $I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$

$I = 14,5 \text{ A}$

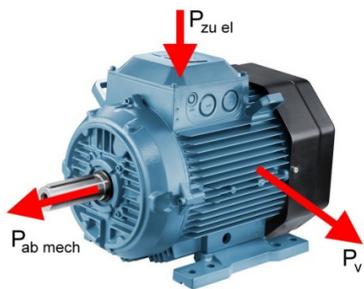
c)  $P_Y = \frac{P \Delta}{3}$

$P_Y = 3 \text{ kW}$

d)  $U_Y = \sqrt{3} \cdot U_{\Delta}$

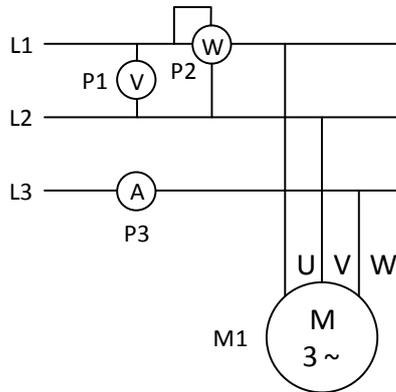
$U_Y = 690 \text{ V}$

5.



6.  $\eta = 0,49$

7.



8. 
$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta = \frac{24 \text{ kW}}{27,3 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,88$$

9. 
$$P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}$$

$$P_{zu} = \frac{10 \text{ kW}}{0,83}$$

$$P_{zu} = 12 \text{ kW}$$

10. 
$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{el} = 3,93 \text{ kW}$$

$$\eta = 0,77$$

$$P_{ab} = \omega \cdot M$$

$$P_{ab} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot M$$

$$P_{ab} = 3 \text{ kW}$$

$$11. \quad P_{\text{mech}} = \frac{W}{t}$$

$$W = F \cdot s$$

$$F = m \cdot g$$

$$F = 250 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 2450 \text{ N}$$

$$W = 2450 \text{ N} \cdot 10 \text{ m}$$

$$W = 24,5 \text{ kNm}$$

$$P_{\text{mech}} = \frac{24,5 \text{ kNm}}{5 \cdot 60 \text{ s}}$$

$$P_{\text{mech}} = 81,7 \text{ W}$$

$$P_{\text{Pzu}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\eta_p}$$

$$P_{\text{Pzu}} = \frac{81,7 \text{ W}}{0,3}$$

$$P_{\text{Pzu}} = 271 \text{ W}$$

$$P_{\text{el}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{\text{el}} = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,66 \text{ A} \cdot 0,82$$

$$P_{\text{el}} = 375 \text{ W}$$

$$\eta_M = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}}$$

$$\eta_M = \frac{271 \text{ W}}{375 \text{ W}}$$

$$\eta_M = 0,72$$

$$12a) \quad P_{\text{mech}} = \frac{\Delta W_{\text{mech}}}{\Delta t}$$

$$P_{\text{mech}} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} \quad \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{s}}$$

$$P_{\text{mech}} = \frac{r \cdot V \cdot g \cdot h}{\Delta t}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{mech}} = 2620 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$\text{mit } 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

$$P_{\text{mech}} = 2,62 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Welle}} = P_{\text{Nenn}}$$

$$P_{\text{Welle}} = \frac{2,62 \text{ kW}}{0,5}$$

$$P_{\text{Welle}} = 5,23 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el}} = \frac{P_{\text{Nenn}}}{\eta_{\text{M}}}$$

$$P_{\text{el}} = \frac{5,25 \text{ kW}}{0,84}$$

$$P_{\text{el}} = 6,23 \text{ kW}$$

b)  $P_{\text{zu(el)}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

$$I = 21,2 \text{ A } (U = 230 \text{ V})$$

$$I = 12,2 \text{ A } (U = 400 \text{ V})$$

c)  $K = W_{\text{el}} \cdot 0,16 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$

$$K = 37,4 \text{ kWh} \cdot 0,16 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$K = 5,98 \text{ €}$$

## Lösungen zu Abschnitt 2.1.14

1a) Dreiphasen-Wechselstrommotor (Drehstrommotor)

b) Bemessungsleistung: 7,5 kW

$$P_{\text{el}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{\text{el}} = 8,41 \text{ kW}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$S = 10,3 \text{ VA}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}}$$

$$\eta = \frac{7,5 \text{ kW}}{8,41 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,89$$

c) Da sich die Spannung um den Faktor  $1/\sqrt{3}$  ändert, ändert sich auch die Stromaufnahme um den Faktor  $1/\sqrt{3}$  und beträgt dann  $I_{\text{V}} = 8,54 \text{ A}$ .

2. Leistungsschild Bild 2.15

Angabe auf dem Leistungsschild:  $\eta = 82,8\%$

Die Rechnung ergibt einen Wirkungsgrad von angegeben.  $\eta = 82\%$

Der Unterschied kann daher rühren, dass es sich um gemessene Leistungsdaten handelt und nicht um gerechnete.

3a) Verordnung EG 640/2009 und EG 4/2014

b) Nein, für diesen Fall muss ein Motor der Effizienzklasse IE3 eingesetzt werden.

c)  $P_{\text{el}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

$$P_{\text{el}} = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 26 \text{ A} \cdot 0,92$$

$$P_{\text{el}} = 16,6 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{ab, mech}}}{P_{\text{el}}}$$

$$\eta = \frac{15 \text{ kW}}{16,6 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,90 \text{ (90\%)}$$

Die Differenz ist dadurch begründbar, dass die Typenschildangaben gemessene Werte ausweisen und dadurch Abweichungen möglich sind.

d) 91,9 % (s. Tabelle Verordnung EG 640/2009)

$P_N$ in kW	IE2, 50 Hz			IE3, 50 Hz		
	Anzahl der Pole					
	2	4	6	2	4	6
15	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2

e)  $P_{\text{el alt}} = \frac{15 \text{ kW}}{0,86}$

$$P_{\text{el neu}} = \frac{15 \text{ kW}}{0,93}$$

$$P_{\text{el alt}} = 17,4 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el neu}} = 16,1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{diff}} = 1,3 \text{ kW}$$

Jahresersparnis:  $P_{\text{diff}} \cdot \text{Tarif} \cdot t$

$$1,3 \text{ kW} \cdot 0,18 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 3600 \text{ h}$$

$$842,40 \text{ €}$$

⇒ Amortisation nach 2,1 Jahren

4. Die Baugröße ist vom zu erreichenden Drehmoment abhängig und dieses wiederum wird durch das Rotorvolumen bestimmt (Wachstumsgesetz).

Motoren mit gleicher Nennleistung



Nennleistung: 2,2 kW      2,2 kW      2,2 kW

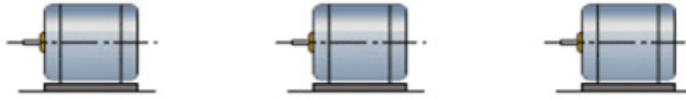
Nennzahl: 1400 1/min      920 1/min      710 1/min

Nennmoment: 15 Nm      23 Nm      30 Nm

Baugröße: 100 mm      112 mm      132 mm

5. Bei gleichem Drehmoment bleibt das Verhältnis  $\frac{P}{\omega}$  konstant ( $P = M \cdot \omega$ ).

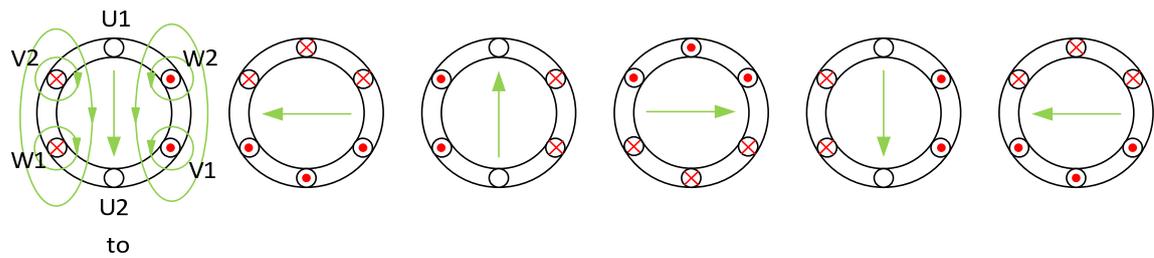
Motoren mit gleichem Drehmoment



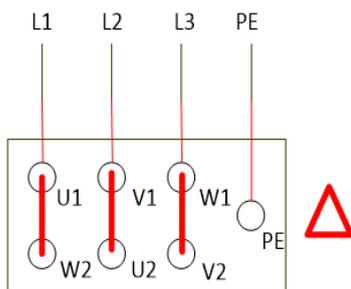
Nennleistung:	2,2 kW	1,5 kW	1,1 kW
Nenndrehzahl:	1400 1/min	920 1/min	690 1/min
Nenndrehmoment:	15 Nm	15 Nm	15 Nm
Baugröße:	100 mm	100 mm	100 mm

## Lösungen zu Abschnitt 2.2.4

1.



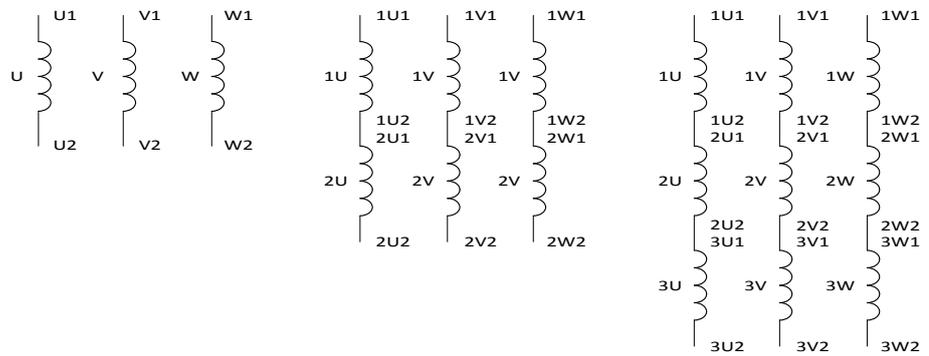
2.



3. 4 Pole und die Polpaarzahl beträgt  $p = 2$

4. Formel:  $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$  Ergebnis:  $n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$

5.



	links	Mitte	rechts
Polzahl	2	4	6
Polpaarzahl	1	2	3
Drehfrequenz $n_s/\text{min}^{-1}$	3000	1500	1000

6. Bedingungen:

- Phasenverschiebung der Ströme um  $120^\circ$
- räumlich um  $120^\circ$  versetzte Spulen im Ständer

7. Komponenten:

1. Klemmkasten
2. Klemmbrett
3. Ständerwicklung
4. Ständerblechpaket
5. Kurzschlussringe
6. Läuferblechpaket und -stäbe
7. Wälzlager
8. Welle
9. Lüfterrad

## Lösungen zu Abschnitt 2.3.4

1. Eine Überbelastung um 70% bedeutet bei  $M_n = 0,35 \text{ Nm}$  :

$$M = 1,7 M_n$$

$$M_n \approx 0,6 \text{ Nm} .$$

Daraus folgt:  $\cos \varphi \approx 0,7$ ,  $n \approx 2350 \text{ min}^{-1}$ ,  $I = 1,55 \text{ A}$

Mechanische Überlastung  $\Rightarrow$  erhöhte Stromaufnahme  $\Rightarrow$  erhöhte Erwärmung  $\Rightarrow$  Schutz durch Motorschutzrelais (thermisches Überlastrelais)

2a)  $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$

$$S = 230 \text{ V} \cdot 19 \text{ A} \cdot 1,73$$

$$S = 7,57 \text{ kVA}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$P = 5,98 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = 4,64 \text{ kvar}$$

$$S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

$$S = 400 \text{ V} \cdot 11 \text{ A} \cdot 1,73$$

$$S = 7,62 \text{ kVA}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$P = 6,02 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = 4,67 \text{ kvar}$$

b)  $\eta = 0,80$

c)  $P = 10$

d)  $s = 5\%$

3a)  $P = 41,6 \text{ kW}$

b)  $\eta = 0,83$

c)  $I = 41,9 \text{ A}$

4a)  $P_{zu} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$

$$P_{zu} = 9,35 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta = 0,80$$

b)  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

$$S = 12,5 \text{ kVA}$$

c)  $p = 4$

d)  $s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad s = 4\%$

5.  $p = 2$

$$\Delta n = 55 \text{ min}^{-1}$$

$$s = 3,67\%$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$P_{zu} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$P_{zu} = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 24 \text{ A} \cdot 0,78$$

$$P_{zu} = 13 \text{ kW}$$

$$\eta = 0,85$$

6.  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

$$S = 30,5 \text{ kVA}$$

$$P_{zu} = S \cdot \cos\varphi$$

$$P_{zu} = 25,6 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = 16,6 \text{ kvar}$$

$$7. \quad n_s = \frac{f}{p}$$

$$n_s = \frac{50 \cdot 60 \text{ min}^{-1}}{2}$$

$$n_s = 1500 \text{ min}^{-1} \quad \Delta n = s \cdot n_s$$

$$\Delta n = 0,045 \cdot 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$\Delta n = 67,5 \text{ min}^{-1}$$

$$n = n_s - \Delta n$$

$$n = 1433 \text{ min}^{-1}$$

$$8. \quad M = 9550 \cdot \frac{P}{n} \text{ mit } [M] = \text{Nm} \quad [P] = \text{kW} \quad [n] = \text{min}^{-1}$$

$$M = 9550 \cdot \frac{10 \text{ kW}}{500 \text{ min}^{-1}}$$

$$M = 191 \text{ Nm}$$

$$9. \quad M = 9550 \cdot \frac{P}{n}$$

$$M_N = 9550 \cdot \frac{400}{730} \text{ Nm}$$

$$M_N = 5233 \text{ Nm}$$

$$P_{II} = \frac{M_{II} \cdot n_{II}}{9550}$$

$$P_{II} = \frac{8372 \cdot 700}{9550} \text{ kW}$$

$$P_{II} = 614 \text{ kW}$$

$$M_{II} = 1,6 \cdot M_N$$

$$M_{II} = 1,6 \cdot 5233 \text{ Nm}$$

$$M_{II} = 8372 \text{ Nm}$$

Hinweis:

$$\frac{P_{II}}{P_N} = \frac{614 \text{ kW}}{400 \text{ kW}}$$

$$\frac{P_{II}}{P_N} = 1,53 < 1,6$$

Das Kippmoment muss mindesten  $1,6 \cdot M_N$  betragen (VDE 0530-1).

10. Basiswerte:  $M_N = 2 \text{ kNm}$   $n_N = 600 \text{ min}^{-1}$

$$P_N = \frac{M_N \cdot n_N}{9550} \text{ kW}$$

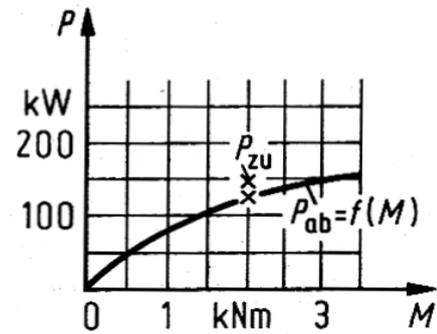
$$P_N = \frac{200 \cdot 600}{9550} \text{ kW}$$

$$P_N = 126 \text{ kW}$$

$$P_N = P_{ab} \quad P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}$$

$$\text{Im Nennpunkt: } P_{zu} = \frac{126 \text{ kW}}{0,897}$$

$$P_{zu} = 140 \text{ kW}$$



1 kNm – 73 kW

2 kNm – 140 kW

3 kNm – 157 kW

11a) Bemessungs-(Nennleistung)

$$P = 7,5 \text{ kW}$$

$$P_{zu} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{zu} = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 4,56 \text{ A} \cdot 0,8$$

$$P_{zu} = 2,53 \text{ kW}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$S = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 4,56 \text{ A}$$

$$S = 3,16 \text{ kVA}$$

b)  $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$

$$\eta = \frac{2,2 \text{ kW}}{2,53 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,88$$

c) Bauweise (grundsätzlich) mit Materialeinsatz und Geometrie  
Läuferkäfigmaterial (Al – Cu)

Betriebspunkt

Lüftung (Wärmeabfuhr)

Verschleiß

d)  $M_N = \frac{P}{\omega}$

$$M_N = \frac{2,2 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$M_N = 14,7 \text{ Nm}$$

Die Drehzahl zeigt an; Wirkungsgrad s. Kennlinie.

e) Polzahl, Netzfrequenz und Schlupf.

f) Der Schlupf ist die Drehzahl-Differenz zwischen der synchronen oder Drehfeld-Drehzahl und der Läuferdrehzahl und wird üblicherweise in % angegeben.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

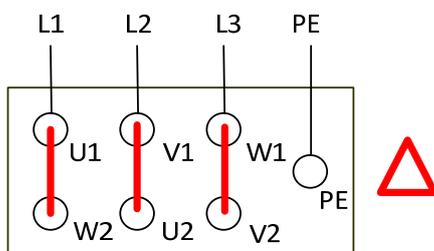
$$s = \frac{(1500 - 1435) \text{ min}^{-1}}{1500 \text{ min}^{-1}}$$

$$s = 4,3 \%$$

g) Schutzgrad: 5 - staubgeschützt / 5 – geschützt gegen Strahlwasser

Betriebsart: S1 Dauerbetrieb

12a)



b) Schutzart (International Protection)

1. Berührungs-/Fremdkörperschutz

2. Schutz gegen Eindringen von Wasser

IP 44: Werkzeuge/Drähte/Fremdkörper > 1mm; Schutz gegen allseitiges Spritzwasser

$$c) \quad M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$M = \frac{370 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 1390 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}}}$$

$$M = 2,54 \text{ Nm}$$

Das Drehmoment des Motors ist für die Aufgabenstellung nicht ausreichend. Daher ist ein 0,55kW Typ mit 3,78Nm zu wählen.

13. Nach VDE 0530-1 gilt: Das Kippmoment muss mindestens den 1,6fachen Wert des Bemessungsmoments aufweisen. Weitere Kenndaten:  $I_A / I_N \approx 3...7$  und  $M_A / M_N \approx 0,5...3$

14. C: Der Anzugsstrom ist vom Lastmoment unabhängig.

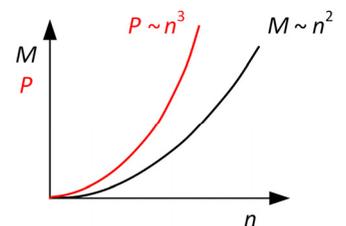
Begründung: Der Anzugsstrom ist der Strom, der in dem Augenblick fließt, wo der Motor noch nicht dreht. Damit spielt es keine Rolle, ob der Motor unbelastet oder mit Nennlast betreiben wird.

$$15. \quad P_2 = P_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3 \text{ s. Tabellenbuch}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

Da für das Drehmoment gilt:  $M \sim n^2$   
 und für die Leistung gilt:  $P = M \cdot n$   
 gilt für die Leistung:  $P \sim n^3$

$$P_2 = 1,5 \text{ kW}$$



$$16. \quad P = \frac{\Delta m \cdot g \cdot h}{\Delta t \cdot \eta}$$

$$P = \frac{1.000.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 15 \text{ m}}{\text{s}^2 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 0,9}$$

$$P = 45,4 \text{ kW}$$

$$17a) \quad n_2 = n_1 \cdot \frac{d_1}{d_2}$$

$$n_2 = 540 \text{ min}^{-1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1}$$

$$M_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot M_1$$

$$M_2 = \frac{1400 \text{ min}^{-1}}{540 \text{ min}^{-1}} \cdot 20 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 53,3 \text{ Nm}$$

b)  $v = n \cdot d \cdot \pi$

$$v = 540 \text{ min}^{-1} \cdot 12 \text{ mm} \cdot \pi$$

$$v = 0,34 \text{ m/s}$$

$$\text{mit } P_1 = \frac{M_1 \cdot n_1}{9550}$$

$$\text{folgt } M_1 = \frac{3 \cdot 9550}{1440} \text{ Nm}$$

$$M_1 = 20 \text{ Nm}$$

18a)  $P = M \cdot n$

$$M = \frac{P \cdot 9550}{n}$$

$$M = \frac{3 \cdot 9550}{955} \text{ Nm}$$

$$M = 30 \text{ Nm}$$

b)  $M_2 = M_1 \cdot \frac{n_1}{n_2}$

$$M_2 = 30 \text{ Nm} \cdot \frac{955 \text{ min}^{-1}}{2390 \text{ min}^{-1}}$$

$$M_2 = 12 \text{ Nm}$$

c)  $i = \frac{n_1}{n_2}$

$$n_2 = \frac{n_1}{i}$$

$$n_2 = 955 \text{ min}^{-1} \cdot 2,5$$

$$n_2 = 2390 \text{ min}^{-1}$$

d)  $i = \frac{z_2}{z_1}$

$$z_2 = i \cdot z_1$$

$$z_2 = \frac{1}{2,5} \cdot 30$$

$$z_2 = 12$$

$$19. \quad n_1 = 16 \text{ s}^{-1}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{16 \cdot 333 \text{ mm}}{\text{s} \cdot 80 \text{ mm}}$$

$$n_2 = 66,6 \text{ s}^{-1}$$

$$U_s = 2 \cdot \pi \cdot r_s$$

$$U_s = 2 \cdot \pi \cdot 75 \text{ mm}$$

$$U_s = 471 \text{ mm}$$

$$\omega_s = 2 \cdot \pi \cdot n_s$$

$$\omega_s = 418 \text{ s}^{-1}$$

$$v_s = \omega_s \cdot r_s$$

$$v_s = 2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot r_s$$

$$v_s = 31400 \text{ mm/s}$$

$$v_s = 31,4 \text{ m/s}$$

$$20a) \quad n_2 = \frac{v}{\pi \cdot d}$$

$$n_2 = \frac{0,8 \text{ m}}{\text{s} \cdot 3,14 \cdot 150 \text{ mm}}$$

$$n_2 = 1,7 \text{ s}^{-1}$$

$$b) \quad n_1 = i \cdot n_2$$

$$n_1 = 24,5 \cdot 1,7 \text{ s}^{-1}$$

$$n_1 = 41,7 \text{ s}^{-1}$$

$$n_1 = 2502 \text{ min}^{-1}$$

$$P_M = \frac{M \cdot n}{\eta}$$

$$P_M = \frac{F_s \cdot r_s \cdot \omega}{\eta}$$

$$P_M = \frac{F_s \cdot r_s \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_s}{\eta}$$

$$P_M = 5 \text{ kW}$$

21.

$$P_a = F_s \cdot s/t$$

$$= 1 \text{ t} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot \frac{2000 \text{ m}}{10 \text{ min}}$$

$$P_a = 33,3 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_e}$$

$$P_e = \frac{P_a}{\eta}$$

$$P_e = 41,7 \text{ kW}$$

$$22. P_a = F_s \cdot v$$

$$P_a = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 2 \text{ m/s}$$

$$P_a = 20 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_e}$$

$$P_e = \frac{P_a}{\eta}$$

$$P_e = 23,5 \text{ kW}$$

$$23. P_a = F_s \cdot s/t$$

$$= 10.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \frac{20 \text{ m}}{60 \cdot 60 \text{ s}}$$

$$P_a = 545 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_e}$$

$$P_e = \frac{P_a}{\eta}$$

$$P_e = 641 \text{ W}$$

$$24. P_a = M \cdot \omega$$

$$= 15 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 750 \text{ min}^{-1}$$

$$P_a = 1180 \text{ W}$$

## Lösungen zu Abschnitt 2.4.7

1.  $P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot F \cdot l$   
 $P = 4,5 \text{ kW}$

2.  $P = \omega \cdot M$   
 $M = \frac{P}{\omega}$   
 $M = \frac{7,5 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot f}$   
 $M = 49,7 \text{ Nm}$

3. 4polig:  $1500/1800 \text{ min}^{-1}$   
 $p = 1: 3000/3600 \text{ min}^{-1}$   
8polig:  $= 3750/900 \text{ min}^{-1}$   
 $p = 3: 1000/1200 \text{ min}^{-1}$

4a)  $n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$

b)  $s = \frac{n_d - n}{n_d}$   
 $s = 8,67\% \text{ bzw. } 3,83 \text{ s\%}$

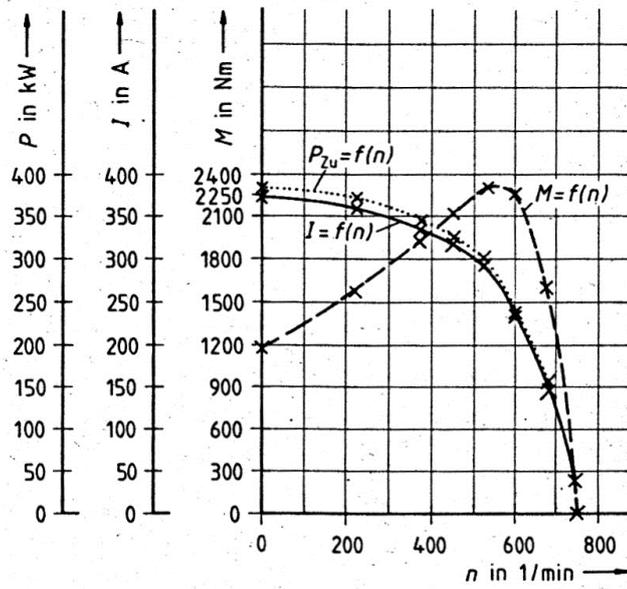
5a)  $n = (1 - s_n) \cdot \frac{f}{p}$

$n = 1425 \text{ min}^{-1}$

b)  $n_s = 1000 \text{ min}^{-1}$

$n = 950 \text{ min}^{-1}$

6.



7. 
$$s_N = \frac{n_d - n}{n_d}$$

mit  $n = 1400 \text{ min}^{-1}$

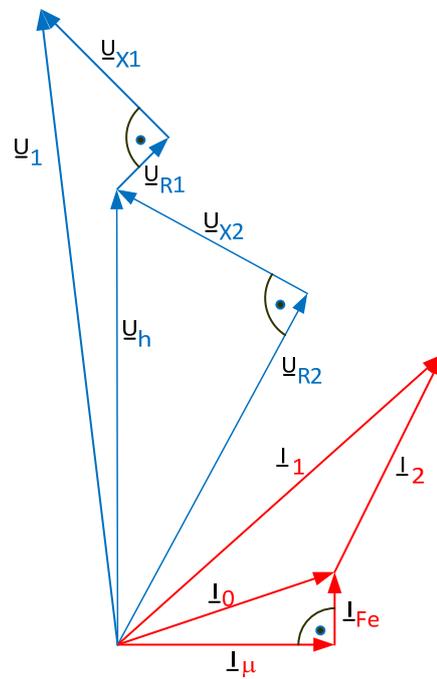
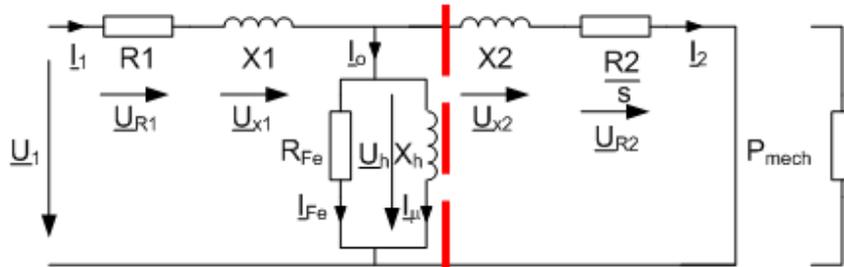
$s_N = 6,67\%$

mit  $n_k = 975 \text{ min}^{-1}$

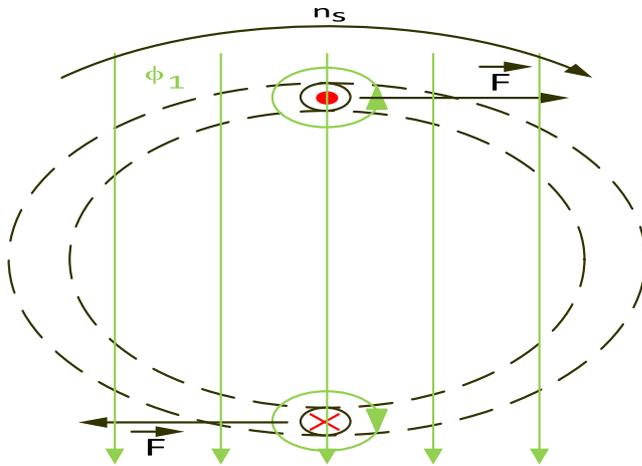
$s = 35\%$

## Lösungen zu Abschnitt 2.5.8

1.



2.



3.

Zustand	M	n	s	f <sub>L</sub>	I	M/M <sub>N</sub>	I/I <sub>N</sub>	cosφ
Leerlauf	0	max.	≈ 0,05	≈ 0	min.	≈ 0	0,3 - 0,5	< 0,5
Anlaufen	M <sub>A</sub>	0	1	50 Hz	max.	< 2	8 - 10	< 0,4
Kippunkt	M <sub>K</sub>	n <sub>K</sub> < n <sub>N</sub>	≈ 0,2	> f <sub>N</sub>	> I <sub>N</sub>	> 2	≈ 6	≈ 0,6
Nennbetrieb	M <sub>N</sub>	n <sub>N</sub>	≈ 0,1	1 - 2 Hz	I <sub>N</sub>	1	1	0,85

4a) Schaltung: Y

b)  $n_s = 750 \text{ min}^{-1}$

$p = 4$

$\eta = 80,2\%$

$s_N = 6\%$

c)  $M_N = 54,2 \text{ Nm}$

$P_{\text{Nel}} = 5 \text{ kW}$

$S_{\text{Nel}} = 6,93 \text{ kVA}$

d)  $n_2 = \text{ca. } 696 \text{ min}^{-1}$

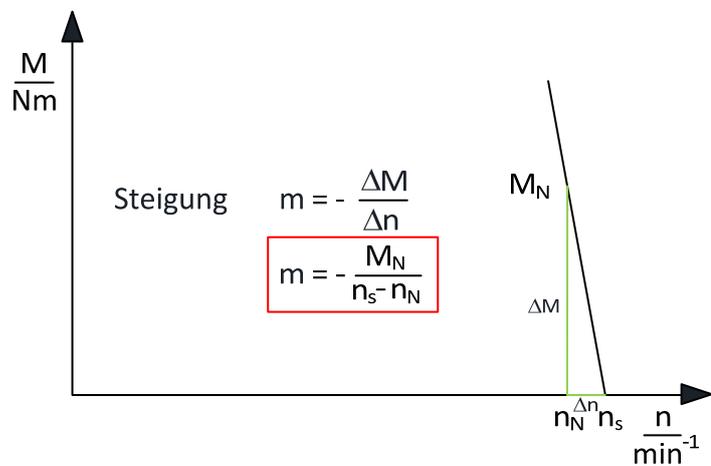
Hinweis zu d)

$$m = -\frac{1,2 \cdot M_N}{1,2 \cdot (750 - 705) \text{ min}^{-1}}$$

$$m = -\frac{1,2 \cdot M_N}{54 \text{ min}^{-1}}$$

$$n_2 = n_s - 54 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 696 \text{ min}^{-1}$$



5a) Schaltung: n Y

b)  $n_s = 1000 \text{ min}^{-1}$

$$p = 3$$

$$\eta = 60\%$$

$$s_N = 10\%$$

c)  $M_N = 5,84 \text{ Nm}$

d)  $P_{\text{Nel}} = 921,5 \text{ W}$

$$S_{\text{Ne}} = 1,32 \text{ kVA}$$

e)  $n_2 = \text{ca. } 950 \text{ min}^{-1}$  s. Hinweis zu 4d)

6a) Schaltung: Y

b)  $n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$

$$p = 1$$

$$\eta = 85,2\%$$

$$s_N = 3,3\%$$

c)  $M_N = 13,18 \text{ Nm}$

d)  $n_2 = \text{ca. } 2800 \text{ min}^{-1}$  s. Hinweis zu 4. d)

$$M_k' = 31 \text{ Nm}$$

Hinweis zur **Veränderung der Statorspannung**: Das Drehmoment nimmt mit dem

Quadrat der Statorspannung ab/zu  $M \sim U_s^2$   $\frac{M_k}{M_N} = \left(\frac{U}{U_N}\right)^2$ .

7a)  $p = 4$

b)  $P_b = 3 \text{ kW}$

c) mit  $U = 400 \text{ V}$

$$P_{\text{zu}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{\text{zu}} = 4,14 \text{ kW}$$

d)  $\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}}$

$$\eta = 0,72$$

e)  $P_V = P_{\text{zu}} - P_{\text{ab}}$

$$P_V = 1,14 \text{ kW}$$

f)  $I_A = 4,4 \cdot I_b$

$$I_A = 36,5 \text{ A}$$

g) Anlassschaltung, ohne Lastmoment starten

h)  $P_N = \omega \cdot M_N$

$$M_N = \frac{3000 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 11,8 \text{ Hz}}$$

$$M_N = \frac{P_N}{2 \cdot \pi \cdot f_N}$$

$$M_N = 40,4 \text{ Nm}$$

$$f_N = \frac{710 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{HZ}}}$$

$$M_A = 1,9 \cdot M_N$$

$$M_A = 76,7 \text{ Nm}$$

i)  $\arccos 0,72 = 44^\circ$

8a) Brücken: U1 – W2

V1 – U2

W1 – V2

Zuleitung: L1 – U1

L2 – V1

L3 – W1

PE

b) Kurzbezeichnung für die Schutzart nach VDE 0470:

1. Stelle 4: Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser größer als 1 mm

2. Stelle 4: Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen

c)  $M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$        $M = 2,54 \text{ Nm}$

Es muss ein Motor mit der Bemessungsleistung von 0,55 kW ( $M = 3,8 \text{ Nm}$ ) eingesetzt werden. Der Motorschutz muss an den neuen Bemessungsstrom angepasst werden.

9a) Einschaltstrom

$$I_A = 7,5 \cdot 14,8 \text{ A}$$

$$I_A = 111 \text{ A}$$

Es können im speisenden Netz störende Spannungsabsenkungen entstehen. Als Grenzwert für direktes Zuschalten bei Motoren mit gelegentlichem Anlauf gilt ein Anlaufstrom von 60A.

b)  $P = \frac{M \cdot n}{9550}$        $M = \frac{P \cdot 9550}{n}$

$$M = 49,6 \text{ Nm}$$

$$M_A = 2,6 \cdot 49,6 \text{ Nm}$$

$$M_A = 129 \text{ Nm}$$

c)  $I_E = \frac{I_A}{3}$

$$I_E = 37 \text{ A}$$

d)  $M_E = \frac{M_A}{3}$

$$M_E = 43 \text{ Nm}$$

e) Stern-Dreieck-Schaltungen werden aufgrund des geringen Anlaufmoments nur für leer anlaufende Antriebssysteme eingesetzt. Dazu zählen u. a. Be- und Verarbeitungsmaschinen. Ein Einsatz mit Anlaufbelastung ist i. d. R. nicht möglich.

10. Bild 1: Drehstrommotor

Nicht geeignet: Strangspannung 230 V; darf nur in Y-Schaltung an 400 V betrieben werden.

Bild 2: Drehstrommotor

Geeignet: Strangspannung beträgt 400 V.

Bild 3: Gleichstrommotor

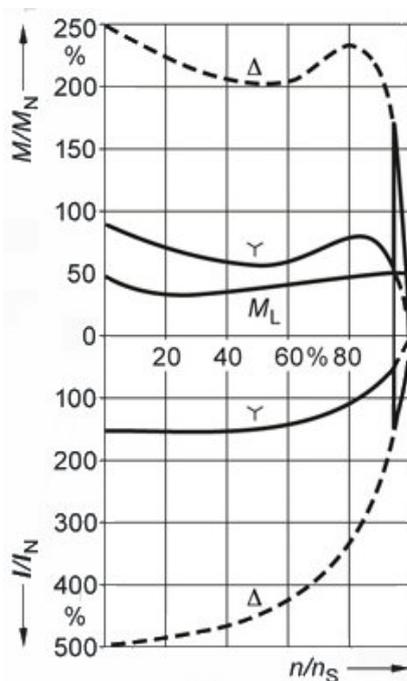
Nicht geeignet. Es handelt sich um einen Gleichstrommotor, da die Erregerspannung angegeben und  $\cos \varphi$  sowie Frequenzangabe fehlen.

Bild 4: Drehstrommotor

Nicht geeignet. Es handelt sich um einen Schleifringläufermotor, der über die Rotorseite (Läuferwiderstände) angelassen wird. Strangspannung zudem 400 V.

11a) Da die Lastkennlinie nur geringfügig unterhalb der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie des Stern-Anlaufs verläuft und der Schlupf noch relativ groß ist (nahe Sattelmoment), ergibt sich beim Umschalten in den  $\Delta$ -Betrieb immer noch eine große Stromänderung auf ca.  $3 \cdot I_N$ .

b) Verläuft die Lastkennlinie deutlicher unterhalb der Hochlaufkennlinie der Stern-Anlaufphase, so ist der Schlupf im Umschaltzeitpunkt geringer und der Sprung der Stromaufnahme wird deutlich geringer (ca.  $1,5 \cdot I_N$ , s. Abb.).



Das Drehmoment des Motors sollte in jedem Augenblick mindestens  $1,2 \cdot M_N$  betragen.

12. Drehstrommotor:  $I_A \leq 60 \text{ A}$  und  $S \leq 5,2 \text{ kVA}$

Einphasen-Wechselstrommotor:  $I_A \leq 60 \text{ A}$  und  $1,7 \text{ kVA}$

13a) Die Stromaufnahme beim direkten Einschalten würde  $8,3 \times I_N$ , also  $109 \text{ A}$  betragen und wäre daher nicht zulässig.

b) Das Drehmoment beim direkten Einschalten beträgt  $1,9 \times M_N$ , also  $46,2 \text{ Nm}$ . Beim Stern-Dreieck-Anlauf würde das Anlauf-Drehmoment nur noch  $1/3 M_A$  betragen und daher mit  $15,4 \text{ Nm}$  zu gering sein.

c)  $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

$$P = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 13,1 \text{ A} \cdot 0,92$$

$$P = 8,34 \text{ kW}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$S = 1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 13,1 \text{ A}$$

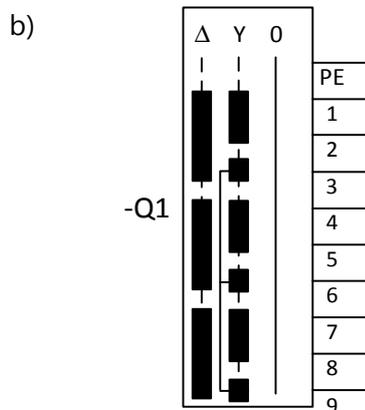
$$S = 9,07 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = 3,56 \text{ Kvar}$$

14a)

Schaltstellung	Schaltglied							
	A	B	C	D	E	F	G	H
0								
Y		X		X		X	X	X
$\Delta$	X	X	X	X	X	X		



- 15a) Es fließt ein Einschaltstrom in etwa des 7-fachen Bemessungsstromes (rund 100 A). Somit ist im Einschaltaugenblick ein Strom von rund 100 A vorhanden. Diese hohe Einschaltstromspitze verursacht u. a. Netzspannungsschwankungen.
- b) Der Motor wird in Sternschaltung in Betrieb gesetzt und somit nicht sofort an seine Bemessungsspannung gelegt. An den Motorwicklungen liegt eine Spannung von 230 V. Nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit erfolgt die Umschaltung auf die Dreieckschaltung (400 V).
- c) Der Anlaufstrom beträgt bei Sternschaltung nur ein Drittel des Stromes bei der Dreieckschaltung.  
Das Anlaufmoment beträgt bei Sternschaltung nur ein Drittel des Momentes bei der Dreieckschaltung.  
Einsatz als Antriebsmotor bei leer anlaufenden Arbeitsmaschinen, z.B. Be- und Verarbeitungsmaschinen.
- 16a) Beim Einbau des Motorschutzrelais in Position A fließt dort nur der Strangstrom, der gegenüber dem Leiterstrom bei Position B um den Faktor  $1 / \sqrt{3} = 0,58$  kleiner ist.
- b) Schaltung mit Motorschutzschalter: Schweranlauf  
Schaltung mit Motorschutzrelais: Normalanlauf
- c) Der Umschaltzeitpunkt erfolgt nicht zu früh, es treten keine Stromspitzen auf.  
Der Antrieb wird nicht versehentlich in Sternschaltung betrieben.

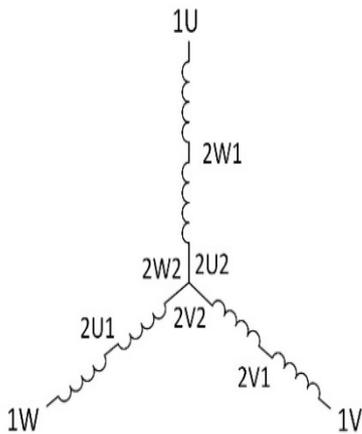
## Lösungen zu Abschnitt 2.7.3

1.

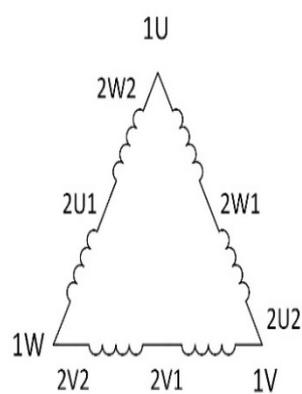
Wicklungsschaltung	Netzspannung	direktes Einschalten im	Y/ $\Delta$ -Anlauf
230 $\Delta$ / 400 Y	230 V 400 V	$\Delta$ Y	möglich nicht möglich
400 $\Delta$ / 690 Y	400 V 690 V	$\Delta$ Y	möglich nicht möglich
500 $\Delta$	500 V	$\Delta$	möglich
500 Y	500 V	Y	nicht möglich
690 $\Delta$	690 V	$\Delta$	Möglich

2.

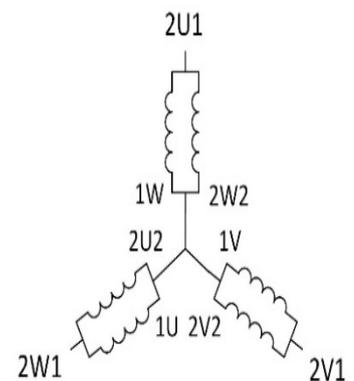
niedrige Drehzahl Y



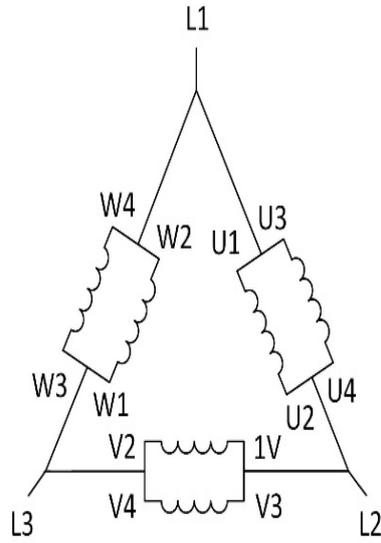
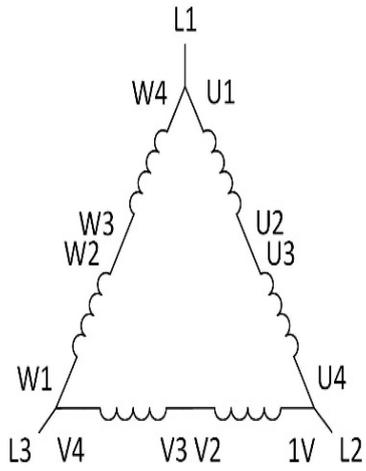
niedrige Drehzahl  $\Delta$



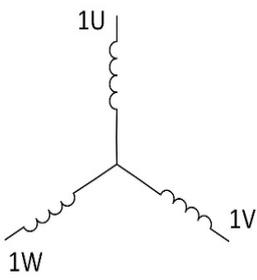
hohe Drehzahl  $\Delta\Delta$



3.

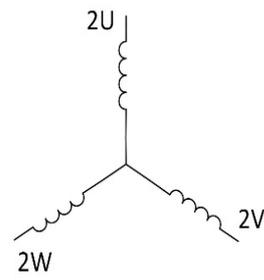
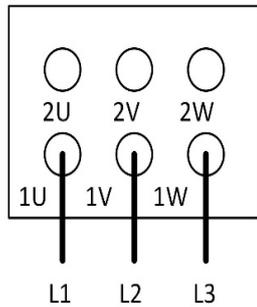


4. Getrennte Wicklungen

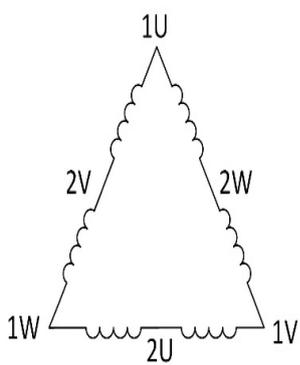
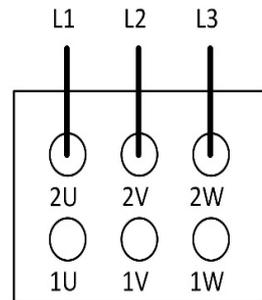


niedrige Drehzahl

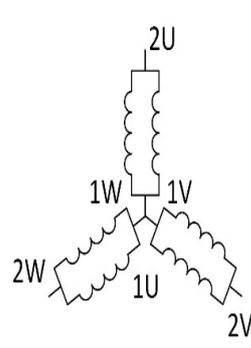
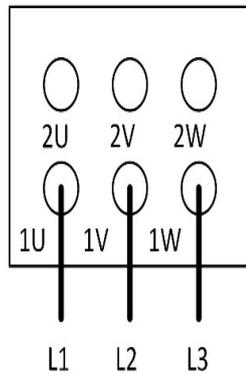
Dahlanderschaltung



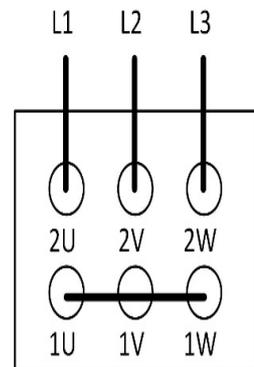
hohe Drehzahl



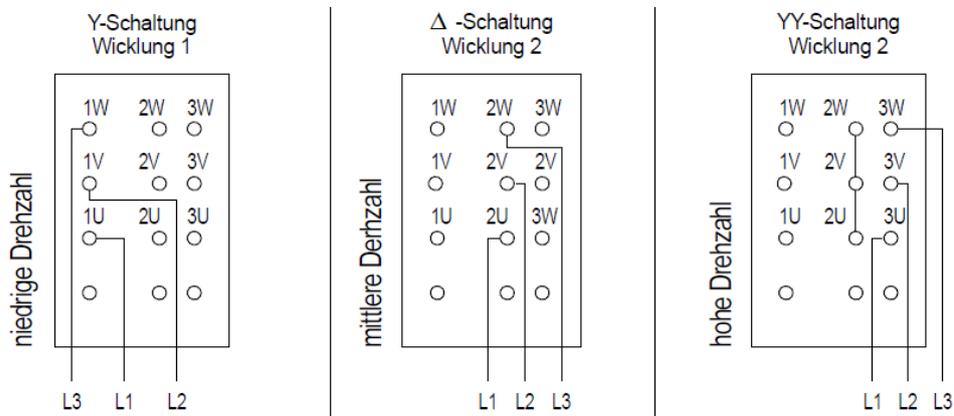
niedrige Drehzahl



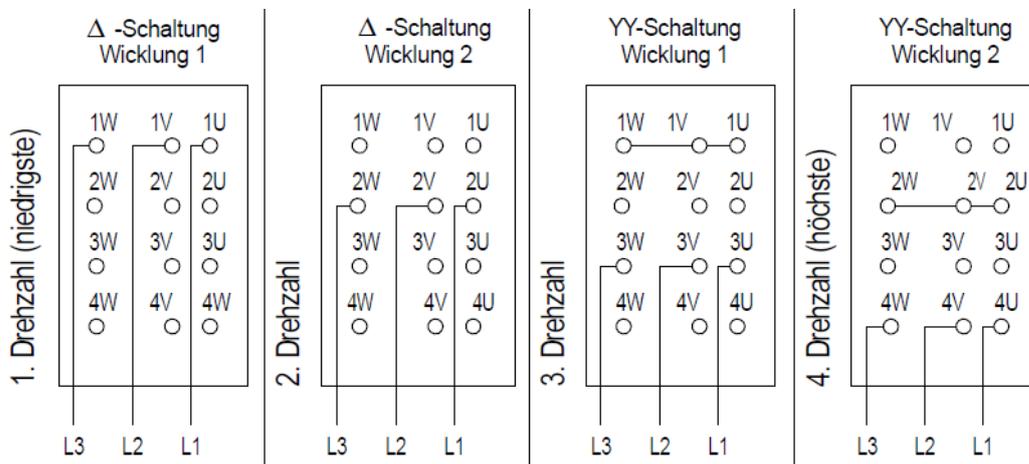
hohe Drehzahl



5a)



b)



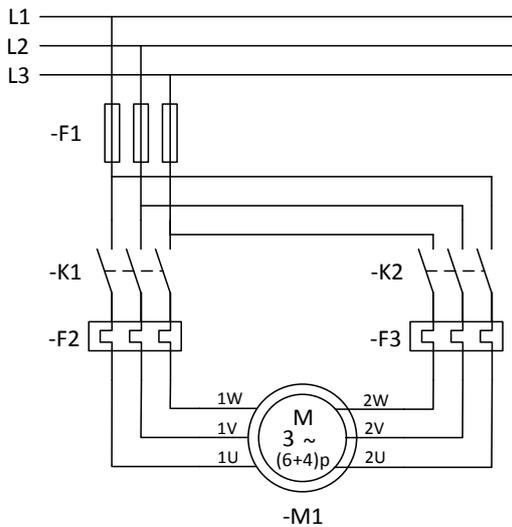
6a) Polumschaltbarer Motor mit 2 getrennten Wicklungen

b) 1: 1U – 1V – 1W niedrige Drehzahl

2: 2U – 2V – 2W hohe Drehzahl

c) s. Abb. rechts

d) Je nach Drehzahl hat der Motor unterschiedliche Stromaufnahmen.



7a) Es handelt sich um einen polumschaltbaren Motor mit 3 Umdrehungsfrequenzen (Drehzahlen):

Dahlanderwicklung mit 4 + 2 Polen und eine zusätzliche Wicklung mit 6 Polen.

Die möglichen Umdrehungsfrequenzen sind demnach:

$< 1000 \text{ min}^{-1}$ ,  $< 1500 \text{ min}^{-1}$ ,  $< 3000 \text{ min}^{-1}$

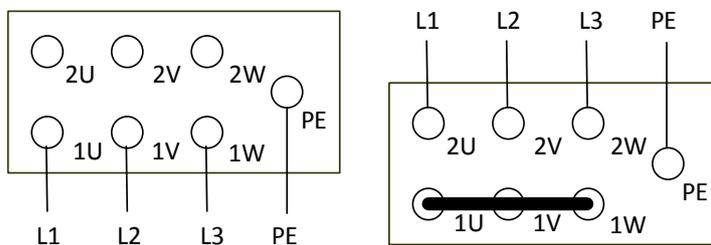
b) Bei drei „getrennten“ Wicklungen hat der Motor 3 unterschiedliche Stromaufnahmen oder Bemessungsströme.

c) Q1 und Q2 sind für die Drehrichtung zuständig: Q1 – Rechtslauf, Q2 – Linkslauf.

d) Q2 (Linkslauf), Q5 und Q6 (hohe Umdrehungsfrequenz).

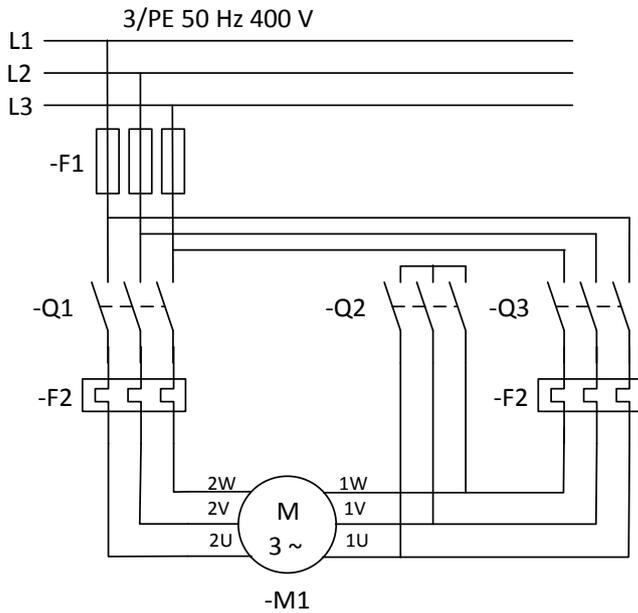
8a) Anschluss ans 400-V-Netz, Strangspannung 230V. Dahlanderschaltung für 2 Drehzahlen. Polumschaltbarer Motor Y / YY. Die Leistungen P1:P2 verhalten sich wie 1:4.

b)



links: niedrige Drehzahl (Rechtslauf); rechts: hohe Drehzahl

c)



d) Schutzart IP 5X; Betriebsart S1.

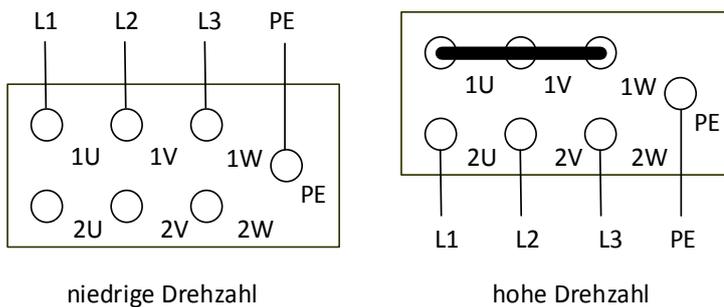
9a) Windungsschluss; Ausfall einer oder mehrerer Windungen infolge defekter Isolierung mit der Folge einer erhöhten Stromaufnahme durch den kleineren Widerstand.

b) 
$$n = \frac{f}{p} \cdot (n - s)$$

Steigt z. B. die Polzahl, so sinkt die Drehzahl und umgekehrt.

Dahlanderschaltung mit 4 bzw. 2 Polen und so  $1410 \text{ min}^{-1}$  bzw.  $2830 \text{ min}^{-1}$ .

c)



10. Überlastung des Motors, Spannung zu hoch oder zu niedrig, Unterbrechung eines Außenleiters, Behinderung der Kühlung, Lagerschaden.

- 11a) Der Einschaltstrom beträgt ca.  $7 \cdot I_N \approx 100 \text{ A}$  und verursacht Netzspannungsschwankungen.
- b) Bei Sternschaltung liegt an den Wicklungen/Strängen nur 230 V und der Motor hat so eine deutlich geringere Stromaufnahme im Einschaltaugenblick. Nach einer vorgewählten Zeit erfolgt die Umschaltung auf  $\Delta$ -Betrieb.
- c) Anlaufstrom in Y-Schaltung nur  $1/3$   $\Delta$ -Schaltung; Anlaufmoment in Y-Schaltung nur  $1/3$   $\Delta$ -Schaltung; Einsatz bei Anlauf mit geringer oder ohne Belastung.
- 12a) Polumschaltbarer Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen in Y-Schaltung mit 6 bzw. 4 Polen.
- b) Bei längerer Zeit überhöhter Stromaufnahme ( $I > I_N$ ). Ursachen s. vorn.
- c) Niedrige Drehzahl: 3,9 A, hohe Drehzahl: 5,2 A.

## Lösungen zu Abschnitt 3.1.8

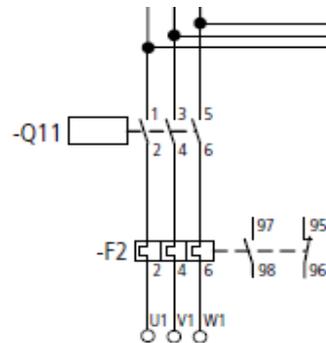
1. Faustformel:  $I_N \approx 2 \cdot P_N$   $I_N$  in A  $P_N$  in A/kw  $I_N \approx 2 \cdot 4$  A  $I_N \approx 8$  A

Das Motorschutzrelais muss demnach auf etwa 8 A eingestellt werden.

- 2a)  $I = 8,3$  A

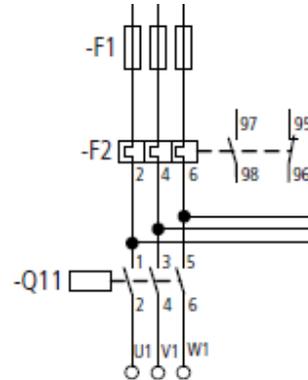
- b) EATON Motorschutzrelais ZB12-10 und EATON Motorschutzschalter PKZM0-10

- 3a) Einstellwert:  $\frac{I_N}{\sqrt{3}}$  oder 0,577



- b) Einstellwert:  $I_N$

Der hier eingestellte Stromwert ( $I_N$ ) ist für die Anlaufphase Stern um den Faktor 1,73 zu hoch eingestellt und kann daher keine ausreichende Schutzfunktion gewährleisten.



- c) Bei sehr schweren, langandauernden Anläufen (z. B. in Zentrifugen) kann das Motorschutzrelais auch hinter das Dreieckschütz Q4 (Q6 Sternschütz) geschaltet werden. Diese Schaltung kann dann zum Einsatz kommen, wenn ausgesprochener Schwer- oder Langzeitanlauf vorliegt.

In der Sternschaltung wird dann das Motorschutzrelais nicht vom Strom durchflossen. Beim Anlauf ist daher kein Motorschutz vorhanden.

Einstellwert:  $0,577 \cdot I_N$

4a) Einstellwert:  $I_N$

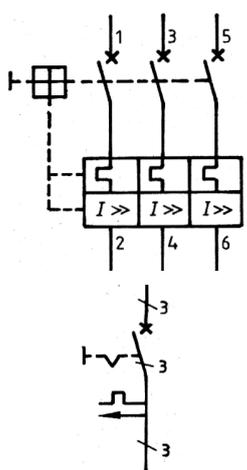
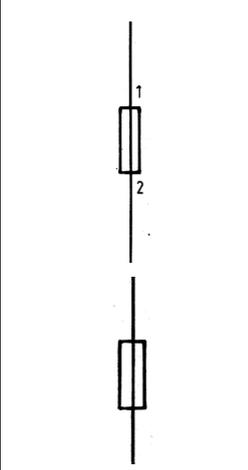
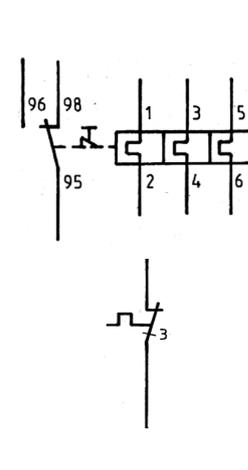
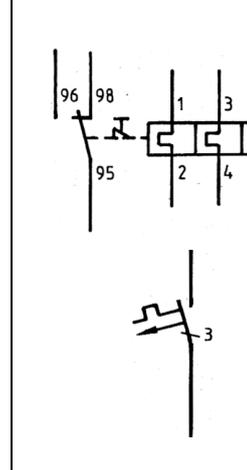
b) Bedingter Schutz, da in der Anlaufphase „Stern“ der Motor-Schutzschalter zu hoch eingestellt ist.

$$5. \quad P_1 = \frac{P_N}{\eta} \quad I = \frac{P_1}{U \cdot 1,73 \cdot \eta}$$

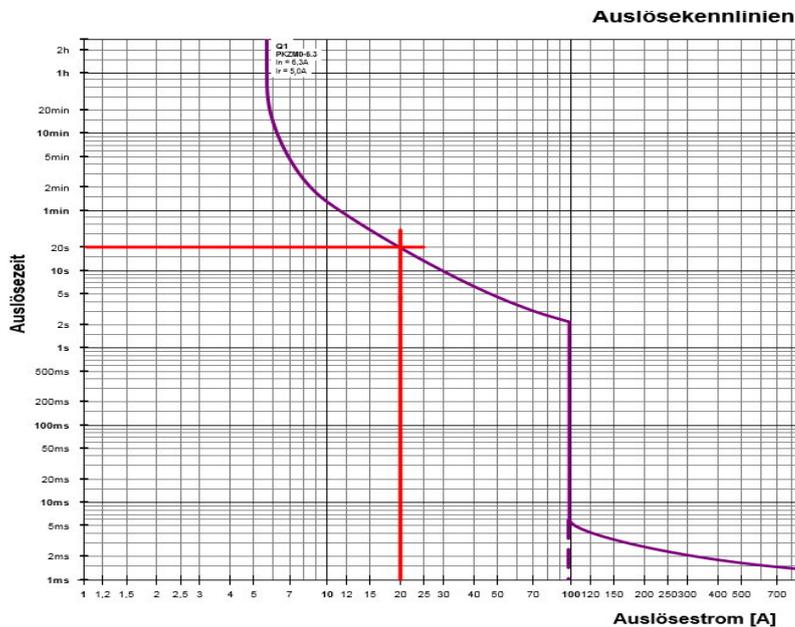
$$P_1 = \frac{7,5 \text{ kW}}{0,86} \quad I = \frac{8,72 \text{ kW}}{4 \beta 0 \text{ V} \cdot 1,73 \cdot 0,85}$$

$$P_1 = 8,72 \text{ kW} \quad I = 14,8 \text{ A}$$

6. In der Tabelle sind folgende Motorschutzeinrichtungen abgebildet: Motorschutzschalter, NH-Sicherung, Motor-Schutzrelais, Leistungsschalter. Ordnen Sie die Schutzeinrichtungen den Abbildungen zu und ergänzen Sie die Tabelle.

1. Leistungsschalter	2. NH-Sicherung	3. Motorschutz-Relais	4. Motorschutz-Schalter
Überlast Kurzschluss	Kurzschluss	Überlast	Überlast Kurzschluss
			

7a) Auslösezeit  $t \approx 20$  s (s. Abb. unten)



b)  $\frac{I}{I_N} = 4,54$

8a) Der Widerstandswert ist niedrig.

b) Der Widerstandswert steigt.

c) An elektrischen Maschinen (Motoren) können unzulässig hohe Temperaturen z.B. durch verminderte Kühlung oder Lagerschäden auftreten. Da die Stromstärke in diesen Fällen ihren Bemessungswert nicht überschreitet, wird ein Motorschutzschalter oder ein thermisches Überstromrelais nicht ausgelöst.

Beim Motorschutz durch Thermistoren wird ein Motor mit in der Motorwicklung eingebauten Temperaturfühlern benötigt (hier 3x PTC). Diese Fühler erfassen jeden Temperaturanstieg in der Wicklung unabhängig von deren Ursache.

Thermistor - Schutzeinrichtungen eignen sich besonders zum Überwachen von Motoren bei denen sich die Drehzahl ändern lässt. Hierzu müsste für jede Drehzahl ein Motorschutzschalter vorgesehen werden. Bei Verwendung von Thermistor-Schutzeinrichtungen besteht dieses Problem nicht.

Zunächst wird bei Betätigung von S1 die Steuerung/Schaltung an Spannung geschaltet und bei niedrigen Temperaturen (geringe PTC-Widerstandswerte) damit auch von der Auswerteeinheit N1 das Schutz K1 betätigt.

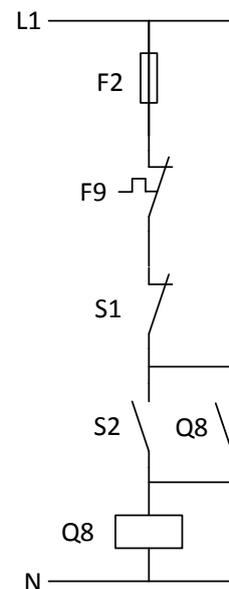
Die Kontrollleuchte H1 zeigt keine Störung an.

Der Motorbetrieb kann nun mit S3 in Selbsthaltung eingeschaltet werden.

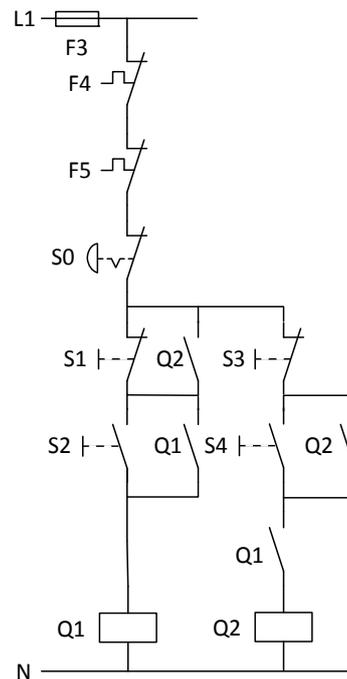
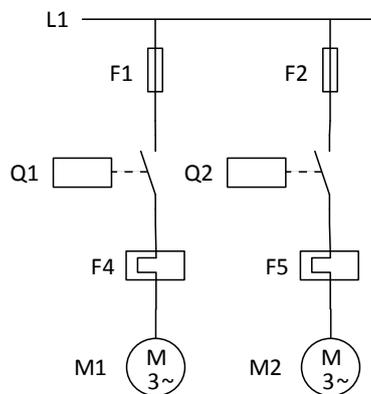
Wird die Temperatur zu hoch, steigen die Widerstandswerte der Thermistoren und die Auswerteeinheit löst aus, K1 fällt ab, der Motor wird ebenfalls über die Lastkontakte ausgeschaltet und die Kontrollleuchte signalisiert den Fehlerfall.

Nach einer Abkühlphase geht die Schaltung wieder in die Bereitschaftsfunktion, der Motor läuft jedoch nicht direkt wieder an, da dazu wiederum S3 betätigt werden muss.

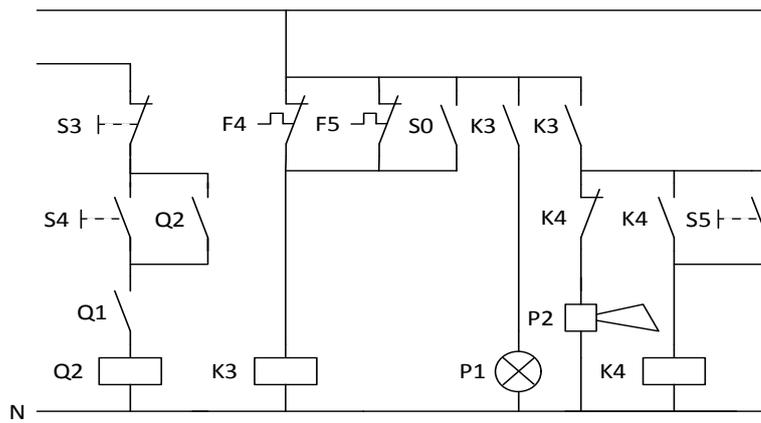
- 9a) Auf dem Leistungsschild ist ein Bemessungsstrom von 2A angegeben. Bei Überlastung erwärmt sich die Wicklung sehr stark
- ⇒ möglicherweise Isolationsschaden
  - ⇒ Motorschaden
  - ⇒ evt. weitere Schäden
- b) s. Abb. rechts
- c) Das Motorschutzrelais muss auf den Bemessungsstrom (2A) eingestellt werden. Für den Kurzschlussfall sind Sicherungen im Hauptstromkreis erforderlich.
- d) ZB12-2,4



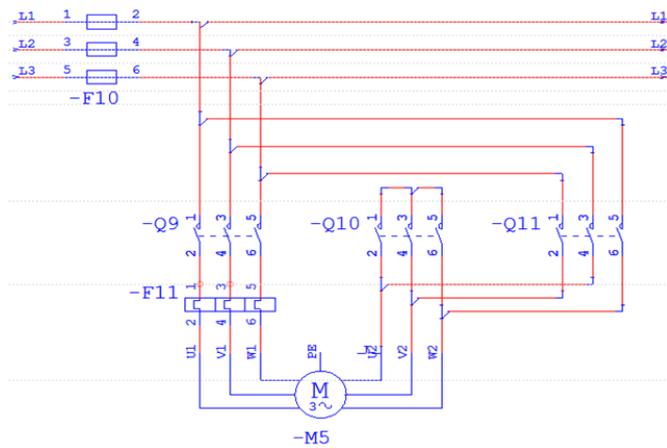
10a)



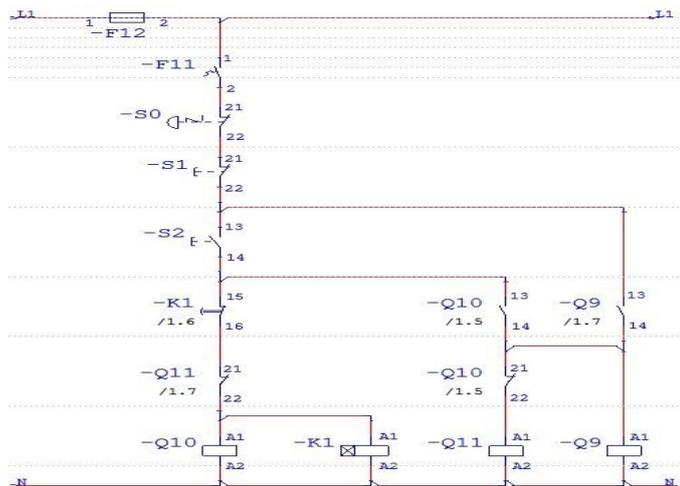
- b) Leistungsschütze Q1, Q2: AC-3 400V 2S (Schließer Hilfskontakte) Hilfsschütze K3, K4: AC-12 400V, K3: 2S, K4: 1S+1Ö; Speisespannung 230V.
- c) Die Betriebsart S1 ist korrekt gewählt, da von langen Laufzeiten und entsprechen langen Stillstandzeiten ausgegangen werden kann.
- d)  $I = 5,9 \text{ A}$  Einstellbereich 4,5 – 8,3 A ; Sicherungen 16A (3 kW Direktanlauf); Anlaufzeit  $\leq 5\text{s}$ .
- e) Y-Schaltung, da die Strangspannung 230V beträgt.
- f) Q1, Q2 sind in einer bestimmten Reihenfolge einzeln ein- und ausschaltbar:  
 Einschaltfolge: Q1 dann Q2  
 Ausschaltfolge: Q2 dann Q1  
 Anlage AUS über Not-Aus oder Motorschutzrelais.
- g) s. Abb. unten



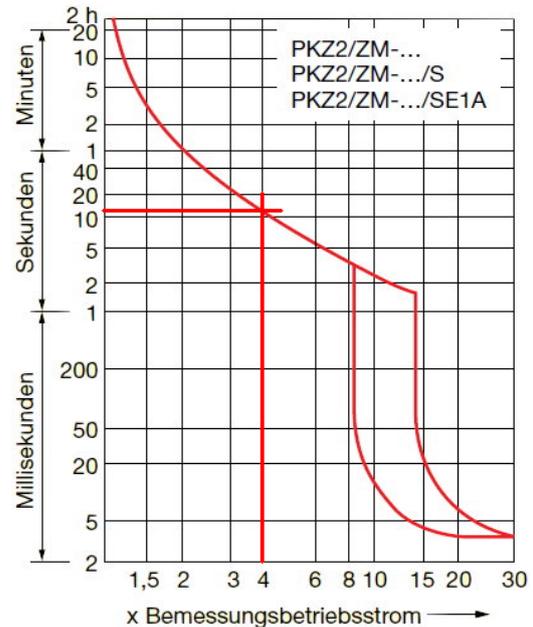
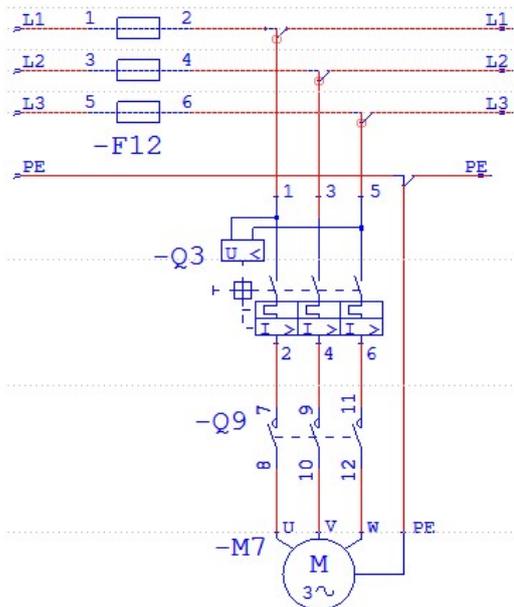
11a)



b)



12a)



b) Der Motorschutzschalter erfüllt drei Aufgaben:

1. Schutz der Motorwicklungen gegen Überlast und der damit verbundenen zu hohen Erwärmung.
2. Schutz gegen Kurzschluss
3. Schutz gegen Wiederanlauf nach Unterspannung bzw. Spannungswiederkehr.

Der 3 kW Motor hat eine Stromaufnahme von etwa 6 A, die am Motorschutzschalter eingestellt wird; wenn bekannt: Bemessungsstromstärke.

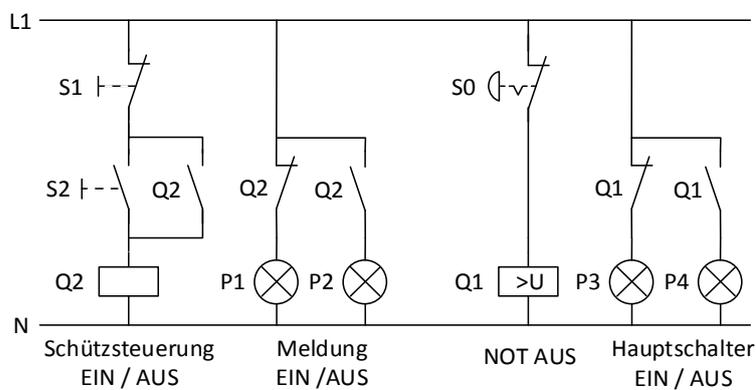
Bei einem 4fachen Bemessungsstrom (24 A) würde der Motorschutzschalter nach 12 s auslösen.

Beim Kurzschlussfall (z.B. 150 A) erfolgt die Auslösung nach ca. 4 ms.

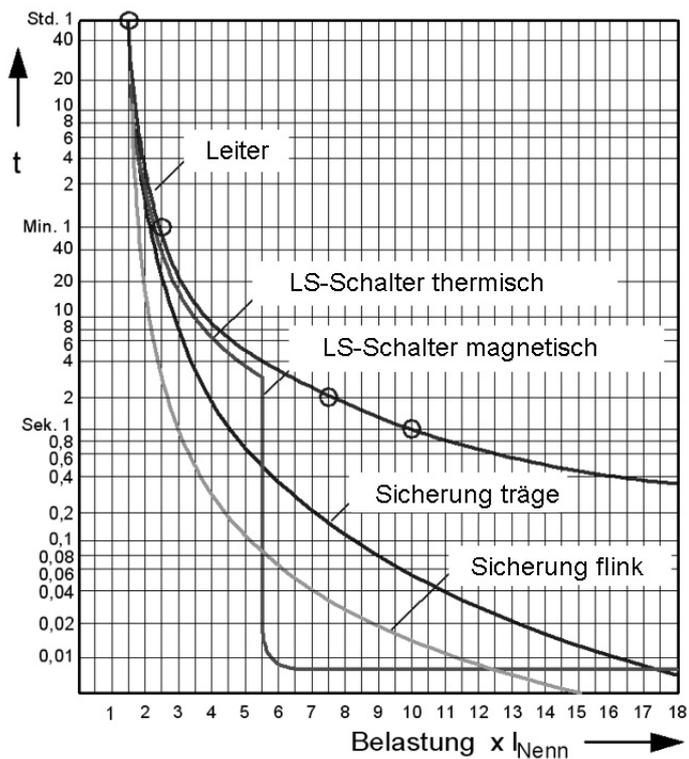
- c)
- Falsch eingestellter Stromwert am Motorschutzschalter.
  - Unterbrechung eines Außenleiters.
  - Kurzschluss am Klemmbrett.
  - Leiterschluss in den Zuleitungen.
  - Körper-, Wicklungs- oder Windungsschluss in der Ständerwicklung.

d) Zuordnungsliste:

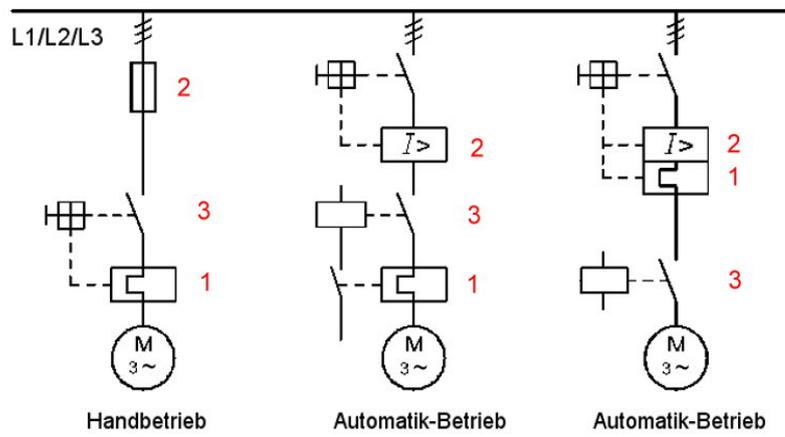
BMK	Betriebsmittel	Kommentar
Q1	Motorschutzschalter	Hauptschalter
Q2	Schütz	Motorschütz
S0	Tastschalter (Öffner)	NOT-AUS-Schalter
S1	Taster (Schließer)	Pumpe AUS
S2	Taster (Öffner)	Pumpe EIN
P1	Meldeleuchte EIN	Steuerung AUS
P2	Meldeleuchte AUS	Steuerung EIN
P3	Meldeleuchte Q1 AUS	Hauptschalter AUS
P4	Meldeleuchte Q1 EIN	Hauptschalter EIN



13.

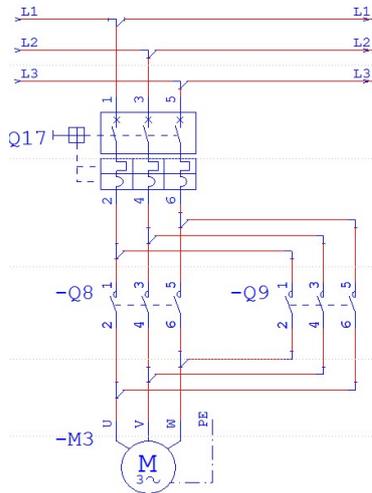


14.



## Lösungen zu Abschnitt 3.5.3

1a)

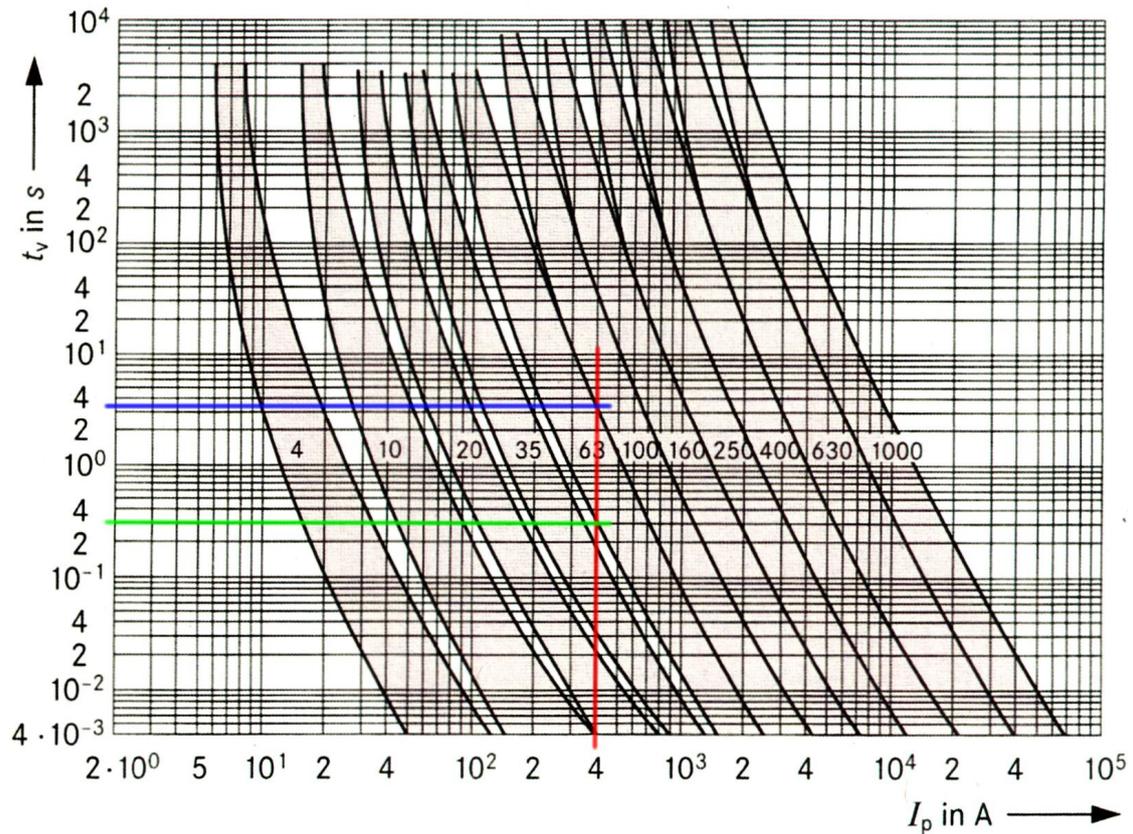


- b) Einstellwert:  $I = 4,4 \text{ A}$   
Geeigneter Motorschutzschalter: EATON PKZM0-6,3

- 2a) S1: Halt  
S10: niedrige Drehzahl – VOR (Q5)  
S20: hohe Drehzahl – VOR (Q7 + Q4)  
S30: hohe Drehzahl – ZURÜCK (Q6 + Q4)  
Q5 Vorschub vor  
Q7: Eilgang vor  
Q4: Sternschütz  
Q6: Eilgang zurück  
K1: Hilfsschütz
- b) Nein, ein direktes Umschalten ist nicht möglich.

## Lösungen zu Abschnitt 3.6.9

- 1a) Der Kurzschlussstrom beträgt 400 A. In welcher Mindest- und Maximalzeit löst die Sicherung aus?



Mindestauslösezeit: 300 ms      Maximalauslösezeit: 3,5 s

- b)  $I_2 = 1,45 \cdot I_N$        $I_2 = 91,4$  A      auslösen in  $t < 1$  h  
 c)  $t_a \leq 5$  s in Verteilstromkreisen und 0,4 s in Endstromkreisen.

2.  $I_B = 4,2$  A,  $I_A = 21$  A      gG10i.O. s. oben

3. Reduzierungsfaktor für Leitungsverlegung  $f = 0,76$

$$I'_b = \frac{I_b}{f} \quad I_r = 27 \text{ A} \quad I_z = I_r \cdot 0,76$$

$$= \frac{18,7 \text{ A}}{0,76} \quad I_z = 20,5 \text{ A}$$

$$I'_b = 24,6 \text{ A} \Rightarrow 4 \text{ mm}^2$$

$I_b$	$\leq$	$I_n$	$\leq$	$I_z$
18,7 A	$\leq$	20 A	$\leq$	20,5 A

$$\Delta U = 4,28 \text{ V (1,05\%)}$$

4a) Bei  $I_b = 20 \text{ A}$  ergibt sich bei der Verlegeart C und drei belasteten Adern (4/5-adrige Leitung) laut Tabelle ein Mindestquerschnitt von  $2,5 \text{ mm}^2$ . Dieser gilt unter der Voraussetzung von einer Umgebungstemperatur von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  und keine gehäufte Verlegung.

Die Strombelastbarkeit beträgt bei einem Querschnitt von  $2,5 \text{ mm}^2$  bei drei belasteten Adern laut Tabelle  $I_z = 25 \text{ A}$ .

b) Durch die Verlegung mit drei weiteren Leitungen im Kabelkanal muss die Strombelastbarkeit korrigiert werden. Der entsprechende Faktor beträgt  $f_2 = 0,65$ . Die Strombelastbarkeit beträgt dann

$$I_z = I_r \cdot f_2$$

$$I_z = 24 \text{ A} \cdot 0,65$$

$$I_z = 15,6 \text{ A}$$

Da  $I_z$  zu klein ist, muss der Querschnitt auf  $4 \text{ mm}^2$  korrigiert werden. Hier gilt:  $I_r = 32 \text{ A}$

$$I_z = 32 \text{ A} \cdot 0,65$$

$$I_z = 20,8 \text{ A}$$

Mit der Vorgabe:  $I_b \leq I_n \leq I_z$  wird gewählt:  $I_b = 20 \text{ A}$        $I_n = 20 \text{ A}$

c)  $\Delta U = \frac{1,73 \cdot l \cdot I_b \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot q}$  Annahme:  $\cos \varphi = 1$

$$\Delta U = \frac{1,73 \cdot 20 \text{ m} \cdot 20 \text{ A}}{56 \frac{\text{MS}}{\text{m}} \cdot 4 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta U = 3,09 \text{ V}$$

5a)  $I_z = f_H \cdot f_r \cdot I_r$

1. Versuch:  $A_{Cu} = 25 \text{ mm}^2$ ;  $I_z = 80 \text{ A}$ ;  $I'_z = 0,94_{\vartheta} \cdot 80 \text{ A}$ ;  $I'_z = 75,2 \text{ A}$

2. Versuch:  $A_{Cu} = 35 \text{ mm}^2$ ;  $I_z = 99 \text{ A}$ ;  $I'_z = 0,94_{\vartheta} \cdot 90 \text{ A}$ ;  $I'_z = 93,1 \text{ A o.k.}$

b)  $I_N = 80 \text{ A}$

$$I_B = 75 \text{ A} \leq I_N = 80 \text{ A} \leq I'_z = 93,1 \text{ A}$$

6a)  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

$$R = \frac{0,0179 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 185 \text{ m}}{35 \text{ mm}^2}$$

$$R = 94,1 \text{ m}\Omega$$

b)  $R_{75} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$

$$R_{75} = 0,0941 \Omega (1 + 0,00392 \text{ K}^{-1} \cdot 55 \text{ K})$$

$$R_{75} = 115 \text{ m}\Omega$$

c)  $P_V = 3 \cdot I^2 \cdot R_{75}$

$$P_V = 3 \cdot (75 \text{ A})^2 \cdot 0,115 \Omega$$

$$P_V = 194 \text{ kW}$$

d)  $U_V = I \cdot R_L$

$$U_V = 75 \text{ A} \cdot 0,115 \Omega$$

$$U_V = 8,61 \text{ V}$$

e) Kurzschluss L1 – L2:  $U = 400 \text{ V}$

$$R = 2 \cdot 0,115 \Omega$$

$$R = 0,23 \Omega$$

$$I_{ks} = \frac{400 \text{ V}}{0,23 \Omega}$$

$$I_{ks} = 1,74 \text{ kA}$$

Körperschluss L1 – PE:  $U = 230 \text{ V}$

$$R = 0,115 \Omega$$

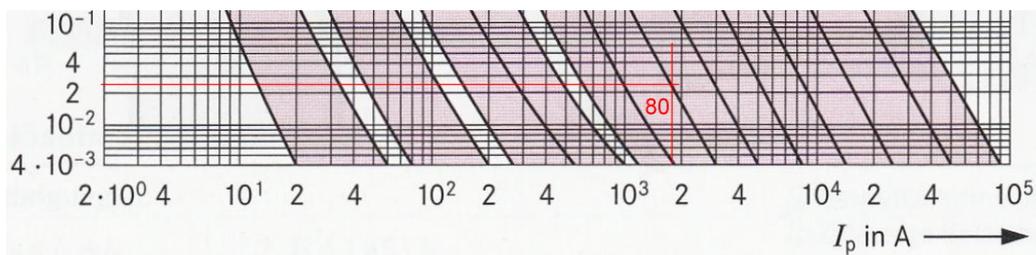
$$I_{KS} = \frac{230 \text{ V}}{0,115 \Omega}$$

$$I_{KS} = 2 \text{ kA}$$

f) Beim Kurzschluss beträgt der Kurzschlussstrom mit 1000 A:  $12,5 \cdot I_n$  mit  $I_{KS} = 1,74 \text{ kA}$

$$\text{beträgt der Faktor für die Sicherung gG 80 A: } \frac{1740 \text{ A}}{80 \text{ A}} = 21,8$$

Die Auslösezeit muss aus der Kennlinie der eingesetzten Sicherung abgelesen werden:  
Auslösezeit von  $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$  oder 22ms.



Bei Verwendung eines RCDs: ja

7.  $\Delta U_{\max} = 12 \text{ V}$

$$\Delta U_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot q}$$

folgt:  $l_{\max} = 109 \text{ m}$

8. Vom Auftragnehmer wurden folgende Zuleitungen zu den Pumpen verlegt (Motorkenndaten für AP 101,201 und 301 sind im Anhang hinterlegt):

– Leitungslänge AP 101: 38m (2YSLCY-JB, 4 x 35mm<sup>2</sup> + Schirm)

– Leitungslänge AP 201: 37m (2YSLCY-JB, 4 x 35mm<sup>2</sup> + Schirm)

– Leitungslänge AP 301: 35m (YSLY-JZ, 4 x 6mm<sup>2</sup> /PE)

gewählt: Verlegeart E mit 25 mm<sup>2</sup> ergibt:  $I_r = 101 \text{ A}$  (30° C)  $I_n = 100 \text{ A}$

mit Häufung  $f = 0,82$  und Temperatur  $f = 1$  folgt  $I_z = 82,8 \text{ A}$

Ergebnis:  $(I_b = 100 \text{ A}) \leq (I_n = 80 \text{ A}) \leq (I_z = 82,8 \text{ A})$

mit 25 mm<sup>2</sup> beträgt der Spannungsfall

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 35 \text{ m} \cdot 79 \text{ A} \cdot 0,88}{56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 25 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta U = 3,01 \text{ V}$$

< 3% i. O.

Es müssen noch die Anlaufbedingungen geprüft werden: Schweranlauf oder lange Anlaufzeit.

Gegebenenfalls überarbeiten wegen der Auslösung der Sicherung?

5,5 kW – Motor

gewählt: Verlegeart E mit  $1,5 \text{ mm}^2$  ergibt:  $I_r = 18,5 \text{ A}$   $I_n = 16 \text{ A}$

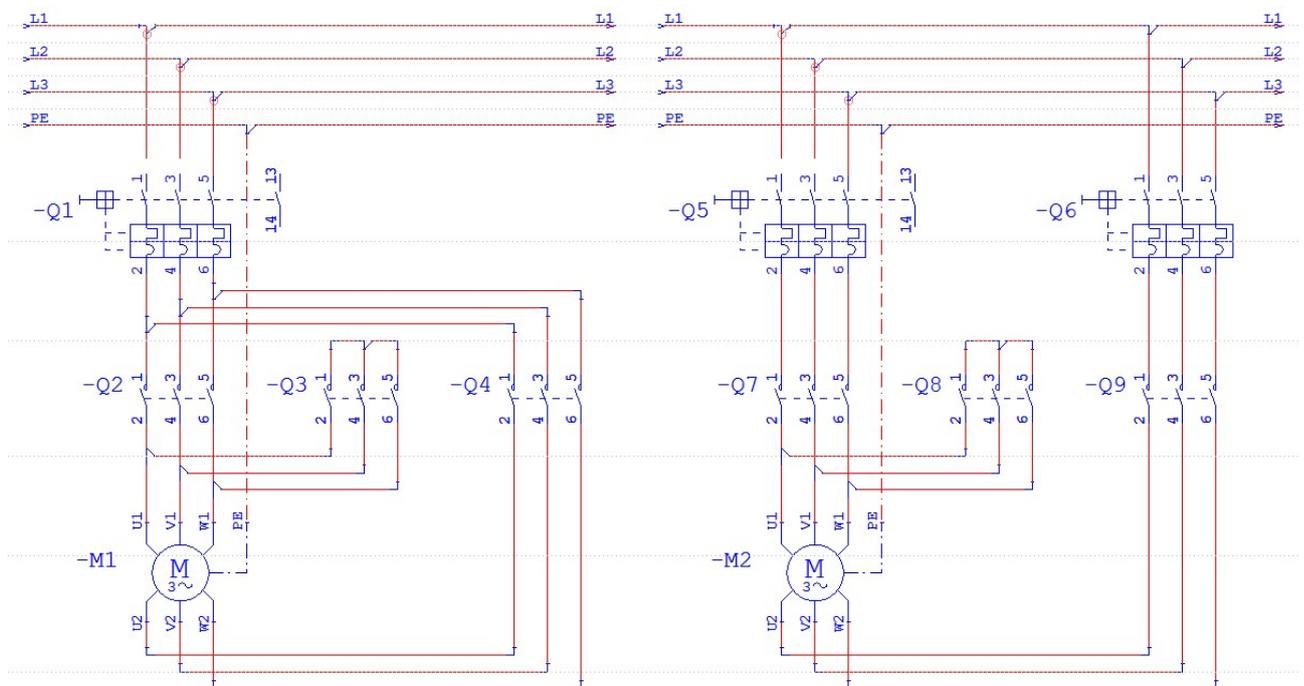
mit Häufung  $f = 0,82$  und Temperatur  $f = 1$  folgt:  $I_z = 15,2 \text{ A}$

Ergebnis:  $(I_b = 10,4 \text{ A}) \leq (I_n = 13 \text{ A}) \leq (I_z = 15,2 \text{ A})$

Spannungsfall  $\Delta U = 6,56 \text{ V} \Rightarrow$  i.O. bei  $U = 500 \text{ V}$  betragen 3%:  $\Delta U = 15 \text{ V}$

Besser der Industrie-Standardquerschnitt mit  $2,5 \text{ mm}^2$ .

9a)



Sollte die Stromaufnahme bei Dauerbetrieb der jeweiligen Drehzahl deutlicher voneinander abweichen, so ist ein zweiter Motorschutzschalter erforderlich.

b) Die Zuleitung Schaltschrank-Motor ist 6-adrig und führt dem Strom

$$I_b = \frac{I_N}{\sqrt{3}} = \frac{54 \text{ A}}{1,73} \quad I_b = 31,2 \text{ A}$$

angenommener Querschnitt:  $10 \text{ mm}^2$  und Verlegeart C (ungelochte Kabelwanne mit Berührung)

$I_r = 57 \text{ A} \Rightarrow$  mit den Reduzierungsfaktoren für Temperatur (0,87) und Häufung (0,71):

$$I_z = 0,87 \cdot 0,57 \cdot I_r \quad 6 \times 3\text{-adrig e Leitung}$$

$$I_z = 35,2 \text{ A}$$

Ergebnis:  $(I_b = 31,2 \text{ A}) \leq (I_n = 32 \text{ A}) \leq (I_z = 35,2 \text{ A})$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 20 \text{ m} \cdot 31,2 \text{ A} \cdot 0,9}{56 \text{ m} / \Omega\text{mm}^2 \cdot 10 \text{ mm}^2} \quad \Delta U = 3,6 \text{ V} \Rightarrow \text{i.O.} \quad \text{bei } U = 500 \text{ V betragen } 3\%: \Delta U = 15 \text{ V}$$

Zuleitung zum Schaltschrank:  $I'_b = 3 \cdot I_b \quad I'_b = 162 \text{ A}$

mit  $95 \text{ mm}^2$  ergeben sich  $I_r = 223 \text{ A}$  Temperaturfaktor 0,87

$$I_z = 183 \text{ A} \quad \text{gewählt } I_n = 180 \text{ A}$$

Ergebnis:  $(I'_b = 162 \text{ A}) \leq (I_n = 180 \text{ A}) \leq (I_z = 183 \text{ A})$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 15 \text{ m} \cdot 16 \text{ A} \cdot 0,9}{56 \text{ m} / \Omega\text{mm}^2 \cdot 95 \text{ mm}^2} \quad \Delta U = 0,711 \text{ V} < 3\% \text{ i.O.}$$

Motorschutzschalter: EATON PKE 65 mit dem Einstellbereich 16 – 65 A

## Lösungen zu Abschnitt 3.7.6

1. Index: k - kompensiert

$$\cos \varphi = 0,9_k \rightarrow \varphi_k = 5,8^\circ$$

$$Q_k = p \cdot \tan \varphi_k$$

$$Q_k = 4,14 \text{ kW} \cdot \tan 25,8^\circ$$

$$Q_k = 2,01 \text{ kvar}$$

$$Q_c = Q - Q_k$$

$$Q_c = (3,99 - 2,01) \text{ kvar}$$

$$Q_c = 1,98 \text{ kvar}$$

$$Q_c = \frac{U_c^2}{X_c}$$

$$Q_c = \omega \cdot C \cdot U_c^2$$

$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot U_c^2} \text{ mit } U_c = 230 \text{ V}$$

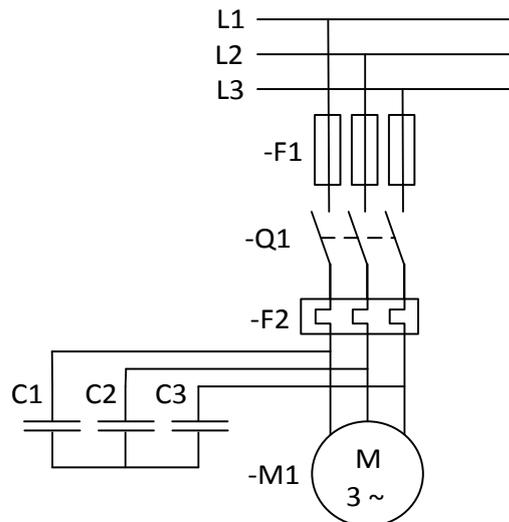
$$C = 119 \mu\text{F} \text{ (} C_g \text{)}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 \quad C_1 = 39,7 \mu\text{F}$$

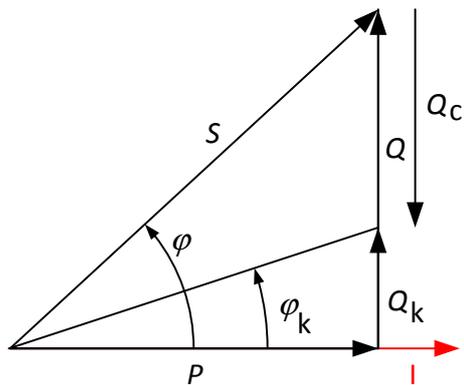
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{5,75^2 - 4,14^2} \text{ kvar}$$

$$Q = 3,99 \text{ kvar}$$



2a)



b)  $Q_k = P \cdot \tan \varphi_k$

$$Q_k = 50 \text{ kW} \cdot \tan 18,2^\circ$$

$$Q_k = 16,4 \text{ kvar}$$

$$Q_c = Q - Q_k$$

$$Q_c = (46,1 - 16,4) \text{ kvar}$$

$$Q_c = 29,7 \text{ kvar}$$

$$C_g = 592 \mu F$$

$$C_1 = C_2 = C_3 \quad C_1 = 197 \mu F \quad U = 400 \text{ V}$$

c)  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$I = \frac{68 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I = 98,2 \text{ A}$$

$$S_k = \frac{P_k}{\cos \varphi}$$

$$S_k = \frac{50 \text{ kW}}{0,95}$$

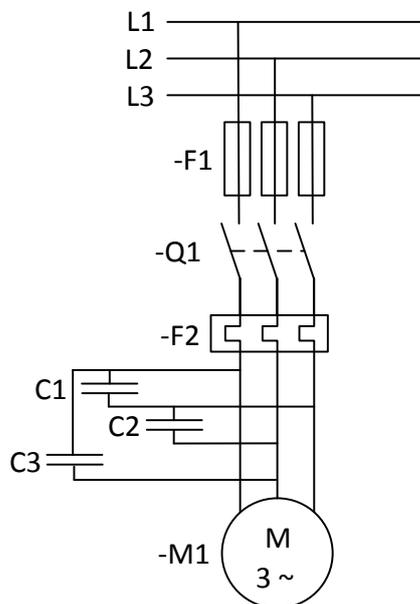
$$S_k = 52,9 \text{ kVA}$$

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$I_k = \frac{52,6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I_k = 75,9 \text{ A}$$

3a)



b) Motorschutz ist im Gegensatz zu Sicherungen genau auf den Bemessungsstrom des Motors einstellbar.

4a) P1:  $\cos \varphi$  wird größer als 0,822

P2:  $P$  bleibt gleich

P3:  $I$  wird kleiner als 4,6 A

b) P1:  $\cos \varphi = 0$  ( $90^\circ$  kapazitiv)

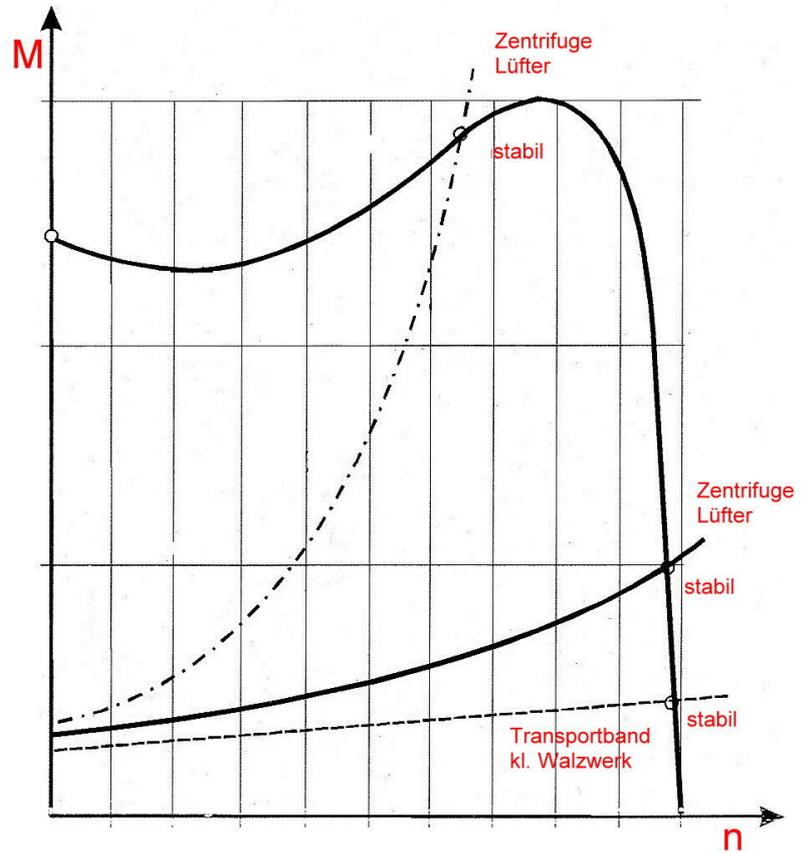
P2:  $P = 0$  W

P3:  $I = 2,17$  A

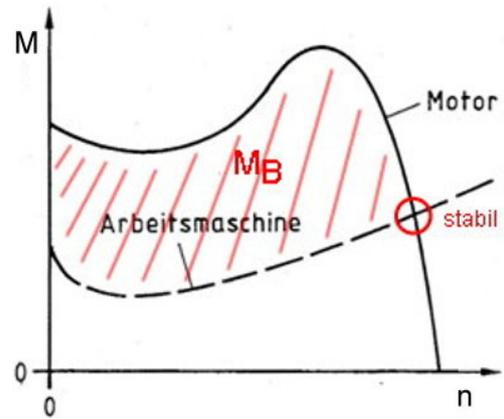
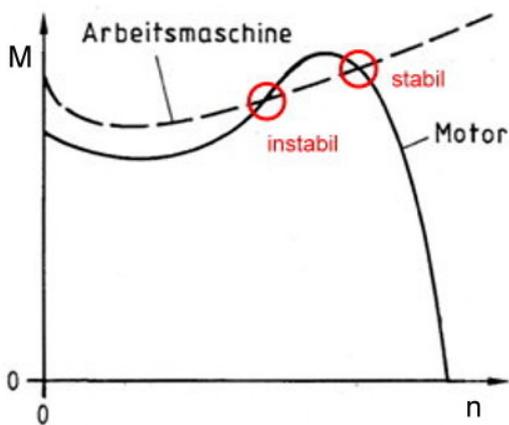
c) Dieser Widerstand ist notwendig, um den zeitlichen Verlauf des Kondensatorstromes mit dem Oszilloskop darstellen zu können. Oszilloskope „messen“ nur Spannungen.

## Lösungen zu Abschnitt 4.1.3

- 1a) s. rechts
- b) s. rechts
- c) s. rechts



2.



Kein Hochlauf möglich

3. Für den Motor in Abb. 3 ist folgende Leistung erforderlich ( $M_N = 40 \text{ Nm}$ ):

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = 40 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{950}{60 \text{ s}}$$

$$P = 4,02 \text{ kW}$$

Der (SIEMENS-)Motor mit der Typbezeichnung 1LE1001-1CC2 kann bei 4 kW Nennleistung 39 Nm liefern. Bei Berücksichtigung des Wirkungsgrades wäre der Motor unterdimensioniert.

Gewählt: SIEMENS 1LE1001-1CC3 mit 5,5 kW, 54 Nm,  $970 \text{ min}^{-1}$ ,  $\cos \varphi = 0,76$  und  $\eta = 86\%$  (IE2)

Für den Motor in Abb. 4 sind  $M = 35 \text{ Nm}$  erforderlich.

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = 35 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{950}{60 \text{ s}}$$

$$P = 3,38 \text{ kW}$$

Gewählt: SIEMENS 1LE1001-1CC2 mit 4 kW, 39 Nm,  $970 \text{ min}^{-1}$ ,  $\cos \varphi = 0,75$  und  $\eta = 84,6\%$  (IE2)

4. Der gewählte Motor mit den Kenndaten:  
 $7,5 \text{ kW}$ ,  $73 \text{ Nm}$ ,  $975 \text{ min}^{-1}$ ,  $\cos \varphi = 0,74$  und  $\eta = 88\%$  ist überdimensioniert.

Mit der Kennlinie kann es sich um einen Hubantrieb handeln (konstantes Lastmoment).

5.  $P = M \cdot \omega$

$$P = 25 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{2900}{60 \text{ s}}$$

$$P = 7,59 \text{ kW}$$

Gewählt: SIEMENS 1LE1001-1DA2 mit den Kenndaten  $11 \text{ kW}$ ,  $2955 \text{ min}^{-1}$ ,  $\cos \varphi = 0,87$  und  $\eta = 89,4\%$ .

## Lösungen zu Abschnitt 4.2.7

1.  $P = M \cdot \omega$

$$P = F \cdot v$$

$$P = 90.000 \text{ N} \cdot \frac{4 \text{ m}}{25 \text{ s}}$$

$$P = 14,4 \text{ kW}$$

2.  $M = \frac{P}{\omega}$

$$M = \frac{15 \text{ kW}}{2 \cdot p \cdot 180 \text{ min}^{-1}}$$

$$M = \frac{15 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 3 \text{ s}^{-1}}$$

$$M = 796 \text{ Nm}$$

3.  $P = M \cdot \omega$

$$P = F_G \cdot l \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$P = 81 \text{ N} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 30 \text{ s}^{-1}$$

$$P = 33,6 \text{ kW}$$

4a)  $P = M \cdot \omega$

$$M = \frac{9550 \cdot P}{1420 \text{ min}^{-1}} \quad P \text{ in kW}$$

$$M = 101 \text{ Nm}$$

b) Das Drehmoment bei elektronischer Regelung ist das maximale Drehmoment bei Nenndrehzahl. Es bleibt etwa gleich bis zur Drehzahl Null.

– >101 Nm bei 100 min<sup>-1</sup>      – >101 Nm bei 1 min<sup>-1</sup>

Achtung: Der Motor hat unter ca. 900 min<sup>-1</sup> keine bzw. eine zu geringe Kühlung. Es muss eine Fremdbelüftung nachgerüstet werden.

5.  $P = M \cdot \omega$

$$P = \frac{n \cdot M}{9500}$$

$$P = \frac{9000 \text{ min}^{-1} \cdot 1000 \text{ Nm}}{9550}$$

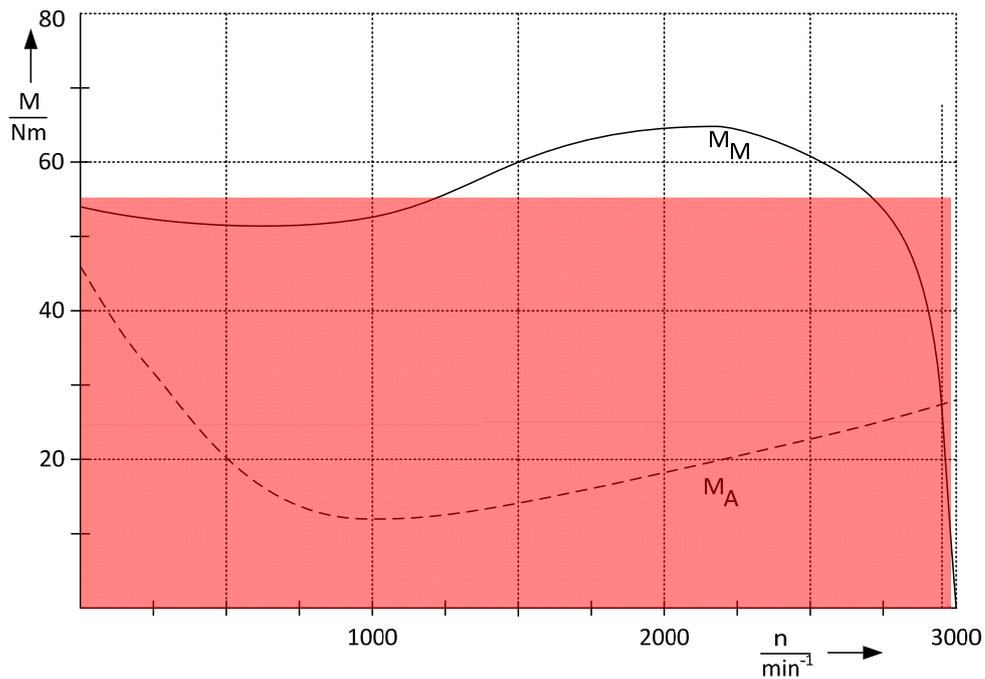
$$P = 942 \text{ kW}$$

Die Bestellung: Drehstrommotor 942 kW bei 9.000  $\text{min}^{-1}$  mit maximaler Drehzahl 15.000  $\text{min}^{-1}$ .

## Lösungen zu Abschnitt 4.3.2

1.  $M_{BM}$  = mittleres Beschleunigungsmoment       $M_{Mm}$  = mittleres Motormoment  
 $M_{Lm}$  = mittleres Lastmoment                       $M_A$  = Anzugsmoment  
 $M_S$  = Sattelmoment                                       $M_K$  = Kippmoment  
 $M_M$  = Motormoment                                       $M_N$  = Nennmoment  
 $M_L$  = Lastmoment                                         $P_M$  = Motorleistung in kW  
 $P_W$  = Wellenleistung in kW                               $n_M$  = Motordrehzahl (Nennzahl)  
 $n_0$  = Leerlaufdrehzahl

- 2a) Ohne Belastung mit der Arbeitsmaschine ( $M_A$ ) erreicht der Motor die Leerlaufdrehzahl  $2950 \text{ min}^{-1}$ . Das mittlere Beschleunigungsmoment entspricht dann dem mittleren Drehmoment des Motors von  $52 \text{ Nm}$ .



$$\Delta t = J \cdot \frac{\Delta \omega}{M_B} \quad \text{mit } M_B = 56 \text{ Nm}$$

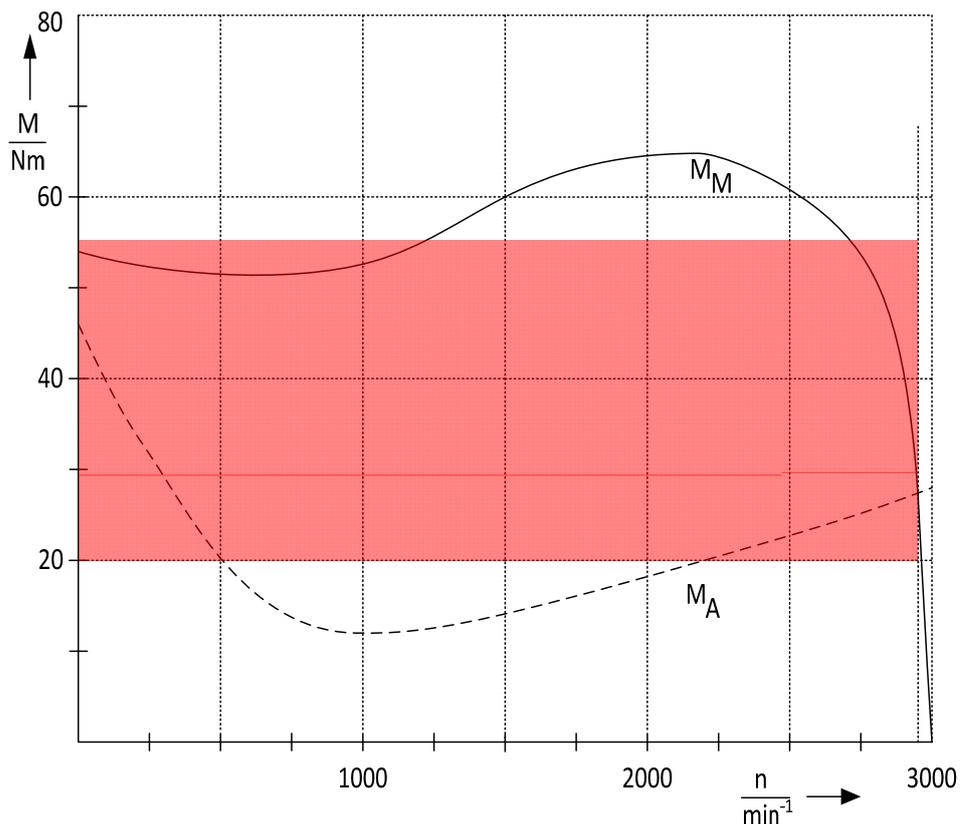
$$\Delta t = 0,024 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 2970 / 60 \text{ s}^{-1}}{56 \text{ Nm}}$$

$$\Delta t = 0,133 \text{ s}$$

- b) Mit der Arbeitsmaschine reduziert sich das Beschleunigungsmoment auf ca. 36 Nm und die Drehzahl erreicht die Nenndrehzahl mit  $2950 \text{ min}^{-1}$ .

$$\Delta t = 0,024 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 2950 / 60 \text{ s}^{-1}}{36 \text{ Nm}}$$

$\Delta t = 0,21 \text{ s}$  ohne Berücksichtigung des Trägheitsmoments der Arbeitsmaschine



- 3a) Kenndaten des Motors SIEMES 1LE1001-1DB4:  $M_N = 97 \text{ Nm}$ ,  $J = 0,083 \text{ kgm}^2$ ,  $n = 1475 \text{ min}^{-1}$

Mittleres Motormoment 0... 1000  $\text{min}^{-1}$ :  $2,35 \cdot M_N$ ,  $M_{N1} = 228 \text{ Nm}$

Mittleres Lastmoment 0... 1000  $\text{min}^{-1}$ :  $0,3 \cdot M_M$ ,  $M_{L1} = 29,1 \text{ Nm}$

Mittleres Beschleunigungsmoment 0... 1000  $\text{min}^{-1}$ :  $M_{B1} = 199 \text{ Nm}$

Mittleres Motormoment 1000... 1475  $\text{min}^{-1}$ :  $2,5 \cdot M_N$ ,  $M_{N2} = 243 \text{ Nm}$

Mittleres Lastmoment 1000... 1475  $\text{min}^{-1}$ :  $0,65 \cdot M_M$ ,  $M_{L2} = 63 \text{ Nm}$

Mittleres Beschleunigungsmoment 1000... 1475  $\text{min}^{-1}$ :  $M_{B1} = 180 \text{ Nm}$

$$\Delta t_1 \text{ für } 0 \dots 1000 \text{ min}^{-1}: \Delta t_1 = 0,083 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{ s}^{-1}/60}{199 \text{ Nm}}$$

$$\Delta t_1 = 0,044 \text{ s}$$

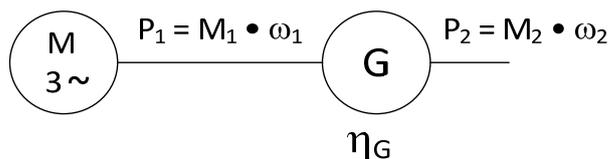
$$\Delta t_1 \text{ für } 1000 \dots 1450 \text{ min}^{-1}: \Delta t_1 = 0,083 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 450 \text{ s}^{-1}/60}{180 \text{ Nm}}$$

$$\Delta t_2 = 0,022 \text{ s}$$

$$\Delta t_2 = 0,066 \text{ s}$$

$$\text{b) } \Delta t = 1,083 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \left( \frac{1000 \text{ s}^{-1}}{199 \text{ Nm}} + \frac{450 \text{ s}^{-1}}{180 \text{ Nm}} \right) \Delta t = 0,85 \text{ s}$$

$$4\text{a) } \text{Für die vom Motor abzugebende Leistung gilt: } P_1 = \frac{P_1}{\eta_G}, M_1 = \frac{M_2}{i \cdot \eta_G} \text{ und } J' = \frac{J}{\eta_G \cdot i^2}$$



Da kein Wirkungsgrad für das Getriebe gegeben ist, gilt  $\eta_G = 1$ .

Die Getriebeübersetzung beträgt  $i = 985/190 \quad i = 5,18$ .

$$J' = \frac{102 \text{ kgm}}{5,18^2} \quad J' = 4,47 \text{ kgm}^2$$

Für das Gesamtträgheitsmoment gilt:  $J_{\text{ges.}} = J' + J_G + J_M$ .

$$J_{\text{ges.}} = (4,47 + 0,25 + 1,1) \text{ kgm}^2$$

$$J_{\text{ges.}} = 5,82 \text{ kgm}^2$$

$$\text{b) } P_L = M_L \cdot \omega_L$$

$$P_L = 436 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 190 \text{ s}^{-1}/60$$

$$P_L = 8,67 \text{ kW mit } \eta_G = 1 \text{ gilt } P_M = 8,67 \text{ kW}$$

$$M_M = \frac{P_M}{\omega_M}$$

$$M_M = \frac{8,67 \text{ kW} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 985 \text{ s}^{-1}}$$

$$M_M = 84 \text{ Nm}$$

Motor SIEMES 1LE1003-1DC4: mit 11 kW,  $975 \text{ min}^{-1}$ , 108 Nm und  $J_M = 0,12 \text{ kgm}^2$

$$M_B = J \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{mit} \quad J = J'_L + J_M + J_G$$

$$\text{und} \quad M_{M \text{ mittel}} = 2,1 \cdot M_N$$

$$M_{M \text{ mittel}} = 227 \text{ Nm}$$

$$M_{L \text{ mittel}} = \frac{436 \text{ Nm}}{5,18}$$

$$M_{L \text{ mittel}} = 84 \text{ Nm}$$

$$M_B = M_{M \text{ mittel}} - M_{L \text{ mittel}}$$

$$M_B = 227 \text{ Nm} - 84 \text{ Nm}$$

$$M_B = 143 \text{ m}$$

$$\Delta t = (4,47 + 0,25 + 0,12) \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 975/60 \text{ s}^{-1}}{143 \text{ Nm}}$$

$$\Delta t = 3,45 \text{ s}$$

5.  $M_n = \frac{P_n}{\omega}$

$$M_n = \frac{200 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 991/60 \text{ 1/s}}$$

$$M_n = 1930 \text{ Nm}$$

Für die Berechnung der Hochlaufzeit wird der Drehzahlbereich in fünf Sektoren aufgeteilt. Für jeden Sektor ( $198,2 \text{ 1/min}$ ) wird ein konstantes Moment angenommen. Als Moment für jeden Sektor wird das Moment der Sektorenmitten gewählt. Dies ist akzeptabel, weil man die quadratische Funktion innerhalb des Sektors linear annähern kann.

Die Beschleunigungszeit des Motors (Lüfter) mit Nennmoment kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta t = J_{\text{ges}} \cdot \frac{\Delta\omega}{M_B} \quad \text{mit} \quad M_B = M_n - M_{\text{Last}}$$

Die Beschleunigungszeiten für die einzelnen Drehzahlbereiche sind:

$$0 - 198 \text{ min}^{-1}: \quad \Delta t = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{1210 \cdot 198}{0,99 \cdot 1930} \quad \Delta t = 13,1$$

$$198 - 396 \text{ min}^{-1}: \quad \Delta t = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{1210 \cdot 198}{0,92 \cdot 1930} \quad \Delta t = 14,1$$

$$396 - 595 \text{ min}^{-1}: \Delta t = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{1210 \cdot 198}{0,78 \cdot 1930} \Delta t = 16,7$$

$$595 - 793 \text{ min}^{-1}: \Delta t = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{1210 \cdot 198}{0,57 \cdot 1930} \Delta t = 22,8$$

$$793 - 991 \text{ min}^{-1}: \Delta t = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{1210 \cdot 198}{0,29 \cdot 1930} \Delta t = 44,8$$

Gesamthochlaufzeit:  $t = 112 \text{ s}$

6. Das gesamte Trägheitsmoment ist konstant. Die dynamische Komponente des Drehmoments, das für die Beschleunigung benötigt wird, ist:

$$M_{\text{dyn}} = J \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$M_{\text{dyn}} = 3 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot (16,7 - 8,33) \text{ s}^{-1}}{10 \text{ s}}$$

$$M_{\text{dyn}} = 15,8 \text{ Nm}$$

Das gesamte Moment während der Beschleunigung beträgt:

$$M = M_{\text{dyn}} + M_{\text{Last}}$$

$$M = 15,8 \text{ Nm} + 50 \text{ Nm}$$

$$M = 65,8 \text{ Nm}$$

Wenn die Spannungsversorgung des Motors bei 1000 1/min abgeschaltet wird, verzögert der Motor wegen des konstanten Lastmoments von 50 Nm.

$$-M_{\text{Last}} = J \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\text{mit } \Delta \omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta n / 60 \text{ s/min}}{\Delta t}$$

Es gilt:

Das gesamte Moment während der Beschleunigung beträgt: Verzögerungszeit von 1000 1/min auf 0 1/min

$$\Delta t = 3 \text{ kgm}^2 \frac{2 \cdot \pi \cdot 16,7 \text{ s}^{-1}}{50 \text{ NM}}$$

$$\Delta t = 6,28 \text{ s}$$

7. Bestimmen Sie die Antriebsleistung des Motors für den Hubantrieb. Es soll ein polumschaltbarer Motor mit einem Drehzahlverhältnis 1:4 (Direktantrieb) eingesetzt werden.

$$P_{\text{st}} = \frac{m \cdot g \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

$$m = m_L + m_{\text{HR}}$$

$$M_{\text{st}} = P / \omega$$

$$P_{\text{st}} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{0,85 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\eta = \eta_L \cdot \eta_G$$

$$M_{\text{st}} = \frac{1730 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 2880 / 60 \text{ 1/s}}$$

$$M_{\text{stat}} = 5,29 \text{ Nm}$$

$$P_{\text{st}} = 1,73 \text{ kW}$$

$$n_a = \frac{v}{D \cdot \pi}$$

$$n_a = \frac{0,3 \text{ m}}{s \cdot \pi \cdot 0,25 \text{ m}}$$

$$n_a = 22,9 \text{ min}^{-1}$$

allgemein gilt:

$i_1$  – Antriebsdrehzahl

$i_2$  – Abtriebsdrehzahl

$$i = \frac{i_1}{i_2}$$

Der polumschaltbare Motor kann z.B. Umdrehungsfrequenzen von 2880  $\text{min}^{-1}$  und 735  $\text{min}^{-1}$  aufweisen.

$$i = \frac{2880 \text{ min}^{-1}}{22,9 \text{ min}^{-1}}$$

$$i = 126$$

$$i = \frac{735 \text{ min}^{-1}}{22,9 \text{ min}^{-1}}$$

$$i = 32$$

Für die Auswahl des Antriebs muss neben der statischen Leistung noch die Beschleunigungsleistung addiert werden. Daher gilt: Motorleistung > statische Motorleistung.

Die Last unterstützt den Motor abwärts, sie wirkt ihm aufwärts entgegen.

Drehmoment auf der Lastseite:

$$M_2 = \frac{d}{2} \cdot m \cdot g$$

$$M_2 = 0,125 \text{ m} \cdot 500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$M_2 = 613 \text{ Nm}$$

$$M_2' = \frac{M_2}{i_G \cdot i_L}$$

$$M_2' = 717 \text{ Nm}$$

mit  $i = 126$

$$M_{\text{Mot}} = 5,69 \text{ Nm}$$

1LE1003 0EA4

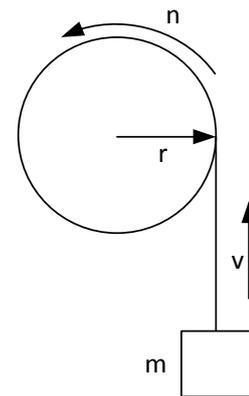
mit  $P_N = 2,2 \text{ kW}$

mit  $i = 32$

$$M_{\text{Mot}} = 22,4 \text{ Nm}$$

1LE1003 1CC0

mit  $P_N = 3 \text{ kW}$



Betriebswerte bei Bemessungsleistung													Aluminiumreihe		$m_{MB3}$ J	Mo- men- ten- klasse			
$P_N$ 50 Hz	$P_N$ 60 Hz	Bau- grö- ße	$\eta_N$ 50 Hz	$M_N$ 50 Hz	IE-Klasse	$\eta_N$ 50 Hz	$\eta_N$ 50 Hz	$\eta_N$ 50 Hz	$\cos\varphi_N$ 50 Hz	$I_N$ 50 Hz	$M_A/M_N$ 50 Hz	$I_A/I_N$ 50 Hz	$M_K/M_N$ 50 Hz	$L_{pA}$ 50 Hz			$L_{WA}$ 50 Hz	Artikel-Nr.	kg
kW	kW	BG	$\text{min}^{-1}$	Nm	50 Hz 60 Hz	%	%	%	%	A						▲ Neuaufnahme	kg	$\text{kgm}^2$	KL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlung: eigengekühlt (IC411)</li> <li>• Wirkungsgrad: Premium Efficiency IE3, Servicefaktor (SF) 1,15</li> <li>• Isolierung: Thermische Klasse 155 (Wärmeklasse F), Schutzart IP55, Ausnutzung gemäß thermischer Klasse 130 (Wärmeklasse B)</li> </ul>																			
2-polig: 3000 $\text{min}^{-1}$ bei 50 Hz, 3600 $\text{min}^{-1}$ bei 60 Hz <sup>1)</sup>																			
2,2	2,55	90 L	2910	7,2	IE3 IE3	85,9	86,8	86,1	0,88	4,2	2,6	8,3	4	65	77	1LE1003-0EA4	19	0,0031	16
3	3,45	132 S	975	29	IE3 IE2	85,6	87,5	87	0,77	6,6	1,6	5,3	2,4	63	75	1LE1003-1CC0	43	0,029	13

$$8. \quad M_B = J \cdot \frac{\Delta\omega}{dt}$$

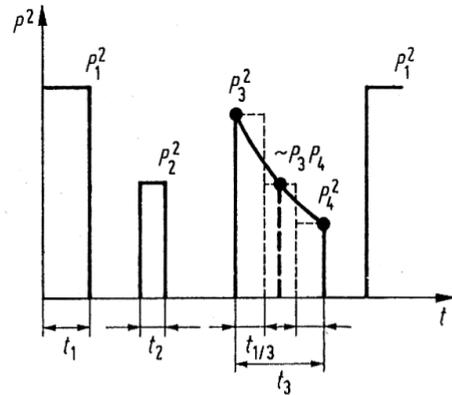
$$M_B = J \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

$$M_B = 52,4 \text{ Nm}$$

9.

$$P_m = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + (P_3^2 + P_3 \cdot P_4 + P_4^2) \frac{t_3}{3}}{t_s}}$$

$$P_m = 205 \text{ W} \quad (\text{s. Abb. rechts})$$



10a)  $M = 10 \text{ Nm}$  über  $P = M \cdot n / 9550$   $P = 3 \text{ kW}$   $2850 \text{ min}^{-1}$

b)  $J = 0,0035 \text{ kgm}^2$  aus SIEMENS-Datenblatt für 1LA7 106-2AA

$$M_b = M_M - M_L \quad \text{mit } M_M \text{ konstant} \quad 20 \text{ Nm}$$

$$\text{und } M_L \text{ konstant} \quad 10 \text{ Nm}$$

$$M_b = 10 \text{ Nm}$$

c) Wenn angenommen wird:  $M_M = \text{konst.}$  und  $M_L = \text{konst.}$

$$M_M = 20 \text{ Nm} \quad M_L = 10 \text{ Nm}$$

$$M_b = M_M - M_L \quad M_b = 10 \text{ Nm}$$

mit  $M_b = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$  vereinfacht  $M_b = J \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

Motor: SIEMENS 1LE1001-1AA4 mit  $P_N = 3 \text{ kW}$ ;  $n = 2905 \text{ min}^{-1}$ ;  $J = 0,0044 \text{ kgm}^2$

$$\Delta t = J \cdot \frac{\Delta\omega}{M_b} \quad \Delta t = J \cdot \frac{\Delta(2 \cdot \pi \cdot n)}{M_b} \quad \Delta n = 2905 \text{ min}^{-1}$$

$$\Delta n = 48,4 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta t = 0,0044 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 48,4 \text{ s}^{-1}}{10 \text{ Nm}}$$

$$\Delta t = 0,134 \text{ s}$$

$$11a) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$s = \frac{3000 \text{ min}^{-1} - 2905 \text{ min}^{-1}}{3000 \text{ min}^{-1}}$$

$$s = 0,0317 \quad (s = 3,17\%)$$

$$b) \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2905 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}$$

$$\omega = 309 \text{ s}^{-1}$$

$$c) \quad \omega^* = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\omega^* = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2905 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 2 \text{ s}}$$

$$\omega^* = 152 \text{ s}^{-2}$$

$$d) \quad \omega = n \cdot (1 + s) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}$$

$$\omega = 1000 \text{ min}^{-1} \cdot \left( 1 + 0,0317 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} \right)$$

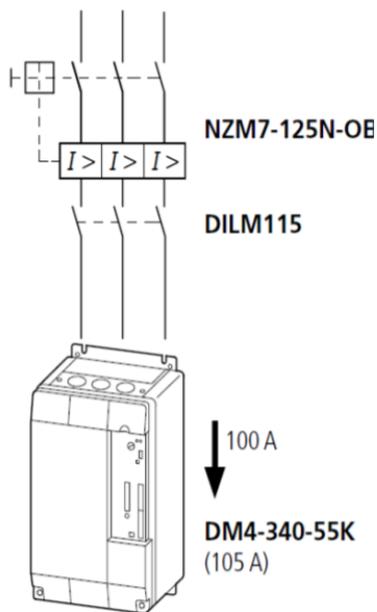
$$\omega = 105 \text{ s}^{-1}$$

## Lösungen zu Abschnitt 5.7

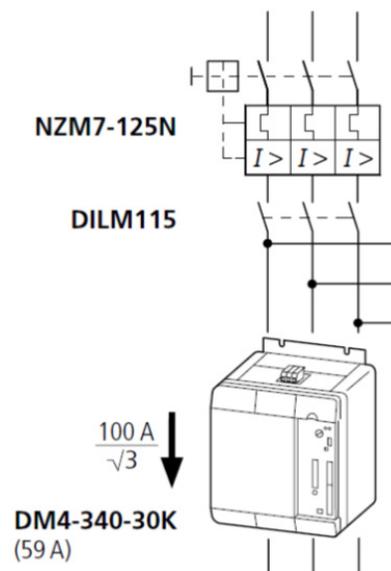
1.

400 $\Delta$ / 690 $\Upsilon$ V		100 / 59 A	
S1 55 kW		cos $\varphi$ 0.86	
1410 rpm		50 Hz	

Wahl bei DOL-Schaltung:



Wahl bei Delta-Schaltung:



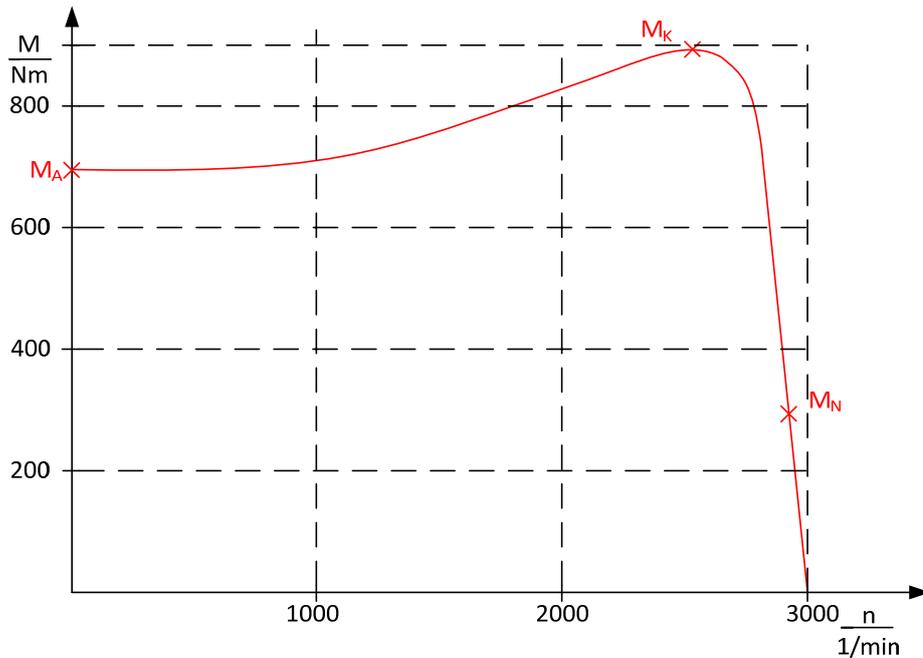
2. Antworten zu häufigen Fragen

- Der Sanftanlasser erfordert kein Hauptschütz; wir empfehlen dennoch, ein Hauptschütz für Nothalt und/oder Auslösen des Überlastrelais zu verwenden. Bei manchen Anwendungen kann ein Sicherungs-Lasttrennschalter statt des Hauptschützes verwendet werden.
- Der Sanftanlasser kann bei höherer Umgebungstemperatur im Betrieb normalverwendet werden, wenn der Nennstrom des Geräts gemäß den Empfehlungen des Herstellers abgesenkt wird.
- Ja, das ist möglich; allerdings nicht bei allen Arten von Sanftanlassern. Anwendungen mit sanftem Auslaufen
- Pumpen und Förderbänder, die mit zerbrechlichen Gegenständen beladen sind, sind zwei der wichtigsten Anwendungen für ein sanftes Auslaufen.
- Eine Reduzierung von Leistungsverlusten.

- f) Die Werte finden sich normalerweise im Katalog. Bei **Igel** Elektronik Sanftanlassern kann folgende Formel verwendet werden:  $3 \times \text{Strom in Watt} = \text{Startstrom}$
- g) Hauptschütz: immer AC-3 verwenden. Bypass Schütz: es kann AC-1 verwendet werden.
- h) Wenn das Hauptschütz zu spät geschlossen wird, zeigt der Sanftanlasser dies als Unterspannung an. Das Anlaufsignal zum Sanftanlasser ist um etwa 0,5 s zu verzögern, um dieses Problem zu beheben.
- i) Nein, das ist nicht möglich, da kein Strom durch den Sanftanlasser geführt wird und der Sanftanlasser erkennt, dass kein Motor angeschlossen ist.
- j) Mögliche Gründe sind folgende:
- zu geringe Strombegrenzung
  - zu lange Rampenzeit
  - zu geringe Anfangsspannung
  - falsche Auslöseklasse des Überlastschutzes
  - falsche Einstellung des Überlastschutzes
- k) Wenn die Stromwandler des Sanftanlassers so installiert werden können, dass die Messung im Bypass-Betrieb durchgeführt werden kann, ist ein separates Relais nicht erforderlich; andernfalls ist es erforderlich und Option 9 mit zu bestellen.
- l) Dies ist bei allen **Igel** Elektronik Sanftanlassern möglich, wenn die Kurve sinusförmig ist.
- m) Der Minimum- und der Maximumwert, bei denen wir volle Funktionsfähigkeit garantieren können, liegt bei -15 % bis +10 % des Nennwerts. Dies wird auch in der IEC-Norm so angegeben. Beispiel: 400 V - 15 % bis +10 %. Bereich 340 V - 440 V.
- n) Bei der Verwendung von Halbleitersicherungen kann eine Koordinierung nach Typ 2 erzielt werden. Stattdessen kann auch ein Sicherungs-Lasttrennschalter oder Sicherungen verwendet werden, dann allerdings bei einer Koordinierung nach Typ 1.
- o) Ja, das ist möglich. Wenn Sie allerdings einen Sanftanlasser in großer Höhe verwenden, müssen Sie aufgrund geringerer Kühlung den Nennstrom des Gerätes verkleinern. In einigen Fällen ist es sogar eventuell erforderlich einen größeren Sanftanlasser zu wählen, um auf großer Höhe mit dem Motornennstrom zurechtzukommen. Bei Fragen konsultieren Sie den Hersteller!

## Lösungen zu Abschnitt 6.8

a)  $M_a = 694 \text{ Nm}$ ,  $M_n = 289 \text{ Nm}$ ,  $M_k = 896 \text{ Nm}$ ,  $n_s = 3000 \text{ 1/min}$



$$P_N = M_N \cdot \omega$$

$$M_a = M_N \cdot \frac{M_a}{M_N}$$

$$M_k = M_N \cdot \frac{M_k}{M_N}$$

$$M_N = \frac{P_N}{\omega}$$

$$M_a = M_N \cdot 2,4$$

$$M_k = M_N \cdot 3,1$$

$$M_N = \frac{90 \text{ kW} \cdot 60 \text{ s/min}}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$M_a = 694 \text{ Nm}$$

$$M_k = 896 \text{ Nm}$$

$$M_N = 289 \text{ Nm}$$

b)  $M_B = J \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$       $M_B \approx 750 \text{ Nm}$

$$\Delta t = J \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{mit } \Delta t = t_a$$

$$\Delta t = 0,94 \text{ kgm}^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 2975}{750 \text{ Nm} \cdot 60 \text{ s}}$$

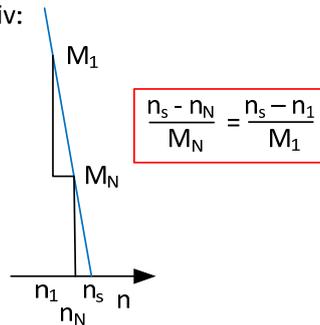
$$t_a = 0,39 \text{ s}$$

$$c) \quad P = P_n \cdot \frac{s}{s_n}$$

$$P = 90 \text{ kW} \cdot \frac{35 \text{ 1/min}}{25 \text{ 1/min}}$$

$$P = 126 \text{ kW}$$

alternativ:



$$d) \quad M = M_N \cdot \frac{s}{s_N}$$

$$M = 289 \text{ Nm} \cdot \frac{-15 \text{ 1/min}}{25 \text{ 1/min}}$$

$$M = -173 \text{ Nm} \quad \text{Generatorbetrieb}$$

$$e) \quad M_{a2} = M_a \cdot \frac{U_2^2}{U_N^2}$$

$$M_{a2} = 694 \text{ Nm} \cdot \left( \frac{230 \text{ V}}{400 \text{ V}} \right)^2$$

$$M_{a2} = 230 \text{ Nm}$$

$$f) \quad M_{k2} = M_k \cdot \left( \frac{f_N}{f_2} \right)^2$$

$$M_{k2} = 896 \text{ Nm} \cdot \left( \frac{50 \text{ Hz}}{100 \text{ Hz}} \right)^2$$

$$M_{k2} = 224 \text{ Nm}$$

2a) Der Motor muss in Y-Schaltung angeschlossen werden.

b) Die Kenndaten sind:  $p=1$ ;  $n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$ ;

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad \eta = \frac{1,1 \text{ kW}}{3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

$$\eta = \frac{1,1 \text{ kW}}{1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 2,4 \text{ A} \cdot 0,87}$$

$$\eta = 76\%$$

$$M_N = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad \text{mit } f = \frac{n}{60 \text{ s/min}} \quad M_N = 3,75 \text{ Nm}$$

$$s_N = \frac{n_s - n}{n_s}$$

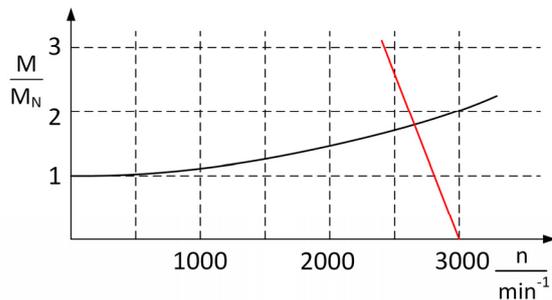
$$s_N = 6,7\%$$

c)  $P_{el} = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

$$P_{el} = 1,45 \text{ kW}$$

d) Ablesewerte:  $n = 2650 \text{ min}^{-1}$ ;  $M = 1,8 \cdot M_N$        $M = 6,75 \text{ Nm}$ , mit  $P = M \cdot \omega$  folgt:

$$P = 1,87 \text{ kW}$$



e) Eine Frequenzänderung bewirkt eine Parallelverschiebung der Motor-Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie; die neue Leerlaufdrehzahl muss dann bei ca.  $2100 \text{ min}^{-1}$  liegen, daraus folgt:  $f = 35 \text{ Hz}$ .

3a)  $p = 2$ ;  $n_s = 1500 \text{ min}^{-1}$ ;  $s_N = 2,33\%$ ,  $I_N = 41,5 \text{ A}$ ;

$$M_N = \frac{P}{\omega}$$

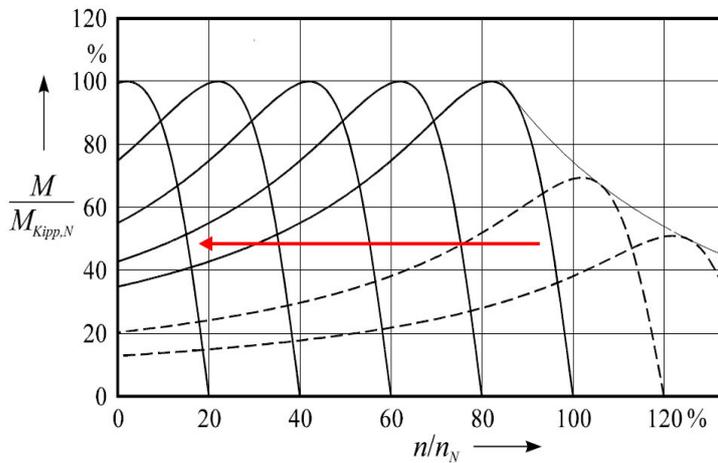
$$M_N = \frac{22 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 1465 / 60 \text{ s}}$$

$$M_N = 143 \text{ Nm}$$

b)  $\frac{s_1}{s_2} = \frac{M_1}{M_2}$  mit  $s_1 = 35 \text{ min}^{-1}$ ,  $s_2 = 15 \text{ min}^{-1}$  und  $M_1 = 143 \text{ Nm}$

folgt  $M_2 = 62 \text{ Nm}$

c)



Mit  $s_k = 16\%$  folgt  $\Delta n = 0,16 \cdot n_G$  bei  $M_k$  und damit  $\Delta n = 240 \text{ min}^{-1}$

$$f = \frac{240 \text{ min}^{-1} \cdot 50 \text{ Hz}}{1500 \text{ min}^{-1}}$$

$$f = 8 \text{ Hz}$$

d) 
$$n_s = \frac{80 \text{ Hz} \cdot 50 \text{ s/min}}{p}$$

$$n_s = 2400 \text{ min}^{-1} \left( n_{0(80\text{Hz})} \approx 2400 \text{ min}^{-1} \right)$$

4a) In  $\Delta$

b)  $p = 3$ ;  $n_s = 1000 \text{ min}^{-1}$ ;  $s_N = 2\%$ ;  $\eta = 89\%$ ;  $M_N = 439 \text{ Nm}$

c)  $M_k = 1316 \text{ Nm}$

$$s_k = 12\%$$

$$\text{mit: } \frac{s}{s_k} \ll 1: \frac{M}{M_k} \approx 2 \cdot \frac{s}{s_k}$$

$$f = 6 \text{ Hz} \quad \text{ohne obige Formel: } 3 \text{ Hz} (n_s - n_{ks}) = (1000 - 60) \text{ min}^{-1} = 940 \text{ min}^{-1} \text{ oder } 94\%$$

$$50 \text{ Hz} \cdot 0,94 = 47 \text{ Hz}$$

$$50 \text{ Hz} - 47 \text{ Hz} = 3 \text{ Hz}$$

d) Weil ein Sanftanlaufgerät nicht die Frequenz ändert, sondern nur die Spannung vermindert.

$$5a) \quad \eta = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n} \quad M = \frac{P}{\omega} \quad n_{\text{sch}} = n_s - n_n$$

$$= \frac{3 \text{ kW}}{1,73 \cdot 400 \text{ V} \cdot 6,6 \text{ A} \cdot 0,83} \quad M = \frac{3 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 1400 \text{ min}^{-1}} \quad = 1500 \text{ min}^{-1} - 1400 \text{ min}^{-1}$$

$$\eta = 0,79 \quad M = 20,4 \text{ Nm} \quad n_{\text{sch}} = 100 \text{ min}^{-1}$$

$$b) \quad n_s = \frac{f}{p}$$

$$n_s = \frac{30 \text{ Hz}}{2}$$

$$n_s = 15 \text{ Hz} (900 \text{ min}^{-1}) \quad n = n_s - n_{\text{sch}}$$

$$n = 900 \text{ min}^{-1} - 100 \text{ min}^{-1}$$

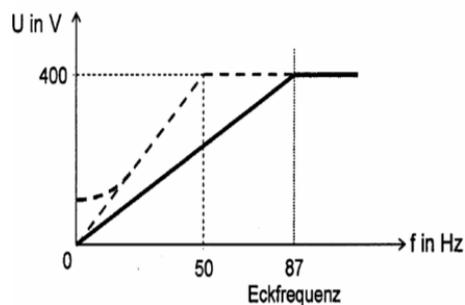
$$n = 800 \text{ min}^{-1}$$

$$c) \quad \frac{U_{30}}{U_{50}} = \frac{f_{30}}{f_{50}}$$

$$U_{30} = 400 \text{ V} \cdot \frac{30 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}}$$

$$U_{30} = 240 \text{ V}$$

d) Der Motor muss in Dreieck ( $\Delta$ ) geschaltet werden und kann dann bis zur Eckfrequenz 87 Hz betrieben werden.



6a) Auswahl des Antriebsmotors

$$\text{Leistung: } P = \frac{F_G \cdot v}{\eta} \quad P = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta}$$

$$P = \frac{(180 + 320) \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,2 \text{ m/s}}{0,84}$$

$$P = 1,17 \text{ kW} \quad \text{Motornennleistung}$$

$$\text{Umdrehungsfrequenz: } M = m \cdot g \cdot dS/2$$

$$M = 500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$M = 245 \text{ Nm}$$

$$v = 0,2 \text{ m/s}$$

$$n_G = \frac{v}{D \cdot \pi} \quad n_G = \frac{0,2 \text{ m/s} \cdot 60 \text{ s/min}}{0,1 \text{ m} \cdot \pi}$$

$$n_G = 38,2 \text{ 1/min}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 = i \cdot n_2$$

$$n_1 = 25 \cdot 38,2 \text{ 1/min}$$

$$n_1 = 955 \text{ 1/min} \quad \text{Motor-Umdrehungsfrequenz}$$

Drehmoment:  $M_M = \frac{M_G}{i \cdot \eta_G}$  mit  $\eta_G = 0,85$

$$M_M = \frac{245 \text{ Nm}}{25 \cdot 0,84}$$

$$M_M = 11,7 \text{ Nm} \quad \text{Motor-Bemessungsmoment}$$

Motorauswahl: **IE2-Motor 1LE1001-1AC4**  $P = 1,5 \text{ kW}$ ,  $M = 15 \text{ Nm}$ ,  $I = 3,7 \text{ A}$

S3: Periodischer Aussetzbetrieb mit Einschaltdauer von 40% von der Spieldauer 10 Minuten (4 Minuten).

b) Auswahl des Frequenzumrichters

Auswahl nach Motorstrom: 3,7 A.

1,5 kW : **6SL3210-1NE14-1UL1**

Verlegeart: C

Häufung:  $f = 1$

Temperatur:  $f = 1$

Strombelastbarkeit bei 25 °C und 3 belasteten Adern: **1,5 mm<sup>2</sup>** mit 18,5 A

Bedingung:  $I_b \leq I_N \leq I_z$

$$3,7 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 18,5 \text{ A} \quad \text{Bedingung erfüllt}$$

Spannungsfall:  $\Delta U = \frac{1,73 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot q}$

$$\Delta U = 2 \text{ V}$$

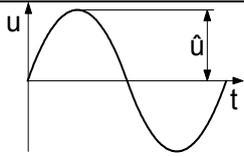
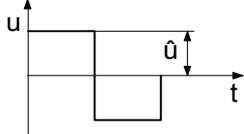
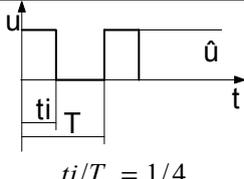
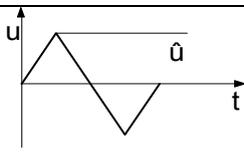
## Lösungen zu Abschnitt 7.2.8

- Die Sinuskurve muss in möglichst kleine Zeitabschnitte  $\Delta t$  eingeteilt werden, deren Spannungshöhen  $\Delta u$  dann gemäß der Formel unten zu quadrieren, summieren, teilen und radizieren sind:

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2}$$

$$U = 1,41 \text{ V}$$

- Ergänzen Sie die fehlenden Werte in der Übersicht.

Kurvenform der Spannung	Effektivwert $U_{\text{eff}}$ (Gleichung)	Effektivwert bei $u_{\text{max}} = 10 \text{ V}$	Scheitel- oder Crestfaktor S	Formfaktor F
	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$	7,07 V	1,41	1,11
	$U = \hat{u}$	10 V	1	1
 $ti/T = 1/4$	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{T/ti}}$	5 V	2	2
	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$	5,78 V	1,73	1,16

3a)  $U_{AV} = 10 \text{ V}$

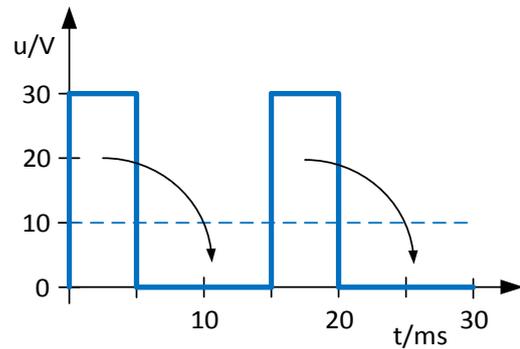
b)  $U = 17,3 \text{ V}$

$U_{AV} = 10 \text{ V}$

$I_{U_{AV}} = 10 \text{ V}$

$F = 1,73$

$F_{Crest} = 1,73$



c) Die Nulllinie muss bei  $U = 10 \text{ V}$  eingezeichnet werden. Dann beträgt der Gleichanteil

$U_{AV} = 10 \text{ V}$  und der Effektivwert des Wechselanteils  $U_{rms} = 14,1 \text{ V}$ .

d) Skizzieren Sie eine Schaltung, mit der die Mischspannung in den Gleich- und Wechselanteil zerlegt werden kann.

Schaltung: C-R-Hochpass, bei dem der im Längszweig liegende Kondensator kurzgeschlossen werden kann (vgl. AC/DC-Schalter am Oszilloskop).

4  $I = 1,12 \text{ A}$

5.  $U = 1,15 \text{ V}$

6.  $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$

$U = \frac{15 \text{ V}}{\sqrt{3}}$

$U = 8,67 \text{ V}$

Für die Wechselspannung gilt: nun:

$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$

$\hat{u} = 12,3 \text{ V}$

$$7a) \quad I = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot i_{\max}^2 \cdot \frac{2}{3} \pi}$$

$$I = i_{\max} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$I = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 20 \text{ A} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$I = 16,3 \text{ A}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\bar{\omega}t)^2 d\bar{\omega}t}$$

$$U^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{u}^2 \sin^2(\bar{\omega}t) d\bar{\omega}t \quad \text{mit } \sin^2(\bar{\omega}t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos(2\bar{\omega}t)$$

$$U^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\hat{u}^2}{2} d\bar{\omega}t + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\hat{u}^2}{2} \cos(2\bar{\omega}t) d\bar{\omega}t$$

$$U^2 = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\hat{u}^2}{2} (2\pi - 0) \right]$$

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$b) \quad S = U \cdot I$$

$$S = 230 \text{ V} \cdot 20 \text{ A}$$

$$S = 4,6 \text{ kVA}$$

$$c) \quad P = \frac{3}{2\pi} \cdot \hat{u} \cdot \hat{i} \quad \text{mit } P = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) \cdot i(t) dt$$

$$P = 3,8 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = 2,59 \text{ kvar}$$

## Lösungen zu Abschnitt 7.14

- 1a) Bei 20% dritter Oberschwingung gilt der Reduzierungsfaktor 0,86.

Mit  $I_b = 39 \text{ A}$  Strombelastung:  $\frac{39 \text{ A}}{0,86} = 45 \text{ A}$  erforderlicher Leiterquerschnitt:

$10 \text{ mm}^2$

- b) Bei 40% dritter Oberschwingung wird der Querschnitt nach dem Neutralleiter ausgelegt werden:

im Neutralleiter fließt der Strom:  $I_{N3} = 39 \text{ A} \cdot 3 \cdot 0,40$   $I_{N3} = 46,8 \text{ A}$

Mit dem  $f = 0,86$  gilt:  $I_b' = \frac{46,8 \text{ A}}{0,86} = 54,4 \text{ A}$  erforderlicher Leiterquerschnitt:  $10 \text{ mm}^2$

- c) Bei 50% dritter Oberschwingung wird der Querschnitt nach dem Neutralleiter ausgelegt werden:

im Neutralleiter fließt der Strom:  $I_{N3} = 39 \text{ A} \cdot 3 \cdot 0,50$   $I_{N3} = 58,5 \text{ A}$

Mit dem  $f = 1$  gilt:  $I_b' = \frac{58,5 \text{ A}}{1} = 58,5 \text{ A}$  erforderlicher Leiterquerschnitt:  $16 \text{ mm}^2$

Umgebungstemperatur  $25^\circ\text{C}$ : lt. Tabelle darf der Leiterquerschnitt  $16 \text{ mm}^2$  mit  $81 \text{ A}$  belastet werden.

Umgebungstemperatur  $30^\circ\text{C}$ : lt. Tabelle darf der Leiterquerschnitt  $25 \text{ mm}^2$  mit  $96 \text{ A}$  belastet werden.

- 2a) Eine in der Verlegeart C verlegte Zuleitung führt einen Oberschwingungsbelasteten Strom  $I = 80 \text{ A}$ .

Welcher Querschnitt ist bei einem Oberschwingungsgehalt von 12% und 30% zu verlegen?

12% (<15%):  $f = 1$   $A = 25 \text{ mm}^2$

30% (<33%):  $f = 0,86$   $I_b' = \frac{I_b}{0,86}$   $I_b' = 93 \text{ A}$  Leiterquerschnitt:  $A = 25 \text{ mm}^2$

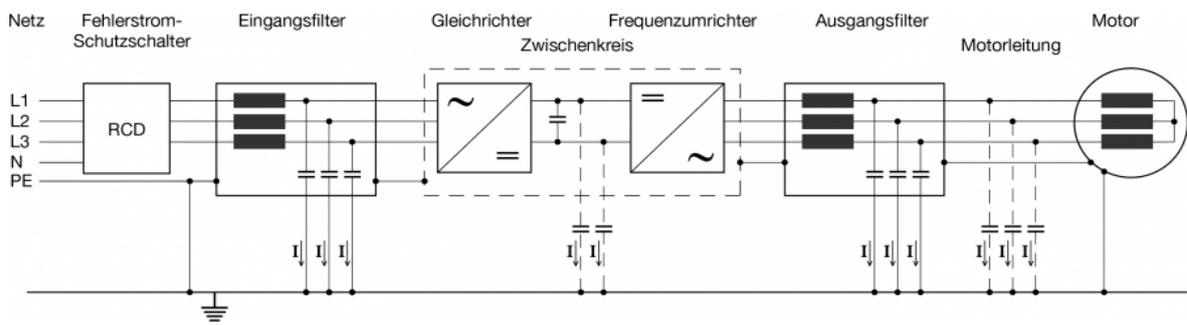
- b) Welcher Querschnitt ist bei 40% und welcher bei 60% Oberschwingungsgehalt zu verlegen?

40% (<45%):  $f = 0,86$   $I_N = 3 \cdot 0,4 \cdot 80 \text{ A}$   $I_b = 95 \text{ A}$   $I_b' = \frac{I_b}{0,86}$   $I_b' = 112 \text{ A}$   $A = 35 \text{ mm}^2$

60% (>45%):  $f = 1$   $I_N = 3 \cdot 0,6 \cdot 80 \text{ A}$   $I_b = 144 \text{ A}$   $I_b' = I_b$   $I_b' = 144 \text{ A}$   $A = 50 \text{ mm}^2$

Anteil der dritten Oberschwingung am Außenleiterstrom [%]	Gemäß Außenleiterstrom gewählter Wert	Gemäß Neutralleiterstrom gewählter Wert
0-15	1,00	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
>45	-	1,00

- 3a) Schutzleiterströme (Ableitströme) sind betriebsbedingte Ströme im Schutzleiter, Fehlerströme werden durch z.B. fehlerhafte Isolierungen hervorgerufen.
- b) Schutzleiterströme (Ableitströme) entstehen z. B. im Frequenzumrichter durch die internen Entstör-Maßnahmen und alle parasitären Kapazitäten im FU und Motorkabel.
- c)



4.

1 – 100%      2 – 37%      THDi = 46,7 % ⇒ lt. TBB: (6 mm<sup>2</sup> bis 43 A also) 10 mm<sup>2</sup>  
 3 – 25%      4 – 8%  
 5 – 10%      6 – 4%      THDi =  $\frac{\sqrt{I_2^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$       DIN EN 6100-3-2-S. 10  
 7 – 3%      9 – 2%  
 11 – 1%

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \left( \frac{I_h}{I_1} \right)^2}$$

5.

$$I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2}$$

$$I = \sqrt{\frac{(40 \text{ A})^2 + 4 \cdot (6,67 \text{ A})^2}{5}}$$

$$I = 18,9 \text{ A}$$

## Lösungen zu Kapitel 8

1a) Das Trägheitsmoment setzt sich zusammen aus den rotierenden Massen

- $J_M$  – Motor
- $J_G$  – Getriebe
- $J_S$  – Seiltrommel
- $J_U$  – Umlenkrollen
- $J_{\text{Seil}}$
- $J_W$  – Wellen

und den auf die Motorwelle bezogenen Trägheitsmomente des Korbes und der Nutzlast.

$$J_{\text{NLK}} = \frac{1}{\ddot{u}^2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{ds}{2}\right)^2 \cdot (m_{\text{LN}} + m_{\text{K}}) \quad \text{Hinweis: Faktor } \frac{1}{2} \text{ wg. 2:1-Aufhängung}$$

$$= \frac{1}{75,4^2} \cdot 0,25 \cdot (0,3 \text{ m})^2 \cdot (15000 \text{ kg} + 1000 \text{ kg})$$

$$J_{\text{NLK}} = 0,063 \text{ kgm}^2$$

$$J_G = J_{\text{NLK}} + J$$

$$= 0,063 \text{ kgm}^2 + 1 \text{ kgm}^2$$

$$J_G = 1,063 \text{ kgm}^2$$

b)  $v_S = 2 \cdot v_L$

$$v_S = 2 \cdot 0,25 \text{ m/s}$$

$$v_S = 0,5 \text{ m/s}$$

c)  $n_M = \ddot{u} \cdot \frac{1}{\pi \cdot d_S} \cdot v_S$  (vs bei max. Nutzlast entspricht  $2 \cdot v_{\text{LN}}$ )

$$n_M = 75,4 \cdot \frac{1}{\pi \cdot 0,6 \text{ m}} \cdot 0,5 \text{ m/s}$$

$$n_M = 20 \text{ s}^{-1} \quad (1200 \text{ min}^{-1} \Rightarrow 4 \text{ poliger Motor } p=2, \text{ wodurch sich die Hubgeschwindigkeit etwas vergrößern, z.B. } 1450 \text{ min}^{-1})$$

$$P_{\text{mech}} = g \cdot (m_{\text{K}} + m_{\text{LN}}) \cdot v_{\text{LN}} \quad (\text{keine Wirkungsgradangabe})$$

$$= 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot (1000 \text{ kg} + 15000 \text{ kg}) \cdot 0,25 \text{ ms}^{-1}$$

$$P_{\text{mech}} = 39,2 \text{ kW}$$

$$M_N = \frac{P_{\text{mech}}}{2 \cdot \pi \cdot n} \text{ MN}$$

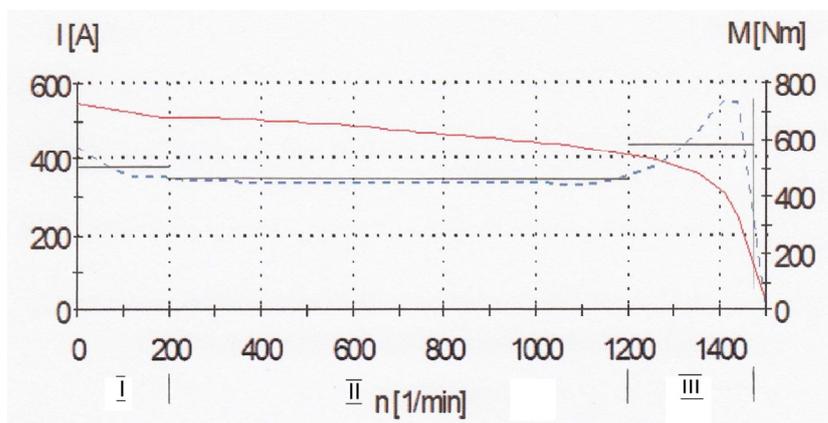
$$= \frac{39,3 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ s}^{-1}} \quad \frac{39,3 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 24 \text{ s}^{-1}} \quad \frac{39,3 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot 25 \text{ s}^{-1}}$$

$$M_N = 313 \text{ Nm} \quad 259 \text{ Nm} \quad 250 \text{ Nm}$$

Gewählter Motor (Fa. SIEMENS): 1LG6223-4MA:

45 kW, 1475 min<sup>-1</sup>, I<sub>N</sub> = 80 A, cos φ = 0,87, η = 0,931, M<sub>N</sub> = 291 NM,  $\frac{I_A}{I_N} = 7$ ,  $\frac{M_A}{M_N} = 2,6$ ,  $\frac{M_k}{M_N} = 3,1$

d)



1. Ohne Belastung

Abschnitt I: 0-200 min<sup>-1</sup> und 510 Nm M<sub>BI</sub> = 210 Nm Δω = 20,9 s<sup>-1</sup>

Abschnitt II: 200-1200 min<sup>-1</sup> und 460 Nm M<sub>BII</sub> = 160 Nm Δω = 105 s<sup>-1</sup>

Abschnitt III: 1200-1470 min<sup>-1</sup> und 580 Nm M<sub>BIII</sub> = 280 Nm Δω = 28,3 s<sup>-1</sup>

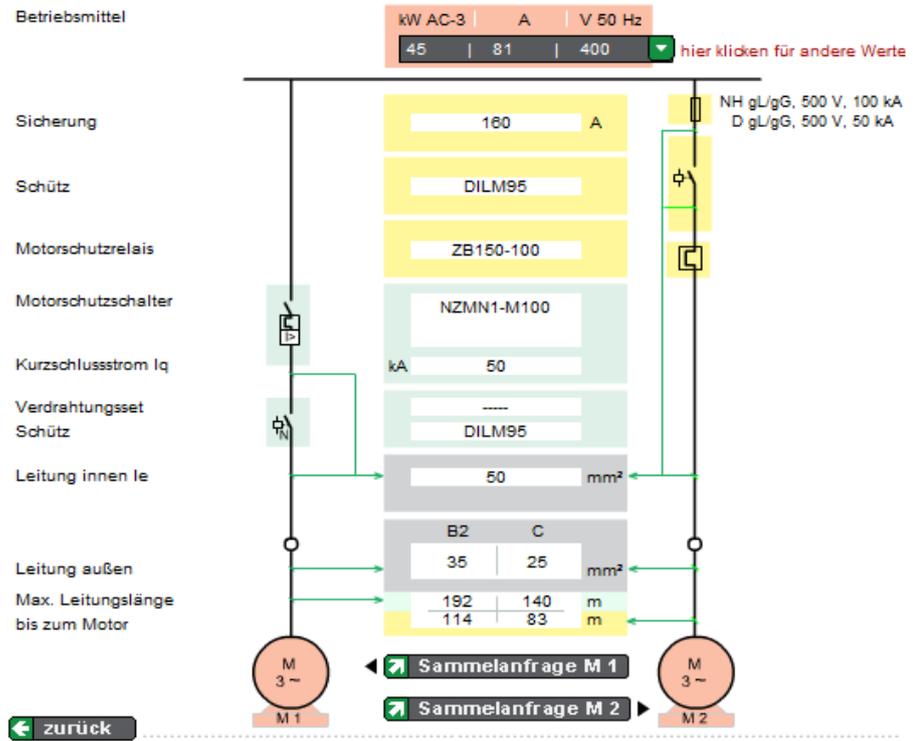
$$t_{al} = J_g \cdot \frac{\Delta \omega}{M_B} \quad \Delta \omega = 2 \cdot \pi \cdot \Delta n \quad \text{mit } n \text{ in } \text{s}^{-1}$$

$$t_a = 0,11 \text{ s} + 0,72 \text{ s} + 0,11 \text{ s}$$

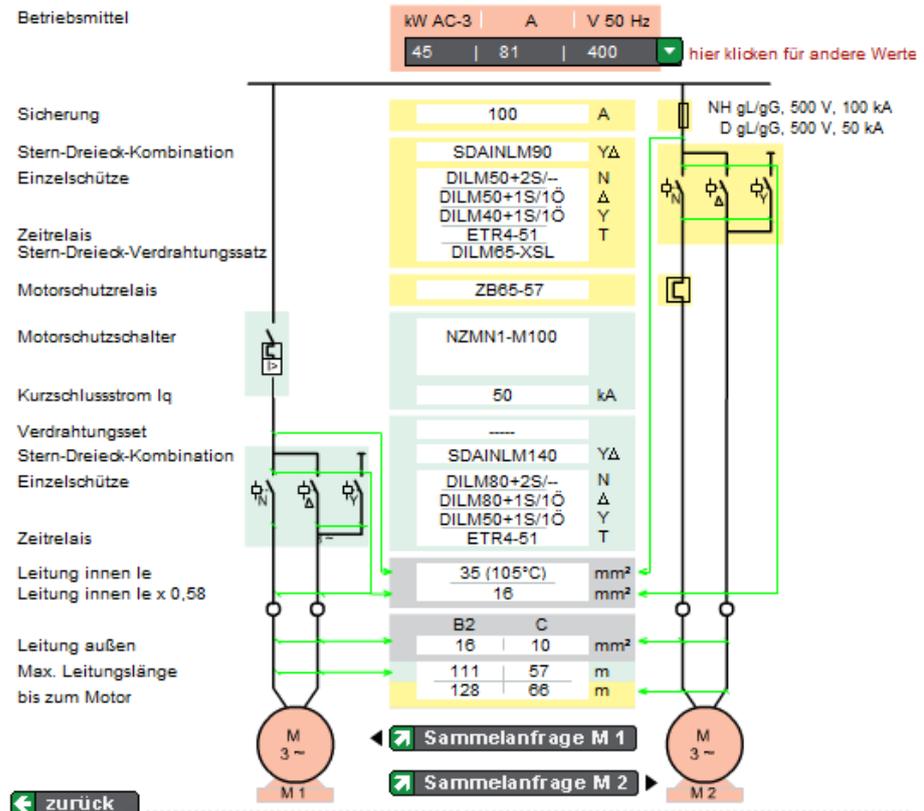
$$t_a = 0,941 \text{ s}$$

e) <http://www.moeller.net/de/support/slider/motorstarter.jsp>

Direkt:



Stern-Dreieck:



f) Annahme: Motor SIEMENS 1LG6223-4MA mit den Kenndaten 45 kW, 291 Nm und 80 A.

Kabelwanne ungelocht m. Berührung: Verlegeart **C**

$I_b = 80 \text{ A}$ ,  $I_{n \text{ dir}} = 160 \text{ A}$ ,  $I_{n \text{ Y}\Delta} = 100 \text{ A}$  (s. Tabelle)    Temperaturfaktor:  $f_T = 0,87$  (für  $30^\circ\text{C}$ )

Häufungsfaktor:  $f_H = 0,71$  ( $4+2 / 4+1$ )

$$I_z = \frac{I_n}{f_T \cdot f_H}$$

$$I_{z \text{ dir}} = \frac{I_{n \text{ dir}}}{f_T \cdot f_H} \quad I_{z \text{ dir}} = \frac{160 \text{ A}}{0,87 \cdot 0,71} \quad I_{z \text{ dir}} = 259 \text{ A}$$

$$I_{z \text{ Y}\Delta} = \frac{I_{n \text{ Y}\Delta}}{f_T \cdot f_H} \quad I_{z \text{ Y}\Delta} = \frac{100 \text{ A}}{0,87 \cdot 0,71} \quad I_{z \text{ Y}\Delta} = 162 \text{ A}$$

$$I_b \leq I_n \leq I_{z'} \quad 80 \text{ A} \leq 160 \text{ A} \leq 259 \text{ A}$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad 80 \text{ A} \leq 100 \text{ A} \leq 162 \text{ A}$$

$$\Rightarrow q = 120 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow q = 70 \text{ mm}^2$$

1	2	3					4		
Kenn-ziffer	Verlegeart	Beschreibung					Referenzverlegeart zur Ermittlung der Strombelastbarkeit		
30 (12)		ein- oder mehradrige(s) Kabel oder ummantelte Installationsleitung					C		
31 (13)		• auf nicht gelochter Kabelwanne <sup>6)</sup>					E oder F		
32 (14)		• auf gelochter Kabelwanne horizontal oder vertikal					E, F oder G		
		• auf Kabelkonsolen							
Verlegeanordnung		Anzahl der Wannen oder Pritschen	Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen						
			1	2	3	4	6	9	
			Umrechnungsfaktoren						
ungelochte Kabelwannen		mit Berührung	1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
			2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
			3	0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61
			6	0,97	0,81	0,73	0,69	0,63	0,58
gelochte Kabelwannen		mit Berührung	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
			2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
			6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
Kabelpritschen		mit Berührung	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
			2	1,00	0,86	0,81	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
			6	1,00	0,83	0,76	0,73	0,69	0,66
		mit Abstand	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
			2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
3	1,00		0,98	0,97	0,96	0,93	–		

g) Softstarter DS6, 45kW    DS6-340-45K-MX    Gerät (AC-53) 81A

$$2a) t_{\text{konst.}} = \frac{h}{v_{\text{konst.}}}$$

$$t_{\text{konst.}} = \frac{16 \text{ m}}{1 \text{ m/s}}$$

$$t_{\text{konst.}} = 16 \text{ s}$$

$$t_b = \frac{v_{\text{konst.}}}{b_{\text{konst.}}}$$

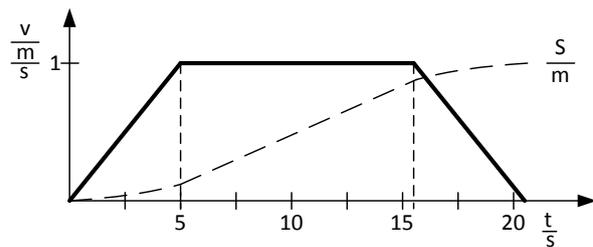
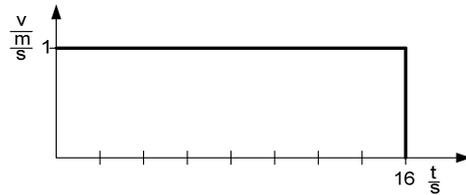
$$t_b = \frac{1 \text{ m/s}}{0,2 \text{ m/s}^2}$$

$$t_b = 5 \text{ s}$$

$$s_b = \frac{1}{2} \cdot v_{\text{konst.}} \cdot t_b$$

$$s_b = \frac{1}{2} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$s_b = 2,5 \text{ m}$$



$$b) M_{\text{konst.}} = m_{\text{max}} \cdot g \cdot \frac{dR}{2} \cdot \frac{1}{i}$$

$$= 2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,25 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{18}$$

$$M_{\text{konst.}} = 136 \text{ Nm}$$

$$n = v \cdot i \cdot \frac{1}{\pi \cdot dR}$$

$$= 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 18 \cdot \frac{1}{\pi \cdot 0,25 \text{ m}}$$

$$n = 22,9 \text{ s}^{-1} \quad n = 1376 \text{ min}^{-1}$$

$$P = m_{\text{max}} \cdot g \cdot v$$

$$= 2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 19,6 \text{ kW}$$

Motorauswahl: 4 polig 1LE1 01-1EB4

22 kW, 1465  $\text{min}^{-1}$ , 143 Nm

Da  $I_N = 41,5 \text{ A}$  und  $I_A/I_N = 7,3$  ist ein Direktantrieb nicht möglich. Hierzu müsste  $I_A \leq 60 \text{ A}$  sein (TAB 2007).

Zudem erforderlich: IE3 (ohne) oder IE2 mit FU-Betrieb.

$$c) P_{\text{Beschl.}} = M_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_M$$

$$= 23 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1465}{60 \text{ s}^{-1}}$$

$$P_{\text{Beschl.}} = 3,53 \text{ kW}$$

$$P_g = P_{\text{Beschl.}} + P_{\text{konst.}}$$

$$P_g = 23,5 \text{ kW}$$

$$\text{mit } M_a = j_{\text{ges.}} \cdot \dot{\omega}$$

$$M_a = 0,8 \text{ kgm}^2 \cdot 28,8 \text{ s}^{-2}$$

$$M_a = 23 \text{ Nm}$$

mit

$$M_{\text{konst.}} = 136 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{ges.}} = 159 \text{ Nm}$$

$$\dot{\omega} = \frac{\omega}{t}$$

$$\dot{\omega} = \frac{a}{\frac{dR}{2}} \cdot i$$

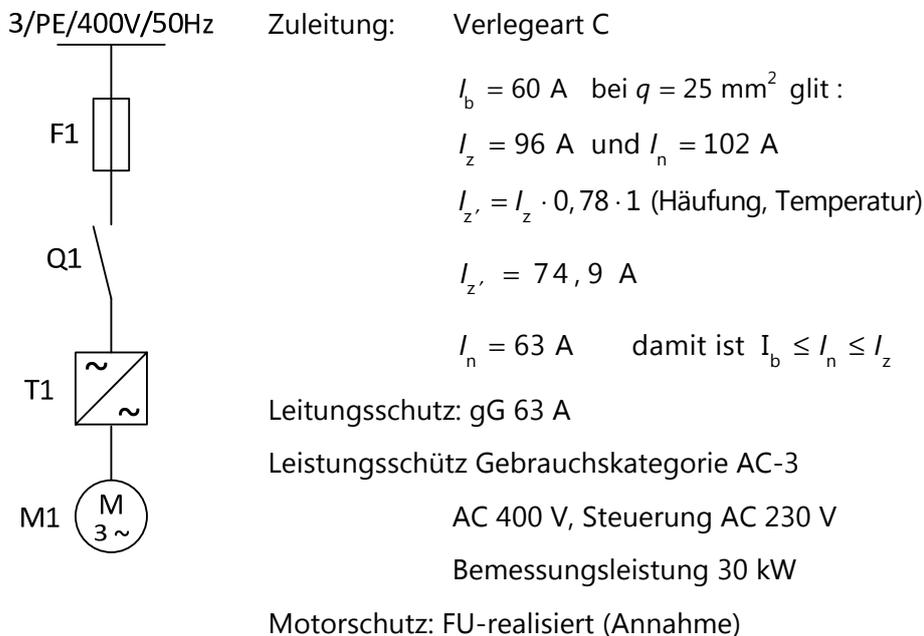
$$\dot{\omega} = \frac{0,2 \text{ m}}{\text{s}^2 \cdot 0,125 \text{ m}} \cdot 18$$

$$\dot{\omega} = 28,8 \text{ s}^{-2}$$

Die Gesamtleistung (konst. + beschl.) beträgt 23,5 kW  $\Rightarrow$  Motortyp nicht geeignet, da er in der Beschleunigungsphase überlastet ist (ggf. Prüfung der Überlastmöglichkeiten).

d) FU-Auswahl: 6 SL 3223-0DE33-0AA0.

Begründung: Der FU hat eine Bemessungsleistung von 30 kW, der Antrieb erfordert 25 kW. Damit ist eine (kurzfristige) Überlast möglich.



e) Unter Ableitströmen versteht man Ströme, die zur Erde abfließen, ohne dass ein Isolationsfehler vorliegt. Sie können als statische, dynamische oder transiente Ableitströme auftreten und bei Überschreitung des Auslösewertes den RCD zum Abschalten veranlassen. Sie sollten daher  $\leq 0,4 \cdot I_{\Delta n}$  sein (VDE).

Sie sind deshalb bei der Auswahl des Bemessungsdifferenzstromes  $I_{\Delta n}$  des RCDs zu berücksichtigen und erforderlichenfalls so zu minimieren, dass das gewünschte Schutzziel zu erreichen ist.

Statische Ableitströme: Statische Ableitströme fließen beim Betrieb des Verbrauchers ohne Vorliegen eines Isolationsfehlers ständig gegen Erde/PE-Leiter ab. Häufig handelt es sich dabei zu einem hohen Anteil um Ableitströme über Leitungs- und Filterkapazitäten.

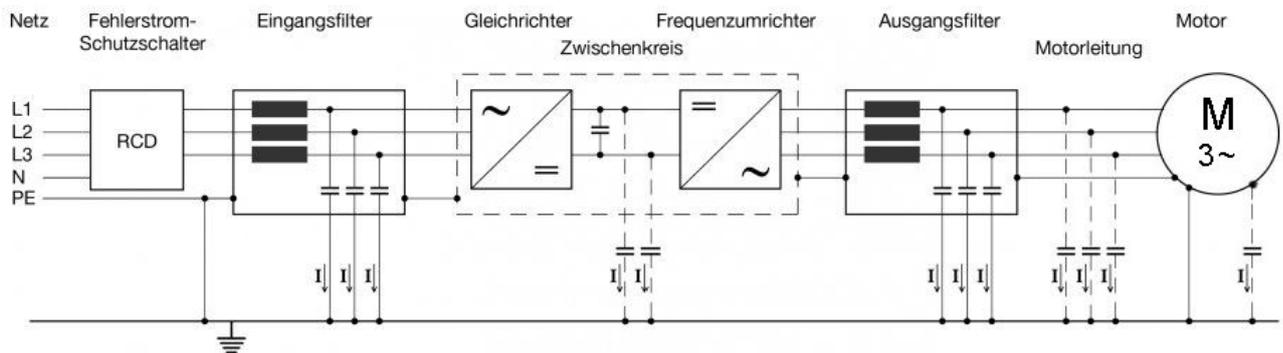
Dynamische Ableitströme: Bei dynamischen Ableitströmen handelt es sich um kurzzeitig auftretende Ströme gegen Erde/PE-Leiter. Insbesondere beim Schalten von Geräten mit Filterbeschaltungen treten diese Ableitströme im Bereich von wenigen  $\mu\text{s}$  bis in den ms-Bereich auf. Die Zeitdauer hängt neben der Zeitkonstante, die sich aus Impedanzen des Stromkreises ergibt, insbesondere vom Schaltgerät ab, mit dem der Filter an Spannung gelegt wird.

Fehlerstrom: Besitzt im Gegensatz zum Ableitstrom einen hohen ohmschen Anteil und tritt durch fehlerhafte elektrische Isolierungen zwischen spannungsführenden Teilen und Erde, beispielsweise aufgrund von Schmutz und Feuchtigkeit in einem Gerät auf.

**VDE 0160 / EN 50178:** Es ist zum Schutz bei direktem und indirektem Berühren eine RCD vom Typ B einzusetzen, wenn ein elektronisches Betriebsmittel einer elektrischen Anlage im Fehlerfall einen glatten Gleichfehlerstrom erzeugen kann.

**VDE 0100 Teil 530:** Es müssen RCDs vom Typ Boder B+ eingesetzt werden, wenn auf der Lastseite der RCD ein elektronisches Betriebsmittel im Fehlerfall einen glatten Gleichfehlerstrom erzeugen kann. Das gilt auch dann, wenn das elektronische Betriebsmittel fest angeschlossen ist.

- f) In umrichter gespeisten Antrieben entstehen Oberwellen ( $n \cdot f_{50}$ ), die z.B. durch Filtereinbau aus EMV-Maßnahmen reduziert werden müssen.



Der Ableitstrom wird im Wesentlichen über nicht zum Betriebsstromkreis gehörende ordnungsgemäß isolierte Strompfade wie

- Entladewiderstände für Kondensatoren innerhalb der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel,
- parasitäre Ableitkapazitäten der Kabel und Leitungen oder der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel und
- kapazitive Filter an Ein- und Ausgängen der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel (z. B. EMV-Filter),
- physikalisch vorhandene Isolationswiderstände von Kabeln und Leitungen sowie der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel

verursacht. Er fließt in der Regel zum Erdungs- bzw. Potenzialausgleichssystem oder zum Schutzleiter der elektrischen Anlage und ist frequenz- und kapazitätsabhängig.

- g)

- Einsatz ableitstromarmer Filter.
- Verwendung von ausgangsseitigem Sinusfilter oder  $du/dt$ -Filter oder Motordrosseln.
- Leitungslängen minimieren.
- Leitungen mit geringer Leiter-Erde-Kapazität auswählen.
- Symmetrische Kabel erreichen günstige Werte.
- Verzicht auf den Einsatz geschirmter Leitungen, z. B., wenn die EMV-Forderungen auch mit ungeschirmten Leitungen erfüllt werden.