

Aufgabe 1:

- a) Anlauf im unbelasteten Zustand, d.h. $M = 0$

Anlaufstrom $I_{A,Anl}$ ohne Vorwiderstand R_V

$$I_{A,Anl} = \frac{U_{AN}}{R_A} = \frac{220 \text{ V}}{0,5 \Omega} = 440 \text{ A}$$

R_V soll so gewählt werden, dass im Anlauf $I_A = I_{A,max}$

$$I_{A,max} = \frac{U_{AN}}{R_A + R_V} \Leftrightarrow R_V = \frac{U_{AN}}{I_{A,max}} - R_A$$

$$R_V = \frac{220 \text{ V}}{100 \text{ A}} - 0,5 \Omega = 2,2 \Omega - 0,5 \Omega = 1,7 \Omega$$

Nach dem Hochlauf der unbelasteten Maschine ist $I_A = 0$, da $M = 0$ ist. I_A bleibt nach dem Schließen des Schalters S weiterhin null, da $M = 0$ ist.

- b) Maschine im Nennbetrieb

$$P_N = U_i \cdot I_{AN}$$

$$U_i = U_{AN} - R_A \cdot I_{AN} = 220 \text{ V} - 0,5 \Omega \cdot 50 \text{ A} = 195 \text{ V}$$

$$P_N = U_i \cdot I_{AN} = 195 \text{ V} \cdot 50 \text{ A} = 9750 \text{ W}$$

$$\text{Nenn Drehmoment} \quad M_N = \frac{P_N}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{9750 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s min}^{-1}}} = 46,55 \text{ Nm}$$

Alternativer Rechenweg

$$M_N = C \cdot \Phi_N \cdot I_{AN}$$

$$U_{AN} = R_A \cdot I_{AN} + C \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N \Leftrightarrow C \cdot \Phi_N = \frac{U_{AN} - R_A \cdot I_{AN}}{\Omega_N} = \frac{220 \text{ V} - 0,5 \Omega \cdot 50 \text{ A}}{\frac{2000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s min}^{-1}}} = 0,9311 \text{ Vs}$$

$$M_N = 0,9311 \text{ Vs} \cdot 50 \text{ A} = 46,55 \text{ Nm}$$

Gesamtverluste

$$P_{V,ges} = P_{VA} + P_{VE} = R_A \cdot I_{AN}^2 + R_E \cdot I_E^2 = 0,5 \Omega \cdot (50 \text{ A})^2 + 100 \Omega \cdot (1 \text{ A})^2 = 1350 \text{ W}$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} = \frac{P_{mech}}{P_{mech} + P_{V,ges}} = \frac{9750 \text{ W}}{9750 \text{ W} + 1350 \text{ W}} = 87,8 \%$$

- c) Leerlaufdrehzahl

$$\text{Nennbetrieb} \quad U_{IN} = C \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N = C \cdot \Phi_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_N$$

$$\text{Leerlauf} \quad U_{i0} = U_{AN} = C \cdot \Phi_N \cdot \Omega_{0N} = C \cdot \Phi_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{0N}$$

$$n_{0N} = n_N \cdot \frac{U_{AN}}{U_{iN}} = 2000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{220 \text{ V}}{195 \text{ V}} = 2256 \text{ min}^{-1}$$

Gesamtverluste im Leerlauf

$$P_{V0} = P_{VE} = R_E \cdot I_E^2 = 100 \Omega \cdot (1 \text{ A})^2 = 100 \text{ W}$$

$$\eta_0 = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} = \frac{P_{mech}}{P_{mech} + P_{V0}} = \frac{0 \text{ W}}{0 \text{ W} + 100 \text{ W}} = 0 \%$$

- d) Maschine mit Reibungsmoment $M_R = 1,5 \text{ Nm}$

$$\begin{array}{ll} \text{Nennbetrieb} & M_N = C \cdot \Phi_N \cdot I_{AN} \\ \text{Mit Reibung} & M_R = C \cdot \Phi_N \cdot I_{AR} \end{array}$$

$$I_{AR} = I_{AN} \cdot \frac{M_R}{M_N} = 50 \text{ A} \cdot \frac{1,5 \text{ Nm}}{46,55 \text{ Nm}} = 1,61 \text{ A}$$

$$U_{iR} = U_{AN} - R_A \cdot I_{AR} = 220 \text{ V} - 0,5 \Omega \cdot 1,61 \text{ A} = 219,195 \text{ V}$$

$$n_{0R} = n_{0N} \cdot \frac{U_{iR}}{U_{iN}} = 2000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{219,195 \text{ V}}{195 \text{ V}} = 2248 \text{ min}^{-1}$$

$$\Delta n_0 = n_{0N} - n_{0R} = 2256 \text{ min}^{-1} - 2248 \text{ min}^{-1} = 8 \text{ min}^{-1}$$

Alternativer Rechenweg

$$\Omega = \frac{U_A}{C \cdot \Phi_N} - \frac{R_A}{(C \cdot \Phi_N)^2} \cdot M_R = \Omega_0 - \Delta\Omega$$

$$\Delta\Omega = \frac{R_A}{(C \cdot \Phi_N)^2} \cdot M_R = \frac{0,5 \Omega}{(0,9311 \text{ Vs})^2} \cdot 1,5 \text{ Nm} = 0,865 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta n = \frac{\Delta\Omega}{2 \cdot \pi} = \frac{0,865 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1} = 8,26 \text{ min}^{-1}$$

e) $n = 1800 \text{ min}^{-1}$

$M = 30 \text{ Nm}$

Mechanische Leistung: $P_{\text{mech}} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1800 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s min}^{-1}} \cdot 30 \text{ Nm} = 5655 \text{ W}$

Induzierte Spannung

$$P_{\text{mech}} = U_i \cdot I_A$$

$$U_{AN} = U_i + R_A \cdot I_A$$

$$U_{AN} \cdot U_i = U_i^2 + R_A \cdot P_{\text{mech}} \Leftrightarrow U_i^2 - U_{AN} \cdot U_i + R_A \cdot P_{\text{mech}} = 0$$

$$U_{i1,2} = \frac{U_{AN}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{U_{AN}}{2}\right)^2 - R_A \cdot P_{\text{mech}}} = 110 \text{ V} \pm \sqrt{(110 \text{ V})^2 - 0,5 \Omega \cdot 5655 \text{ W}}$$

$$U_{i1,2} = 110 \text{ V} \pm 96,29 \text{ V} \Rightarrow U_{i1} = 206,29 \text{ V} \quad U_{i2} = 13,71 \text{ V}$$

Ankerstrom: $I_{A1} = \frac{U_{AN} - U_{i1}}{R_A} = \frac{220 \text{ V} - 206,29 \text{ V}}{0,5 \Omega} = 27,42 \text{ A}$

$$I_{A2} = \frac{U_{AN} - U_{i2}}{R_A} = \frac{220 \text{ V} - 13,71 \text{ V}}{0,5 \Omega} = 412,58 \text{ A} \Rightarrow \text{unzulässig groß!}$$

Erregerstrom:

$$U_{IN} = C \cdot \Phi_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_N = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot k_f \cdot I_{EN} \cdot n_N$$

$$U_i = C \cdot \Phi \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot k_f \cdot I_E \cdot n$$

$$I_E = I_{EN} \cdot \frac{U_i}{U_{IN}} \cdot \frac{n_N}{n} = 1 \text{ A} \cdot \frac{206,29 \text{ V}}{195 \text{ V}} \cdot \frac{2000 \text{ min}^{-1}}{1800 \text{ min}^{-1}} = 1,175 \text{ A}$$

Aufgabe 2:

a) $M = M_N = 40 \text{ Nm}$

$$F = \frac{M}{L} = \frac{40 \text{ Nm}}{0,10 \text{ m}} = 400 \text{ N}$$

$$U_e (40 \text{ Nm}) = k \cdot F = 1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{N}} \cdot 400 \text{ N} = 0,5 \text{ V}$$

Spannungsfolger: $U_{a1} = U_e = 0,5 \text{ V}$

Ausgangswiderstand des idealen OP: $R_a = 0 \Omega$

b) Nichtinvertierender Verstärker

$$\frac{U_{a2}}{U_{a1}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{U_{a2}}{U_{a1}} = \frac{5,0 \text{ V}}{0,5 \text{ V}} = 10 = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 9 \Rightarrow R_2 = 9 \cdot R_1 = 9 \cdot 5 \text{ k}\Omega = 45 \text{ k}\Omega$$

Spannungsverstärkung $v_U = \frac{U_{a2}}{U_{a1}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1 + 9 = 10$

c) Bei $M = 1,5 M_N = 60 \text{ Nm}$ ist $F = \frac{M}{L} = \frac{60 \text{ Nm}}{0,10 \text{ m}} = 600 \text{ N}$

$$U_e = 1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{N}} \cdot 600 \text{ N} = 0,75 \text{ V}$$

$$U_{a1} = 0,75 \text{ V}$$

$$U_{a2} = v_U \cdot U_{a1} = 10 \cdot 0,75 \text{ V} = 7,5 \text{ V}$$

Schaltswelle des OP3: $U_d = 0 = U_{a2} - U_{R4} \Leftrightarrow U_{a2} = U_{R4} = 7,5 \text{ V}$

Spannungsteiler: $\frac{U_{R4}}{U_{\text{Bat}}} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \Leftrightarrow R_4 = (R_3 + R_4) \cdot \frac{U_{R4}}{U_{\text{Bat}}}$

$$R_4 = \frac{7,5 \text{ V}}{12 \text{ V}} \cdot 30 \text{ k}\Omega = 18,75 \text{ k}\Omega$$

Für $U_{a2} < 7,5 \text{ V}$ ist $U_d < 0$ und somit $U_{a3} < 0 \Rightarrow \text{LED ist aus}$
Für $U_{a2} > 7,5 \text{ V}$ ist $U_d > 0$ und somit $U_{a3} = U_{\text{Bat}} > 0 \Rightarrow \text{LED ist an}$

d) Für $M \geq 60 \text{ Nm}$ ist $U_{a3} = U_{\text{bat}}$

$I_D = 400 \text{ mA}$ damit aus Kennlinienfeld abgelesen: $U_D = 3,4 \text{ V}$

$$R_V = \frac{U_{\text{bat}} - U_D}{I_D} = \frac{12 \text{ V} - 3,4 \text{ V}}{0,4 \text{ A}} = 21,5 \Omega$$

$$P_{VD} = U_D \cdot I_D = 3,4 \text{ V} \cdot 0,4 \text{ A} = 1,36 \text{ W}$$

$P_{VD} < P_{\text{tot}} \Rightarrow$ Die Diode kann in diesem AP dauerhaft betrieben werden.

e) $F(t)$ ist gegeben

$$u_{a2}(t) = 10 \cdot u_{a1}(t) \quad \text{und} \quad u_{a1}(t) = k \cdot F(t)$$

Linearer Zusammenhang

$$u_{a1}(t=0) = 0 \quad \text{und} \quad u_{a1}(t=t_1) = k \cdot 1000 \text{ N} = 1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{N}} \cdot 1000 \text{ N} = 1,25 \text{ V}$$

$$u_{a2}(t=0) = 0 \quad \text{und} \quad u_{a2}(t=t_1) = 10 \cdot 1,25 \text{ V} = 12,5 \text{ V}$$

Beim Überschreiten von $u_{a2} = 7,5 \text{ V}$ schaltet OP3 den Ausgang auf U_{bat} , d.h. die LED beginnt dann zu leuchten und es gilt $S = 1$

Beziehungswise volle Punktzahl bei korrektem Bild!

Aufgabe 3:

1	b	11	b	21	a
2	b	12	c	22	b
3	c	13	b	23	b
4	b	14	c	24	c
5	c	15	c	25	b
6	b	16	a	26	b
7	c	17	b	27	b
8	a	18	c	28	c
9	b	19	c	29	b
10	c	20	a	30	a