

Lösung zu Aufgabe 1

12 Punkte

$$1. \quad J_T = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_T^4 \cdot l_T}{32} = 3,1 \text{ kgm}^2$$

$$2. \quad J_K = m_K \cdot \frac{d_T^2}{4} = 40,5 \text{ kgm}^2$$

$$3. \quad J_A = \frac{\ddot{u}^2 \cdot J_L}{\eta_G} = \frac{\ddot{u}^2 \cdot (J_K + J_T)}{\eta_G} = 0,1077 \text{ kgm}^2$$

$$4. \quad \frac{d\omega_L}{dt} = \frac{d\left(\frac{2 \cdot a_{\max}}{d_T}\right)}{dt} = 13,33 \text{ s}^{-2}$$

$$\frac{d\omega_A}{dt} = \frac{1}{i} \cdot \frac{d\omega_L}{dt} = 273,8 \text{ s}^{-2}$$

$$M_{A,\text{dyn}} = J_A \cdot \frac{d\omega_A}{dt} = 29,49 \text{ Nm}$$

$$5. \quad M_{L,\text{stat}} = m_K \cdot g \cdot \frac{d_T}{2} = 2.649 \text{ Nm}$$

$$M_{A,\text{stat}} = M_{L,\text{stat}} \cdot \frac{i}{\eta_G} = 134,4 \text{ Nm}$$

$$6. \quad M_N \geq M_{A,\text{stat}} = 134,4 \text{ Nm (dauernde Belastung thermisch)}$$

$$M_{\text{Kipp}} \geq M_{A,\text{stat}} + M_{A,\text{dyn}} = 163,9 \text{ Nm (Spitzenlast kurzzeitig)}$$

$$7. \quad n_{L,\text{max}} = \frac{v_{K,\text{max}}}{\pi \cdot d_T} = 3,183 \text{ s}^{-1} = 191 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{A,\text{max}} = \frac{1}{i} \cdot n_{L,\text{max}} = 3921 \text{ min}^{-1}$$

8. nein, da $n_{A,\text{max}} > 1500 \text{ min}^{-1}$, also max. Leerlaufdrehzahl am 50 Hz-Netz bei Polpaarzahl 2 (vierpolig).

9. kann verwendet werden, wenn der Motor in Dreieck geschaltet und am Umrichter betrieben wird.

Lösung zu Aufgabe 2

12 Punkte

$$1. \quad R_a = \frac{U_{aN} \cdot I_{aN} - P_N}{I_{aN}^2} = \frac{U_{aN} - U_{iN}}{I_{aN}} = 81 \text{ m}\Omega$$

$$L_a = T_a \cdot R_a = 406 \text{ }\mu\text{H}$$

$$c\Phi = \frac{M_N}{I_{aN}} = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N \cdot I_{aN}} = 0,167 \text{ Vs}$$

$$k\Phi = 2\pi\phi = 1,05 \text{ Vs}$$

$$U_{iN} = c\phi \cdot 2\pi \cdot n_N = 8,74 \text{ V}$$

$$2. \quad u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + c\Phi \cdot \omega$$

3. Betragsoptimum (keine Begründung erforderlich)

$$4. \quad c\phi \cdot i_a = m_r + d \cdot \omega + J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$\Omega = \frac{c\Phi \cdot I_a - M_r}{d + Js} = \frac{c\Phi \cdot I_a}{d} \cdot \frac{1}{1 + sT_m} - \frac{M_r}{d} \cdot \frac{1}{1 + sT_m}$$

$$T_m = \frac{J}{d} = 0,6 \text{ s}$$

$$5. \quad G_{Sm} = \frac{\Omega}{I_{aW}} \Big|_{M_r=0} = \frac{c\Phi}{d} \cdot \frac{1}{1 + sT_m} \cdot \frac{1}{1 + sT_s}$$

6. PT₂-Verhalten, also Betragsoptimum ansetzen

$$T_1 = T_m = 0,6 \text{ s}$$

$$K_R = \frac{T_m \cdot d}{2 \cdot T_s \cdot c\Phi} = 71,9 \text{ As}$$

Lösung zu Aufgabe 3:

12 Punkte

$$1. \quad I_0 = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + 4\pi^2 \cdot f_{1N}^2 \cdot L_1^2}}$$

$$L_1 = \frac{\sqrt{\frac{U_{1N}^2}{3 \cdot I_0^2} - R_1^2}}{2\pi \cdot f_{1N}} = 29 \text{ mH}$$

$$2. \quad U_{i1N} = 2\pi \cdot f_{1N} \cdot L_1 \cdot I_0 = 229,6 \text{ V}$$

$$3. \quad I_\infty = \frac{I_0}{\sigma} = 250 \text{ A}$$

4. Nach dem Cosinus-Satz folgt:

$$\sin \varphi_i = \frac{I_1^2 + \left(\frac{I_\infty + I_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{I_\infty - I_0}{2}\right)^2}{2 \cdot I_1 \cdot \left(\frac{I_\infty + I_0}{2}\right)} = 0,597 \Rightarrow \varphi_i = 36,65^\circ$$

oder ablesen in Ortskurve (siehe nächstes Blatt): $(48,84 + j34,84) \text{ A} = 60 \text{ A} \cdot e^{-j35,9}$

$$5. \quad \Psi_{1N} = L_1 \cdot I_0 \cdot \sqrt{2} = 1,0253 \text{ Vs}$$

$$6. \quad \text{Frequenz: für } p = 2 \text{ folgt } s_N = 2 \% \text{ bzw. } f_1 = f_{2N} = 1 \text{ Hz}$$

$$U_{i1} = U_{i1N} \cdot s_N = 4,592 \text{ V}$$

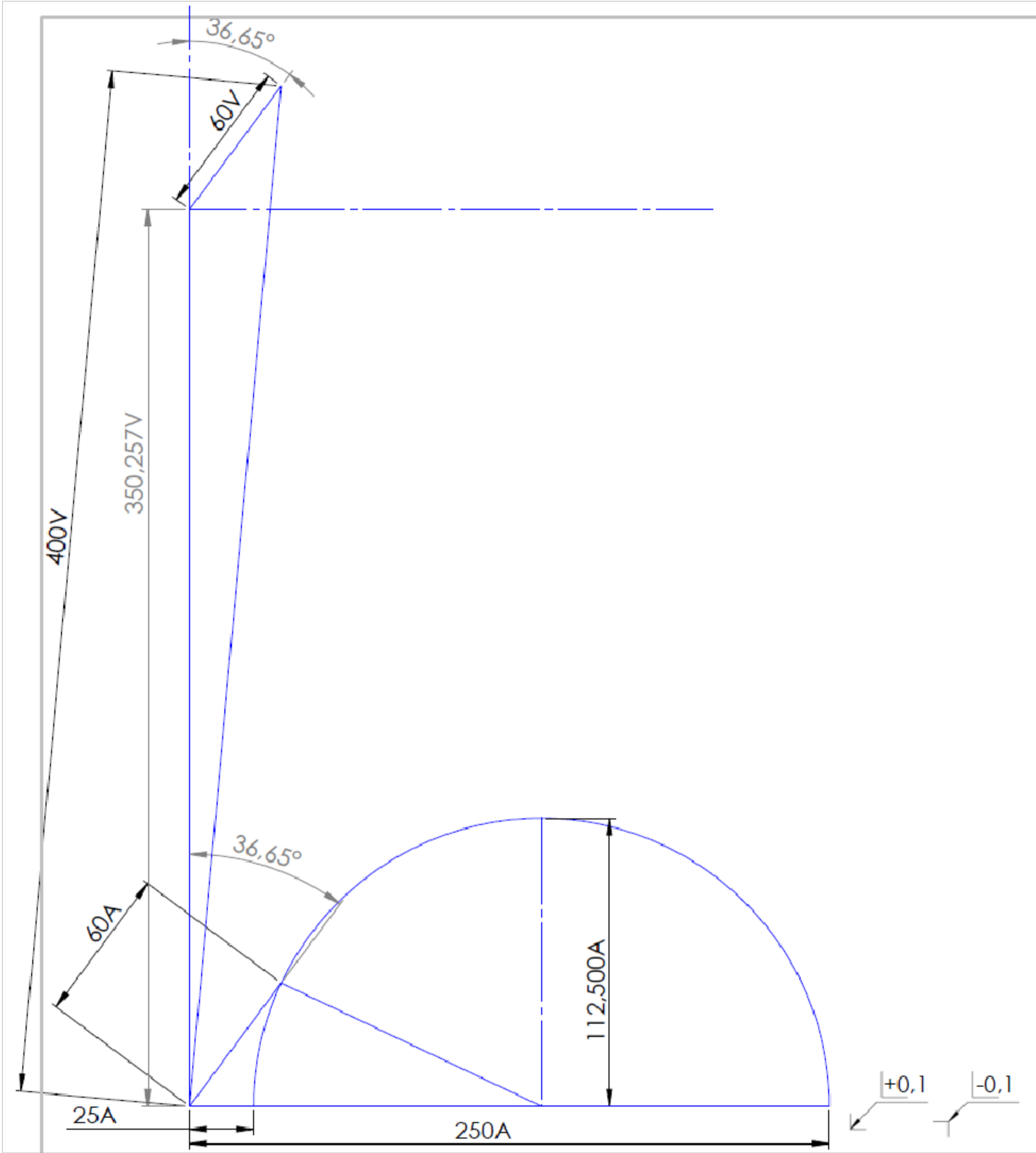
$$U_1 = \sqrt{(U_{i1} + R_1 \cdot I_{1N} \cdot \cos \varphi_{iN})^2 + (R_1 \cdot I_{1N} \cdot \sin \varphi_{iN})^2} = 63,7 \text{ V}$$

$$7. \quad M_{\text{KippN}} = \frac{3 \cdot p}{(2\pi \cdot f_{1N})^2} \cdot \frac{U_{1N}^2}{2 \cdot L_1 \cdot \frac{\sigma}{1-\sigma}} = 499 \text{ Nm}$$

$$I_{\text{WKippN}} = \frac{I_\infty - I_0}{2} = 112,25 \text{ A}$$

$$I_{\text{WN}} = I_{1N} \cdot \cos \varphi_{iN} = 48,8 \text{ A}$$

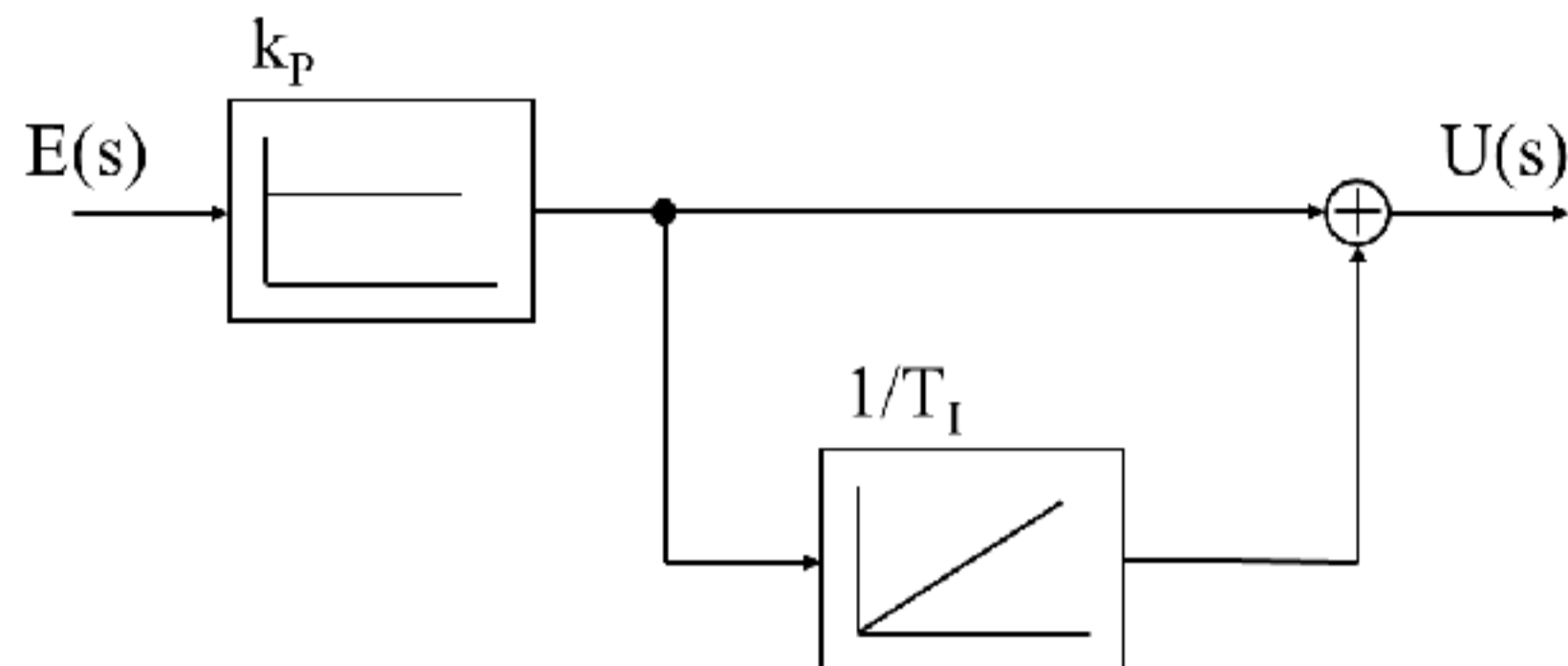
d. h. für 50 Hz gilt $P_{\text{Kipp}} > 2 \cdot P_N$ und damit $P_{\text{Kipp}} > P_N$ bei 100 Hz: Der Punkt kann erreicht werden.



Lösung zu Aufgabe 4

13 Punkte

1.
$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_P \frac{1 + T_I s}{T_I s}$$

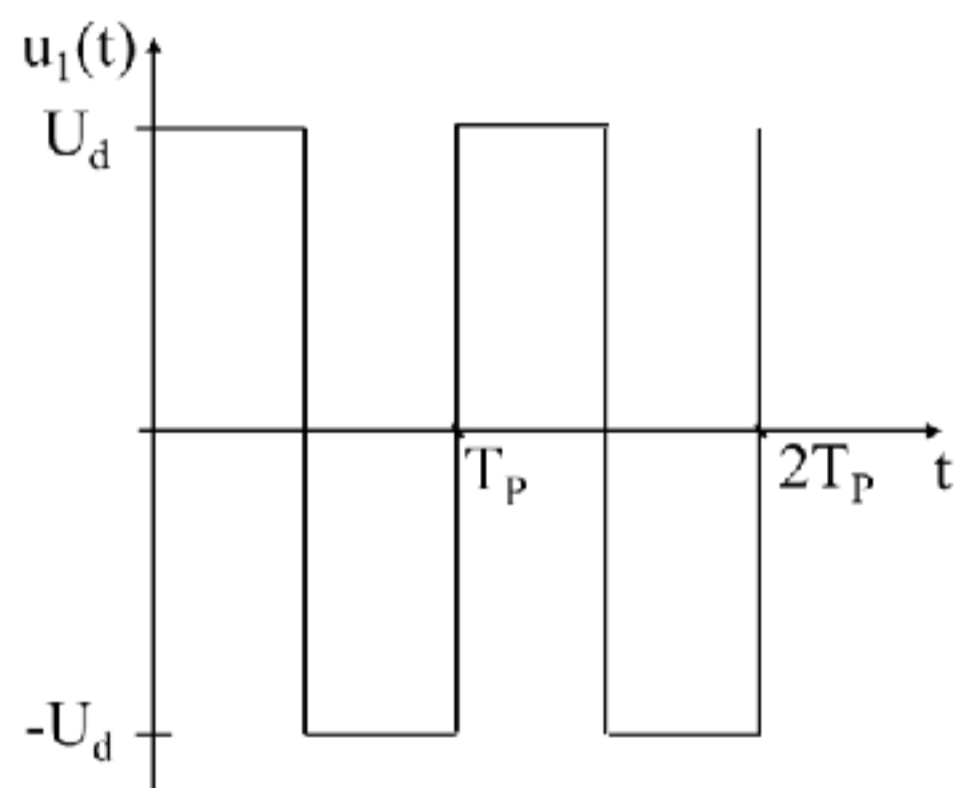


2. Betragsoptimum, da PI Regler vorgegeben ist und lediglich Verzögerungsglieder 1. Ordnung in der Strecke sind, wobei es eine dominierende Zeitkonstante gibt.

$$T_I = 30ms$$

$$k_P = \frac{30ms}{2 \cdot 2,5ms} = 6$$

- 3.



4. Nein, da dieser Frequenzumrichter nicht rückspeisefähig ist (B6 Brücke).
5. Die stationäre Kennlinie enthält die Punkte (1420U/min, 19Nm, Lastpunkt) und (1500U/min, 0Nm, Leerlaufpunkt) sowie (1000U/min, 76Nm, Kipp-Punkt); $M_A = 40Nm$
6. Der Spannungsabfall über dem Statorwiderstand ist zu berücksichtigen. Für Drehzahlen nahe Null kann daher ein Spannungsoffset vorgegeben werden.