

Lösung zu Aufgabe 1

9 Punkte

$$1. \quad J_1 = \frac{(m_{\text{Wäsche}} + m_{\text{Wasser}}) \cdot d^2}{8} = \frac{(4 \text{ kg} + 6 \text{ kg}) \cdot (0,54 \text{ m})^2}{8} = 0,365 \text{ kg m}^2$$

$$2. \quad M_{\text{dyn1}} = J \cdot \frac{d \omega}{d t} = 0,365 \text{ kg m}^2 \cdot \frac{2\pi \cdot 1400 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 10 \text{ s}} = 5,34 \text{ Nm}$$

3.

$$W_{\text{kin}} = \frac{J \cdot \omega^2}{2} = \frac{0,365 \text{ kg m}^2 \cdot \left( \frac{2\pi \cdot 1400 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \right)^2}{2} = 3,917 \text{ kWs}$$

4.

$$\begin{aligned} J_2 &= \frac{(m_{\text{Wäsche}} + m_{\text{Wasser}}) \cdot d^2}{8} + (m_{\text{Wäsche}} + m_{\text{Wasser}}) \cdot a^2 \\ &= \frac{(4 \text{ kg} + 6 \text{ kg}) \cdot (0,48 \text{ m})^2}{8} + (4 \text{ kg} + 6 \text{ kg}) \cdot (0,03 \text{ m})^2 = 0,288 \text{ kg m}^2 + 0,009 \text{ kg m}^2 \\ &= 0,297 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

5.

$$\begin{aligned} M_2 &= (m_{\text{Wäsche}} + m_{\text{Wasser}}) \cdot g \cdot a \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ &= (4 \text{ kg} + 6 \text{ kg}) \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \sin\left( \frac{2\pi \cdot 30 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot t \right) \\ &= 2,934 \text{ Nm} \cdot \sin\left( \frac{\pi \cdot t}{\text{s}} \right) \end{aligned}$$

6.

Motordrehzahl (Schleudergang)

$$n_{\text{Motor,max}} = \frac{n_{\text{max}}}{i} = \frac{1400 \text{ min}^{-1}}{0,22} = 6364 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{\text{Motor,max}} = 2\pi \cdot n_{\text{Motor,max}} \cdot M_{M,V} = 2\pi \cdot \frac{6364 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot 0,4 \text{ Nm} = 266,57 \text{ W}$$

6. *Alternativ: (Abweichung von der allgemeinen Definition)*

$$n_{\text{Motor,max}} = n_{\text{max}} \cdot i = 1400 \text{ min}^{-1} \cdot 0,22 = 308 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{Motor,max} = 2\pi \cdot n_{Motor,max} \cdot M_{M,V} = 2\pi \cdot \frac{308 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{s}{\text{min}}} \cdot 0,4 \text{ Nm} = 19,90 \text{ W}$$

7.

Losbrechmoment (nur Exzentrizitätsanteil):

$$\hat{M}_{2,Motor} = \hat{M}_{2,Motor} \cdot i = 2,943 \text{ Nm} \cdot 0,22 = 0,647 \text{ Nm}$$

eigentlich müsste noch der Reibanteil dazugerechnet werden, also

$$\hat{M}_{2,Motor} = \hat{M}_{2,Motor} \cdot i + M_{M,V} = 2,934 \text{ Nm} \cdot 0,22 + 0,4 \text{ Nm} = 1,045 \text{ Nm}$$

(beide Lösungen richtig)

7. Alternativ: (Abweichung von der allgemeinen Definition)

$$\hat{M}_{2,Motor} = \frac{\hat{M}_{2,Motor}}{i} = \frac{2,943 \text{ Nm}}{0,22} = 13,38 \text{ Nm}$$

$$\hat{M}_{2,Motor} = \frac{\hat{M}_{2,Motor}}{i} = \frac{2,943 \text{ Nm}}{0,22} + M_{M,V} = 13,78 \text{ Nm}$$

Lösung zu Aufgabe 2

11 Punkte

1. Polpaarzahl  $p = 2$  für zu geringstem positivem Schlupf im Bemessungspunkt

$$s_N = 1 - \frac{1475 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 50 \text{ Hz}} = 0,0167$$

$$P_{1N} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 39 \text{ A} \cdot 0,86 = 23,237 \text{ kW}$$

$$P_N = (1 - s_N) \cdot P_{1N} = (1 - 0,0167) \cdot 23,237 \text{ kW} = 22,85 \text{ kW}$$

$$P_{V2N} = P_N - P_{1N} = 387 \text{ W}$$

2. 
$$\sigma = \frac{1 - \cos \varphi_{\text{opt}}}{1 + \cos \varphi_{\text{opt}}} = \frac{1 - \cos \varphi_N}{1 + \cos \varphi_N} = 0,0753$$

$$I_0 = \sqrt{\sigma} \cdot I_{\text{opt}} = \sqrt{\sigma} \cdot I_N = 10,7 \text{ A}$$

$$I_\infty = \frac{I_0}{\sigma} = \frac{10,7 \text{ A}}{0,0753} = 142,1 \text{ A}$$

$$I_{WKipp} = \frac{I_\infty - I_0}{2} = \frac{142,1 \text{ A} - 10,7 \text{ A}}{2} = 65,7 \text{ A}$$

$$M_{Kipp} = \frac{P_{1Kipp}}{2\pi \cdot n_0} = p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N}{2\pi \cdot f_N} = 2 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 65,7 \text{ A}}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 289 \text{ Nm}$$

3. 
$$f_{2Kipp} = \frac{f_{2\text{opt}}}{\sqrt{\sigma}} = \frac{f_{2N}}{\sqrt{\sigma}}$$

$$s_{Kipp} = \frac{s_N}{\sqrt{\sigma}} = 0,0607$$

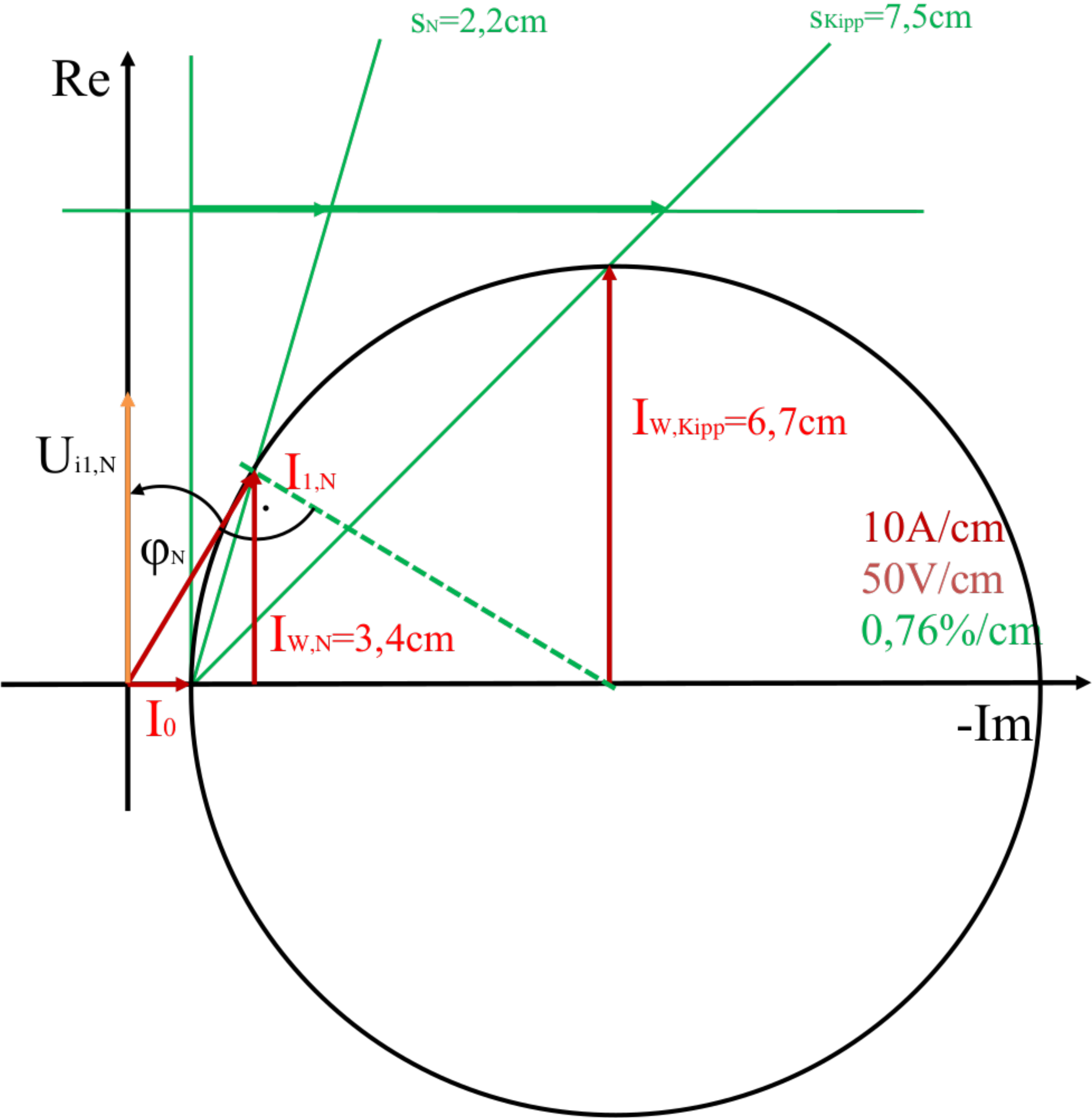
4. 
$$M_N = p \cdot \frac{P_{1N}}{2\pi \cdot f_{1N}} = 2 \cdot \frac{23,237 \text{ kW}}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 147,9 \text{ Nm}$$

mit 
$$M_{Kipp} = 3p \cdot \frac{U_{1\text{Strang}}^2}{f_1^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot L_1 \cdot \frac{\sigma}{1-\sigma}}$$
 folgt

$$\frac{M_N}{M_{Kipp,N}} = \frac{f_{1N}^2}{f_{1\text{max}}^2} \Rightarrow f_{1\text{max}} = f_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_{Kipp,N}}{M_N}} = 50 \text{ Hz} \cdot \sqrt{\frac{289 \text{ Nm}}{147,9 \text{ Nm}}} = 70 \text{ Hz}$$

$$n_{\text{max}} = \frac{f_{1\text{max}} - s_{1ipp} \cdot f_{1N}}{p} = \frac{70 \text{ Hz} - 0,0167 \cdot 50 \text{ Hz}}{2} = 34,6 \text{ Hz} = 2076 \text{ min}^{-1}$$

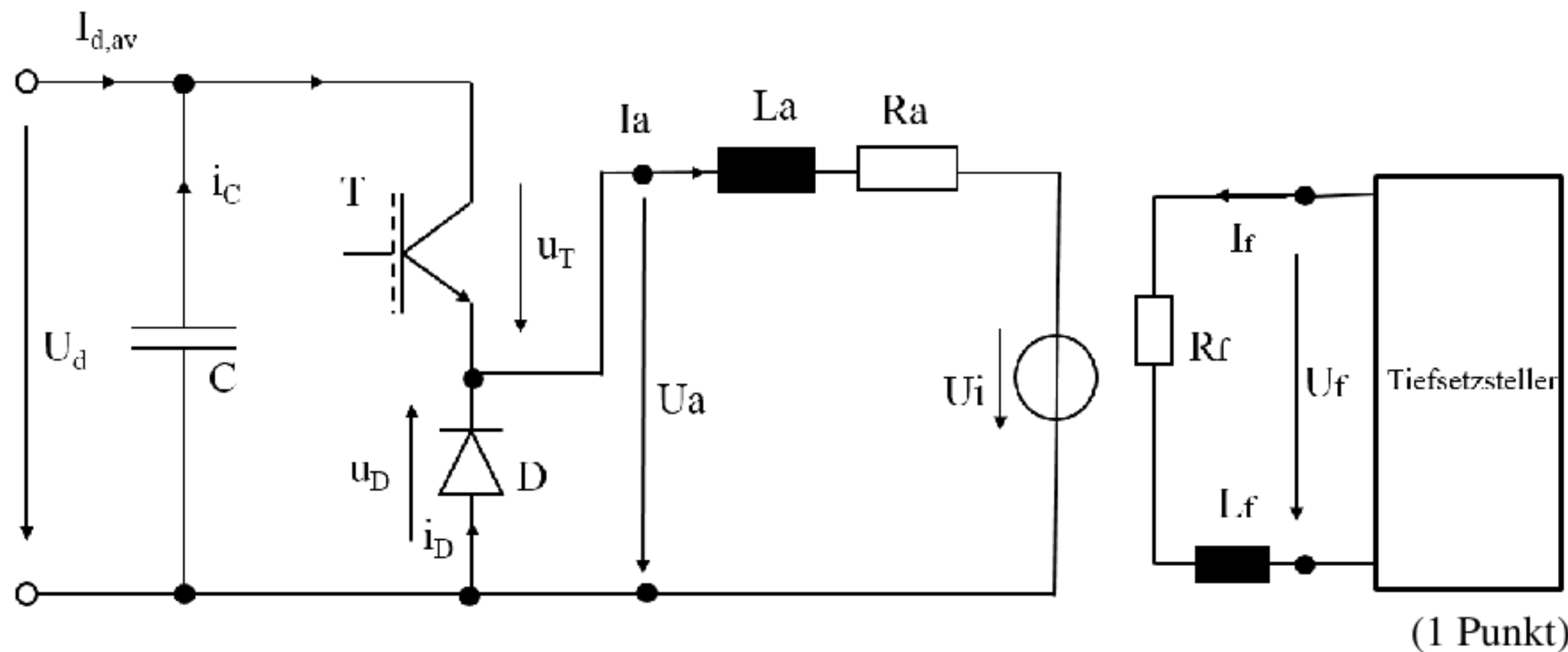
5. Raumzeigermodulation oder Sinus-Dreieck-Modulation mit überlagerter 3. Oberschwingung



Lösung zu Aufgabe 3:

10 Punkte

1)



(1 Punkt)

$$2) \quad k\phi_N = \frac{M_R}{I_{a0}} \cdot 2\pi = \frac{15,6 \text{ N.m}}{12 \text{ A}} \cdot 2\pi = 8,16 \text{ V.s}$$

(1 Punkt)

$$M_{iAn-I} = M_{Reib} + M_{L-I} = 15,6 \text{ N.m} + 57 \text{ N.m} = 72,6 \text{ N.m}$$

$$M_{iAn-I} = \frac{k\phi_N}{2\pi} \cdot I_{a-I}$$

$$I_{a-I} = \frac{2\pi}{k\phi_N} \cdot M_{iAn-I} = 55,9 \text{ A}$$

(1 Punkt)

$$a_T = 1 \text{ d.h. } U_a = U_d = U_{aN}$$

Maschensatz im Betriebspunkt I:

$$U_{i-I} = U_{aN} - R_a \cdot I_{a-I} = k\phi_N \cdot n_I$$

$$220 \text{ V} - 0,564 \Omega \cdot 55,9 \text{ A} = 8,16 \text{ V.s} \cdot n_I$$

$$n_I = 1385,8 \text{ min}^{-1}$$

(1 Punkt)

Alternativ: (n-M Gleichung)

$$n_I = \frac{U_{aN}}{k\phi_N} - \frac{M_{iAn-I}}{(k\phi_N)^2} \cdot 2\pi \cdot R_a$$

3) Die Antriebsmaschine arbeitet nun im Feldschwächbereich II:

$$k\phi_{II} = \frac{k\phi_N}{2}$$

$$M_{iAn-II} = M_{Reib} + M_{L-II} = 15,6 \text{ N.m} + 28,5 \text{ N.m} = 44,1 \text{ N.m}$$

$$M_{iAn-II} = \frac{k\phi_{II}}{2\pi} \cdot I_{a-II}$$

$$I_{a-II} = \frac{44,1 \text{ N.m}}{4,08 \text{ V.s}} \cdot 2\pi = 67,9 \text{ A}$$

(1 Punkt)

$$a_T = 1 \text{ d.h. } U_a = U_d = U_{aN}$$

Maschensatz im Betriebspunkt II:

$$U_{i-II} = U_{aN} - R_a \cdot I_{a-II} = k\phi_{II} \cdot n_{II}$$
$$220 \text{ V} - 0,564 \Omega \cdot 67,9 \text{ A} = 4,08 \text{ V.s} \cdot n_{II}$$
$$n_{II} = 2672 \text{ min}^{-1}$$

(1 Punkt)

Alternativ (n-M Gleichung)

$$n_{II} = \frac{U_{aN}}{k\phi_N / 2} - \frac{M_{iAn-II}}{(k\phi_N / 2)^2} \cdot 2\pi \cdot R_a$$

4)  $U_a = a \cdot U_d$

$U_d = 220 \text{ V}$

$U_a = 0,8 \cdot 220 \text{ V}$

$a = 0,8$

(1 Punkt)

5)  $a_T = 0,5$

$$\Delta i_{al} = \frac{U_d}{L_a} \cdot a_T \cdot (1 - a_T) \cdot T_P = \frac{220 \text{ V} \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,0114 \text{ H} \cdot 5000 \text{ Hz}} = 0,96 \text{ A}$$

(1 Punkt)

$$\Delta M_I = \frac{k\phi_N}{2\pi} \cdot \Delta i_{al} = \frac{8,16 \text{ V.s} \cdot 0,0,96}{2\pi} = 1,25 \text{ N.m}$$

$$\frac{1,25 \text{ N.m}}{72,6 \text{ N.m}} = 1,72\%$$

(1 Punkt)

Nein: die maximal zulässige Drehmomentwelligkeit kann nicht eingehalten werden.  $1,7\% > 1\%$

(1 Punkt)

Abhilfe: Zusätzliche Glättungsinduktivität

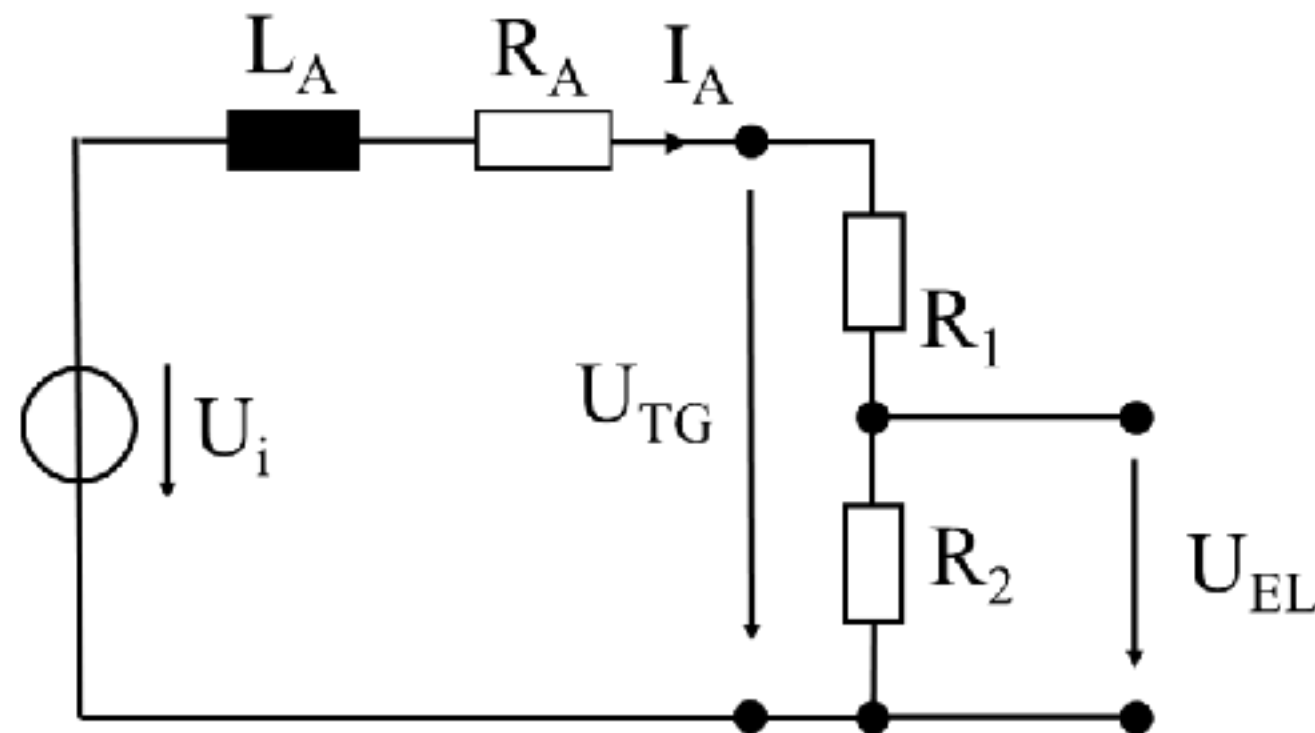
(1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 4

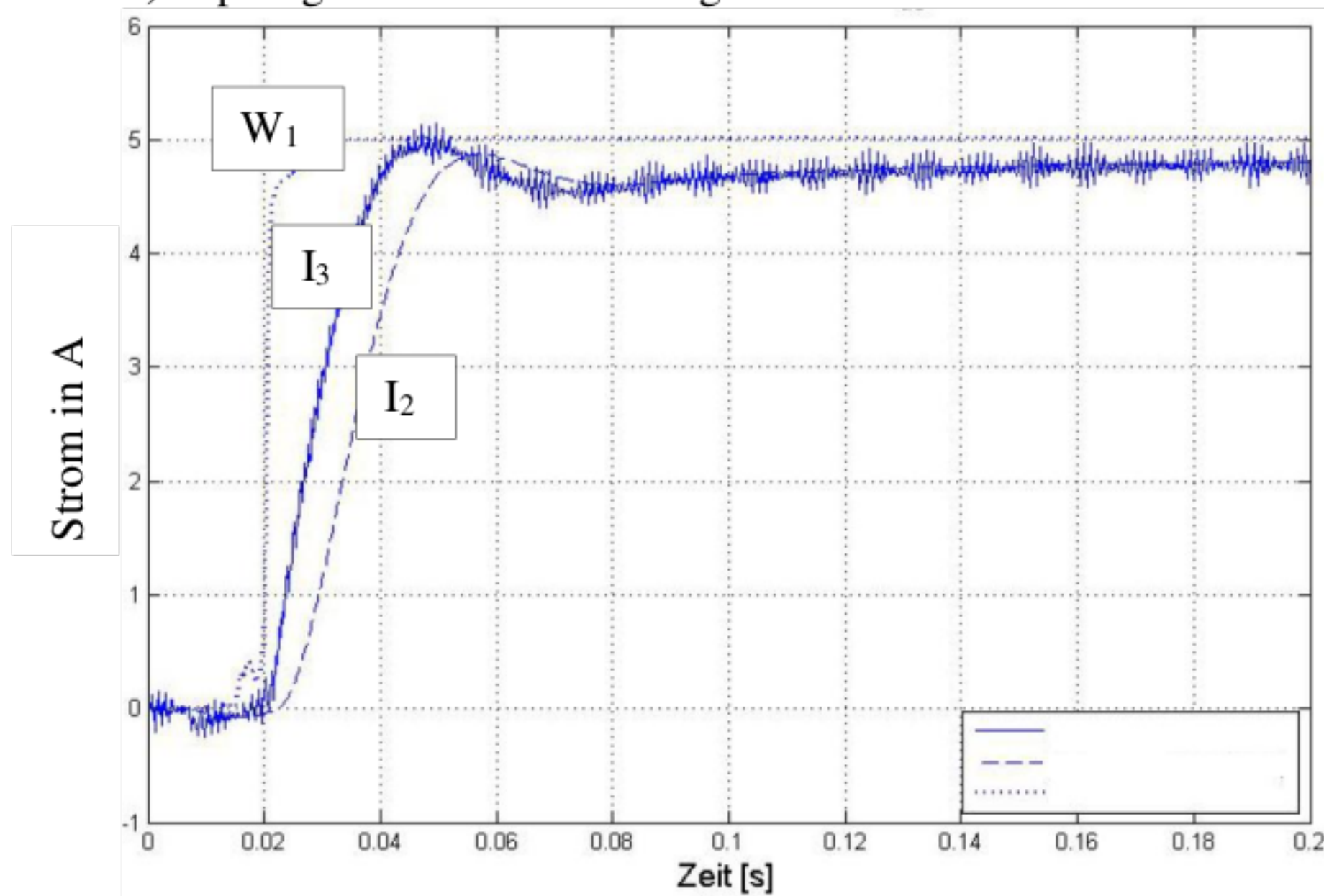
11 Punkte

5) PI-Regler:  $G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = k_p \frac{1 + T_I s}{T_I s}$  (1 Punkt)

6) Drehzahlerfassung mit Tachogenerator: (1 Punkt)



7) Sprungantwort des Stromregelkreises:



Richtige Kennzeichnungen inkl. Einheit: (1 Punkt)

Vor  $I_2$  wurde ein Tiefpass geschaltet im Gegensatz zu  $I_3$ . (1 Punkt)

(1 Punkt)

(1 Punkt)



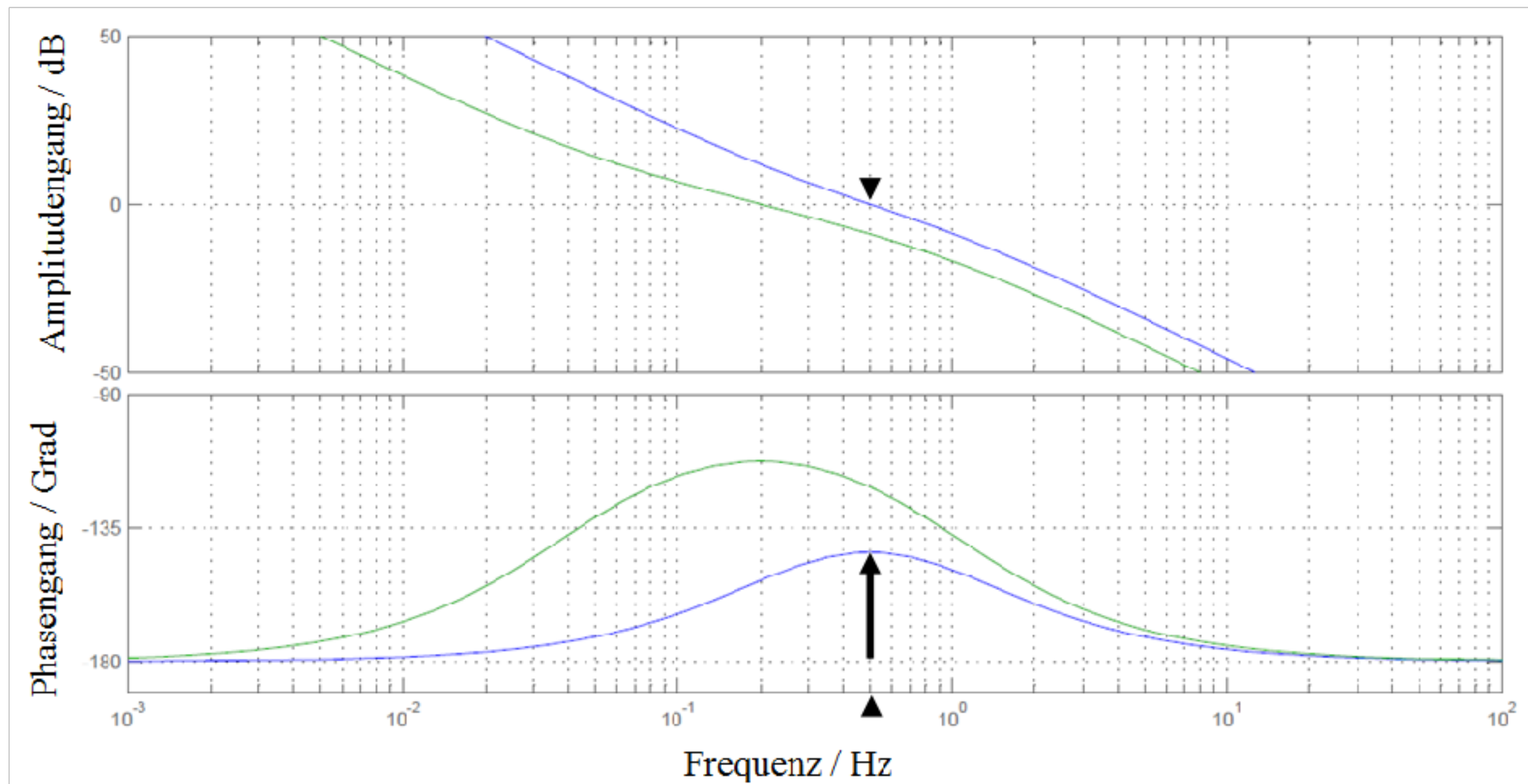
8) Bodediagramme

Phasenreserve gekennzeichnet  
 oder abgelesen:

$\varphi_R = 37^\circ$  (Toleranz:  $\pm 5^\circ$ ) (1 Punkt)

Durchtrittsfrequenz abgelesen:  $f_D = 0,5 \text{ Hz}$  (Toleranz:  $\pm 0,05 \text{ Hz}$ ) (1 Punkt)

Bei Erhöhung der Verstärkung sinkt die Phasenreserve. (1 Punkt)



9) Spannungsgleichungen ASM

$$\underline{u}(t)^{6 \times 1} = \underline{R}^{6 \times 6} \cdot \underline{i}(t)^{6 \times 1} + \frac{d\underline{\psi}(t)^{6 \times 1}}{dt} \quad \text{mit} \quad \underline{\psi}(t)^{6 \times 1} = \underline{L}(\alpha(t))^{6 \times 6} \cdot \underline{i}(t)^{6 \times 1}$$

$$\dots \Rightarrow \frac{d\underline{i}(t)}{dt} = \underline{L}(\alpha(t))^{-1} \cdot \left( \underline{u}(t) - \underline{R} \cdot \underline{i}(t) - \frac{d\underline{L}(\alpha)}{dt} \cdot \underline{i}(t) \right)$$

Definition des Flusses: (1 Punkt)

Richtige Umstellung auf  $d\underline{i}/dt$ : (1 Punkt)

10) Das Kipppendmoment wird kleiner (1 Punkt).

Für Drehzahlen nahe Null muss daher ein zusätzlicher Statorspannungsoffset vorgegeben werden (1 Punkt).