

1.

Aufgabe 1 – Gleichstrom**Aufgabe 1.1 – Ströme, Spannungen, Leistungen**

a)

$$I_4 = I_{q2} \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 3 \text{ A} \cdot \frac{12 \Omega}{(8 + 12) \Omega} = 1,8 \text{ A}$$

$$I_5 = I_{q2} - I_4 = 3 \text{ A} - 1,8 \text{ A} = 1,2 \text{ A}$$

$$I_3 = -I_{q2} = -3 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{q1} = 2 \text{ A}$$

$$I_1 = I_{q1} - I_2 = 2 \text{ A} - (-3 \text{ A}) = 5 \text{ A}$$

b)

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 2 \Omega \cdot 5 \text{ A} = 10 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_2 = 4 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 8 \text{ V}$$

$$U_{R3} = -R_3 \cdot I_3 = -6 \Omega \cdot (-3 \text{ A}) = 18 \text{ V}$$

$$U_{R4} = U_{R5} = R_4 \cdot I_4 = 8 \Omega \cdot 1,8 \text{ A} = 14,4 \text{ V}$$

$$U_{q1} = U_{R2} + U_{R1} = 8 \text{ V} + 10 \text{ V} = 18 \text{ V}$$

$$U_{q2} = U_{R4} + U_{R3} + U_{R1} = 14,4 \text{ V} + 18 \text{ V} + 10 \text{ V} = 42,4 \text{ V}$$

c)

$$P_q = U_{q1} \cdot I_{q1} + U_{q2} \cdot I_{q2} = 18 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} + 42,4 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 163,2 \text{ W}$$

d)

Die elektrische Energie wird in den Widerständen in Wärme umgewandelt.

Aufgabe 1.2 – Ersatzspannungsquelle

a)

$$U_{AB,LL} = U_{R5} = 14,4 \text{ V}$$

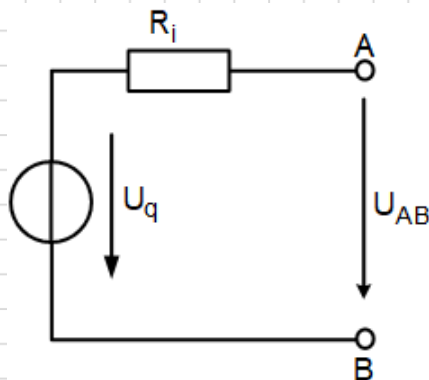
$$R_{AB1} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{8 \Omega \cdot 12 \Omega}{8 \Omega + 12 \Omega} = 4,8 \Omega$$

$$I_{KS} = I_{q2} = 3 \text{ A}$$

$$R_{AB2} = \frac{U_{AB,LL}}{I_{KS}} = \frac{14,4 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 4,8 \Omega$$

Die Widerstände müssen gleich sein und sind auch gleich!

b) ESB der Ersatzspannungsquelle:



Mit $U_{AB,LL} = U_q = 14,4 \text{ V}$ und $R_{AB} = R_i = 4,8 \Omega$

 $\Sigma A 1$

Aufgabe 2 – Schaltvorgänge – Spule

Aufgabe 2.1 – Allgemeines

a) Zusammenhang zwischen $u_L(t)$ und $i_L(t)$:

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

b) Energie kennzeichnende Größe:

Der Spulenstrom $i_L(t)$, da er in der Ableitung steht.

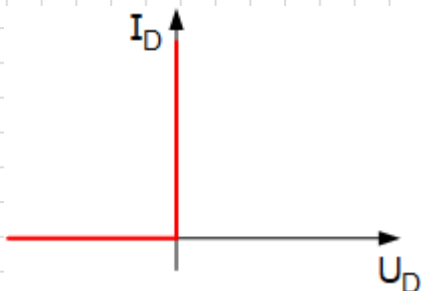
c) Bedingung für die Energie kennzeichnende Größe:

Sie darf bzw. kann nicht springen.

d) Wozu benötigt man die Diode?

Wenn S wieder geöffnet wird fließt der Spulenstrom über die Diode weiter und reißt nicht ab!

e) Strom-Spannungs-Kennlinie der idealen Diode:



Aufgabe 2.2 – Schalter S wird bei $t = 0$ s geschlossen.

$i_L(t = 0_+) = 0$ A Strom darf / kann nicht springen.

$u_{R2}(t = 0_+) = 0$ V Ohmsches Gesetz.

$i_D(t = 0_+) = 0$ A Diode in Sperr-Richtung gepolt.

$i(t = 0_+) = 0$ A Knotenregel.

$u_D(t = 0_+) = -U$ Maschenregel

$u_L(t = 0_+) = U$ Maschenregel

$u_{AB}(t = 0_+) = U$ Maschenregel

Aufgabe 2.3 – Schalter S ist unendlich lange geschlossen.

$$i_D(t = \infty) = 0 \text{ A}$$

Diode in Sperr-Richtung gepolt.

$$u_L(t = \infty) = 0 \text{ V}$$

Spule entspricht Kurzschluss.

$$u_{R2}(t = \infty) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Spannungsteiler-Regel.

$$u_D(t = \infty) = -\frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Maschenregel.

$$i_L(t = \infty) = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Maschenregel und ohmsches Gesetz.

$$i(t = \infty) = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Knotenregel.

$$u_{R1}(t = \infty) = \frac{U \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$u_{AB}(t = \infty) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Aufgabe 2.4 – Schalter S wird bei t_1 wieder geöffnet.

$$i_L(t_{1+}) = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Strom darf / kann nicht springen.

$$i_D(t_{1+}) = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Strom fließt jetzt über die Diode.

$$u_D(t_{1+}) = 0 \text{ V}$$

Ideale Diode.

$$u_{R2}(t_{1+}) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Ohmsches Gesetz mit i_L .

$$u_L(t_{1+}) = -\frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Maschenregel.

$$u_{AB}(t_{1+}) = 0 \text{ V}$$

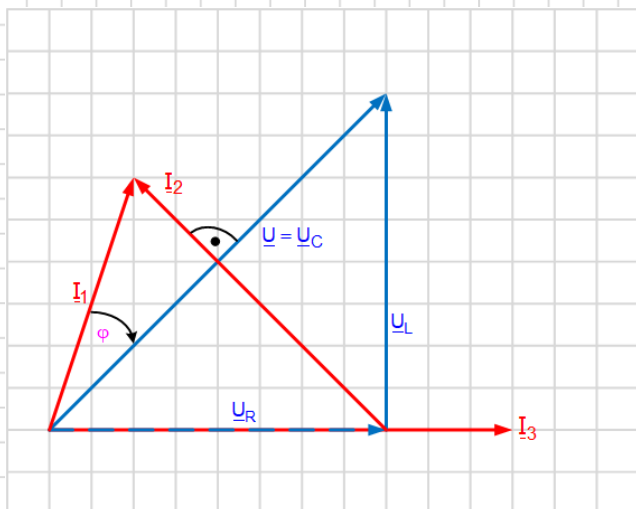
Maschenregel.

 $\Sigma A 2$

Aufgabe 3 – Wechselstrom

Aufgabe 3.1 – Zeigerdiagramm (ZD)

a) Qualitatives ZD:



b) Phasenverschiebungswinkel φ in ZD eintragen. Welche Art von Blindleistung?

Der Phasenverschiebungswinkel ist negativ $\rightarrow$ kapazitive Blindleistung.

Aufgabe 3.2 – Impedanzen $\underline{Z}_C$, $\underline{Z}_L$, $\underline{Z}_{RL}$ und $\underline{Z}_{RLC}$

a)

$$\underline{Z}_C = -j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = -j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{2} \cdot 40 \mu\text{F}} = -j \cdot 79,6 \Omega$$

$$\underline{Z}_L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ H} = j \cdot 62,8 \Omega$$

$$\underline{Z}_{RL} = R + \underline{Z}_L = (100 + j \cdot 62,8) \Omega = 118,1 \Omega \cdot e^{j32,1^\circ}$$

$$\underline{Z}_{RLC} = \frac{\underline{Z}_C \cdot \underline{Z}_{RL}}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_{RL}} = \frac{-j \cdot 79,6 \Omega \cdot (100 + j \cdot 62,8) \Omega}{-j \cdot 79,6 \Omega + 100 \Omega + j \cdot 62,8 \Omega} \underset{\text{GTR}}{=} (61,6 - j \cdot 69,3) \Omega$$

$$\underline{Z}_{RLC} \underset{\text{GTR}}{=} 92,7 \cdot e^{-j48,4^\circ} \Omega$$

Aufgabe 3.3 – Ströme, Spannungen, Impedanz

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_C} = \frac{200 \text{ V}}{-j \cdot 79,6 \Omega} = -j \cdot 2,51 \text{ A} = 2,51 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 90^\circ}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{RL}} = \frac{200 \text{ V}}{118,1 \Omega} \cdot e^{-j \cdot 32,1^\circ} = 1,69 \text{ A} \cdot e^{-j \cdot 32,1^\circ} = (1,43 - j \cdot 0,89) \text{ A}$$

$$I_3 = |\underline{I}_3| = 1,69 \text{ A}$$

$$\underline{U}_L = \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_3 = j \cdot 62,8 \Omega \cdot 1,69 \text{ A} \cdot e^{-j \cdot 32,1^\circ} = 106,13 \text{ V} \cdot e^{j \cdot 57,9^\circ}$$

$$U_L = |\underline{U}_L| = 106,13 \text{ V}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = j \cdot 2,51 \text{ A} + 1,43 \text{ A} - j \cdot 0,89 \text{ A} = (1,43 + j \cdot 1,62) \text{ A} = 2,16 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 48,56^\circ}$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}_1} = \frac{200 \text{ V}}{2,16 \text{ A}} \cdot e^{-j \cdot 48,56^\circ} = 92,6 \Omega \cdot e^{-j \cdot 48,56^\circ}$$

$\underline{Z}$ und $\underline{Z}_{RLC}$ sind ungefähr gleich.

Die Abweichungen im Betrag und Winkel sind rundungsbedingt!

Aufgabe 3.4 – Leistungen

a)

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = 200 \text{ V} \cdot (1,43 - j \cdot 1,62) \text{ A} = (286 - j \cdot 324) \text{ VA}$$

$$P = \text{Re}(\underline{S}) = 286 \text{ W}$$

$$Q = \text{Im}(\underline{S}) = -324 \text{ var} \quad \text{induktiv, da negatives Vorzeichen!}$$

b) Q_L der Spule.

$$Q_L = X_L \cdot I_3^2 = 62,8 \Omega \cdot (1,69 \text{ A})^2 = 179,36 \text{ var}$$

c) Kapazität C, damit $\varphi = 0^\circ$ wird.

$$Q_C = Q_L \quad \quad Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

$$C = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{179,36 \text{ var}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} \cdot (200 \text{ V})^2} = 14,27 \mu\text{F}$$

Aufgabe 4 – Kleinsignalverstärker**Aufgabe 4.1 – Daten aus Bild 4.2**

a)

$$u_e = 10 \text{ mV} \quad f = \frac{1}{0,5 \text{ ms}} = 2.000 \text{ Hz}$$

$$u_e(t) = u_e \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) = 10 \text{ mV} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 2.000 \text{ Hz} \cdot t)$$

b)

$$u_{CE} = 1 \text{ V} \quad f = \frac{1}{0,5 \text{ ms}} = 2.000 \text{ Hz} \quad U_{CE,AP} = 3 \text{ V}$$

$$u_{CE} = U_{CE,AP} - u_{CE} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) = 3 \text{ V} - 1 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 2.000 \text{ Hz} \cdot t)$$

c) Was bewirkt C_2 ? C_2 unterdrückt (blockt) den Gleichspannungsanteil $U_{CE,AP}$ der Spannung u_{CE} .

$$u_a(t) = -u_{CE} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) = -1 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 2.000 \text{ Hz} \cdot t)$$

d)

$$v_U = \frac{u_a}{u_e} = \frac{1 \text{ V}}{10 \text{ mV}} = 100$$

e)

$$U_{Bat} = 2 \cdot U_{CE,AP} = 2 \cdot 3 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

f) R_C für $I_{C,AP} = 20 \text{ mA}$:

$$R_C = \frac{U_{Bat} - U_{CE,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{6 \text{ V} - 3 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 150 \Omega$$

g) Gleichanteil $I_{B,AP}$ für $I_{C,AP} = 20 \text{ mA}$:

$$I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{\beta} = \frac{20 \text{ mA}}{200} = 0,1 \text{ mA}$$

h) Berechnung von R_1 und R_2 :

$$I_2 = 10 \cdot I_{B,AP} = 10 \cdot 0,1 \text{ mA} = 1,0 \text{ mA}$$

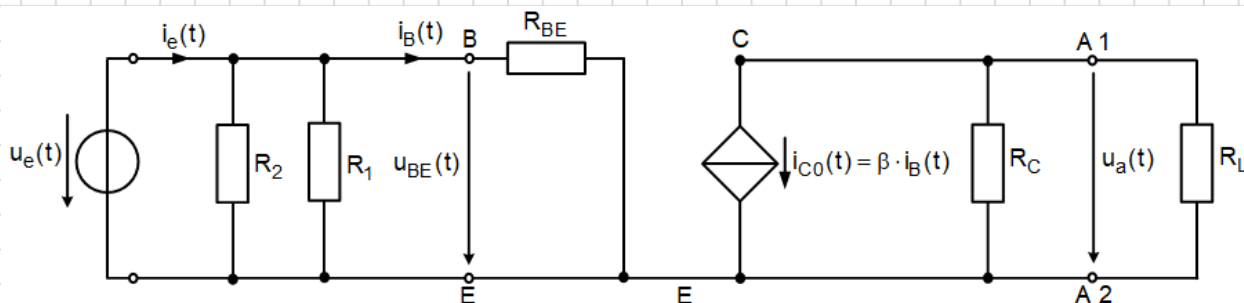
$$R_2 = \frac{U_{BE,AP}}{I_{2,AP}} = \frac{0,6 \text{ V}}{1,0 \text{ mA}} = 600 \, \Omega$$

$$I_1 = I_2 + I_{B,AP} = 1,0 \text{ mA} + 0,1 \text{ mA} = 1,1 \text{ mA}$$

$$R_1 = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{BE,AP}}{I_1} = \frac{6 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{1,1 \text{ mA}} = 4,9 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 4.2 – Wechselstromverhalten.

a) Wechselstrom-Ersatzschaltbild



b) Amplitude $\hat{i}_{C0}$ für $R_L = R_C$:

$$\hat{i}_{C0} = \frac{u_a}{0,5 \cdot R_L} = \frac{1 \text{ V}}{0,5 \cdot 150 \, \Omega} = 13,33 \text{ mA}$$

c)

$$\hat{i}_B = \frac{\hat{i}_{C0}}{\beta} = \frac{13,33 \text{ mA}}{160} = 83,31 \, \mu\text{A}$$

$$R_{BE} = \frac{u_e}{\hat{i}_B} = \frac{10 \text{ mV}}{83,31 \, \mu\text{A}} = 120 \, \Omega$$

d) Was bedeutet $R_L = R_C$ hinsichtlich der Leistung P_{RL} in R_L ?

$R_L = R_C$ bedeutet Leistungsanpassung,

d. h

$\Sigma A 4$

Aufgabe 5 – Operationsverstärkerschaltung

Aufgabe 5.1 – Allgemeines

a) Eigenschaften des idealen OP:

Eingangswiderstand $R_E = \infty \Omega$

Ausgangswiderstand $R_A = 0 \Omega$

Open-Loop-Verstärkung $A_{OL} = \infty$

b) Was versteht man unter Gegenkopplung und was bewirkt sie?

Rückführung (eines Teils) der Ausgangsspannung auf den invertierenden Eingang. Die Spannungsverstärkung der Schaltung kann auf endliche Werte eingestellt werden.

c) Weshalb fließt der gesamte Strom I_0 durch $R_{LDR}(E)$?

Da $R_E = \infty \Omega$ ist, fließt in die Eingänge des OP kein Strom.

Aufgabe 5.2 – Fotowiderstand

a) Geradengleichung für $R_{LDR}(E)$:

Achsenabschnitt auf der Ordinate: $R_0 = 600 \text{ k}\Omega$

Steigung: $m = \frac{\Delta R_{LDR}}{\Delta E} = -\frac{600 \text{ k}\Omega}{12.000 \text{ Lux}} = -50 \frac{\Omega}{\text{Lux}}$

Geradengleichung: $R_{LDR}(E) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot E$

b) Widerstandswerte $R_{LDR}(E)$ für $E = 1.000 \text{ Lux}$, 3.000 Lux , 5.000 Lux und 7.000 Lux :

$$R_{LDR}(1.000 \text{ Lux}) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot 1.000 \text{ Lux} = 550 \text{ k}\Omega$$

$$R_{LDR}(3.000 \text{ Lux}) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot 3.000 \text{ Lux} = 450 \text{ k}\Omega$$

$$R_{LDR}(5.000 \text{ Lux}) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot 5.000 \text{ Lux} = 350 \text{ k}\Omega$$

$$R_{LDR}(7.000 \text{ Lux}) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot 7.000 \text{ Lux} = 250 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 5.2 – Schaltungsfunktion

a) OP-Grundschialtung:

Komparator (ohne Rückkopplung).

 b) $U_1(E)$ in Abhängigkeit von $R_{LDR}(E)$ und I_0 :

$$U_1(E) = I_0 \cdot R_{LDR}(E)$$

 c) $u_d(E)$ in Abhängigkeit von U_{R2} und $U_1(E)$:

$$u_d(E) = U_{R2} - U_1(E)$$

 d) R_2 , sodass $U_{R2} = 5,25 \text{ V}$:

$$U_{R2} = U_{Bat} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{U_{R2}}{U_{Bat}} \cdot (R_1 + R_2) = R_2$$

$$R_2 \cdot \left(1 - \frac{U_{R2}}{U_{Bat}}\right) = \frac{U_{R2}}{U_{Bat}} \cdot R_2$$

$$R_2 = \frac{U_{R2} \cdot R_2}{U_{Bat} - U_{R2}} = \frac{5,25 \text{ V} \cdot 100 \text{ k}\Omega}{12 \text{ V} - 5,25 \text{ V}} = 77,78 \text{ k}\Omega$$

 e) $R_{LDR}(E_1)$, sodass Schaltschwelle des OP erreicht wird und E_1

$$U_1(E_1) = I_0 \cdot R_{LDR}(E_1) = U_{R2} = 5,25 \text{ V}$$

$$R_{LDR}(E_1) = \frac{U_1(E_1)}{I_0} = \frac{5,25 \text{ V}}{15 \mu\text{A}} = 350 \text{ k}\Omega$$

Vergleich mit Aufgabe 5.2 b):

$$R_{LDR}(5.000 \text{ Lux}) = 600 \text{ k}\Omega - 50 \frac{\Omega}{\text{Lux}} \cdot 5.000 \text{ Lux} = 350 \text{ k}\Omega$$

 Beleuchtungsstärke $E_1 = 5.000 \text{ Lux}$

f) Für welche Beleuchtungsstärken E leuchtet die LED bzw. leuchtet sie nicht:

Wenn $E > 5.000 \text{ Lux} \Rightarrow U_1(E) < U_{R2} \Rightarrow u_d(E) > 0 \text{ V} \Rightarrow \text{LED leuchtet}$

Wenn $E < 5.000 \text{ Lux} \Rightarrow U_1(E) < U_{R2} \Rightarrow u_d(E) < 0 \text{ V} \Rightarrow \text{LED leuchtet nicht}$

g) Praktische Anwendungsmöglichkeit für diese Art von Schaltung:

Grundschialtung zur Ansteuerung einer Abschattungsvorrichtung
(Jalousie, Rollo).

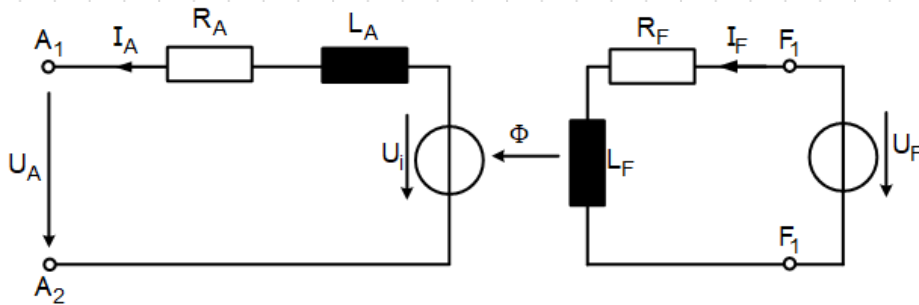
Anstatt der LED ein Relais verwenden, mit dem ein Motor,
der die Jalousie antreibt, ein- und ausgeschaltet wird.

ΣA 5

Aufgabe 6 – Gleichstrommaschine

Aufgabe 6.1 – Allgemeines

a) Ersatzschaltbild der fremderregten GM



b) Weshalb keine Spannungsabfälle an L_A und L_F ?

Stationäre Verhältnisse und Gleichgrößen (Gleichspannung und Gleichstrom).

c) Weshalb keine permanentmagneterregte GM?

Durch den Erregerfluss kann bei unterschiedlichen Drehzahlen die induzierte Spannung eingestellt (nachgeregelt) werden.

Aufgabe 6.2 – Nennbetrieb mit $I_F = 10 \text{ A}$.

$$P_{\text{mech},N} = 2 \cdot \pi \cdot M_N \cdot n_N = 2 \cdot \pi \cdot 10.000 \text{ Nm} \cdot \frac{100 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} = 104,72 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el},N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 800 \text{ V} \cdot 125 \text{ A} = 100 \text{ kW}$$

$$P_{\text{VA},N} = P_{A,N} - P_{\text{el},N} = 104,72 \text{ kW} - 100 \text{ kW} = 4,72 \text{ kW}$$

$$P_{\text{VF},N} = R_F \cdot I_{F,N}^2 = 10 \Omega \cdot (10 \text{ A})^2 = 1 \text{ kW}$$

$$R_A = \frac{P_{\text{VA},N}}{I_{A,N}^2} = \frac{4,72 \text{ kW}}{(125 \text{ A})^2} = 302 \text{ m}\Omega$$

$$U_{i,N} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,N} = 800 \text{ V} + 0,302 \Omega \cdot 125 \text{ A} = 837,75 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_N = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{837,75 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{100 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 80 \text{ Vs}$$

$$\eta_N = \frac{P_{el,N}}{P_{mech,N} + P_{VF,N}} = \frac{100 \text{ kW}}{104,72 \text{ kW} + 1 \text{ kW}} \approx 95 \%$$

Aufgabe 6.3 – Arbeitspunkt AP 1 mit $n_{AP1} = 80 \text{ min}^{-1}$ und $I_{A,AP1} = 100 \text{ A}$.

$$U_{i,AP1} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,AP1} = 800 \text{ V} + 0,302 \Omega \cdot 100 \text{ A} = 830,2 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{AP1}} = \frac{830,2 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{80 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 99 \text{ Vs}$$

$$I_{F,AP1} = I_{F,N} \cdot \frac{(c \cdot \Phi)_{AP1}}{(c \cdot \Phi)_N} = 10 \text{ A} \cdot \frac{99 \text{ Vs}}{80 \text{ Vs}} = 12,38 \text{ A}$$

$$M_{AP1} = (c \cdot \Phi)_{AP1} \cdot I_{A,AP1} = 99 \text{ Vs} \cdot 100 \text{ A} = 9.900 \text{ Nm}$$

Der Arbeitspunkt ist zulässig, da keine Grenzwerte (d. h. Ankernennspannung, Ankernennstrom, Erregernennstrom und Nenndrehmoment) überschritten werden!

ΣA 6