

Aufgabe 1 **20 Punkte****Aufgabe 1.1** **5 Punkte****a) Netzwerkanalyse**

$k = 3$ Knoten und $z = 5$ Zweige

b) Anzahl der unbekannten Größen und die unbekannten Größen

5 unbekannte Zweigströme → mit ohmschem Gesetz lassen sich dann die 5 Spannungen an den Widerständen berechnen.

c) Unabhängige Gleichungen

Es werden $KG = k - 1 = 3 - 1 = 2$ und $MG = z - (k - 1) = 5 - 2 = 3$ unabhängige Knoten- und Maschengleichungen benötigt.

Aufgabe 1.2 **10 Punkte****a) Ersatzwiderstände**

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{20 \, \Omega \cdot 30 \, \Omega}{20 \, \Omega + 30 \, \Omega} = 12 \, \Omega$$

$$R_{345} = R_{34} + R_5 = 12 \, \Omega + 6 \, \Omega = 18 \, \Omega$$

$$R_{2345} = \frac{R_2 \cdot R_{345}}{R_2 + R_{345}} = \frac{9 \, \Omega \cdot 18 \, \Omega}{9 \, \Omega + 18 \, \Omega} = 6 \, \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_{2345} = 6 \, \Omega + 6 \, \Omega = 12 \, \Omega$$

b) Ströme und Spannungen

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{24 \, \text{V}}{12 \, \Omega} = 2 \, \text{A}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 6 \, \Omega \cdot 2 \, \text{A} = 12 \, \text{V}$$

$$U_2 = U - U_1 = 24 \, \text{V} - 12 \, \text{V} = 12 \, \text{V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ V}}{9 \Omega} = 1,33 \text{ A}$$

$$I_5 = I_1 - I_2 = 2 \text{ A} - 1,33 \text{ A} = 0,667 \text{ A}$$

$$U_5 = R_5 \cdot I_5 = 6 \Omega \cdot 0,667 \text{ A} = 4 \text{ V}$$

$$U_{34} = U_2 - U_5 = 12 \text{ V} - 4 \text{ V} = 8 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{U_{34}}{R_3} = \frac{8 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{34}}{R_4} = \frac{8 \text{ V}}{30 \Omega} = 0,267 \text{ A}$$

$$\text{Probe: } I_3 + I_4 = 0,4 \text{ A} + 0,267 \text{ A} = 0,667 \text{ A} = I_5$$

Alternativ mit der **Stromteiler-Regel**.

Aufgabe 1.3 5 Punkte

Verlustleistungen

$$P_1 = R_1 \cdot I_1^2 = 6 \Omega \cdot (2 \text{ A})^2 = 24 \text{ W}$$

$$P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 9 \Omega \cdot (1,33 \text{ A})^2 = 15,92 \text{ W}$$

$$P_3 = R_3 \cdot I_3^2 = 20 \Omega \cdot (0,4 \text{ A})^2 = 3,2 \text{ W}$$

$$P_4 = R_4 \cdot I_4^2 = 30 \Omega \cdot (0,267 \text{ A})^2 = 2,14 \text{ W}$$

$$P_5 = R_5 \cdot I_5^2 = 6 \Omega \cdot (0,667 \text{ A})^2 = 2,67 \text{ W}$$

Aufgabe 2**20 Punkte****Aufgabe 2.1****3 Punkte**

a) Im Gegensatz zum Ohmwidderstand ist der Kondensator **ein Energiespeicher**.

b) Das Grundgesetz lautet

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

c) **Die Energie kennzeichnende Größe ist die Kondensatorspannung $u_C(t)$.**

d) Die Energie kennzeichnende Größe darf nicht **springen**.

Die Energie kennzeichnende Größe muss **stetig** verlaufen.

Aufgabe 2.2**7 Punkte**

a) Ströme und Spannungen für $t = 0_-$:

Größe	Begründung
$u_C(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	C ist vollständig entladen.
$i_C(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	C ist vollständig entladen.
$u_{R2}(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	Da Strom i_C durch R_2 null ist.
$i(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	Spannungsquelle U abgetrennt.
$i_3(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	U abgetrennt und C entladen – keine Quelle.
$u_{R3}(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	Strom durch R_3 ist null.
$u_{AB}(t = 0_-) = U$	MR: $u_{AB} = U - R_1 i = U - R_1 0 \text{ A} = U$

Aufgabe 2.3**4 Punkte**

$$u_C(t = 0_+) = 0 \text{ V} \quad \text{Darf nicht springen – muss stetig verlaufen!}$$

$$i(t = 0_+) = \frac{U}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{U \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

Ersatzwiderstand und ohmsches Gesetz.

$$i_C(t = 0_+) = i(t = 0_+) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{U \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad \text{Stromteilerregel.}$$

$$i_3(t = 0_+) = i(t = 0_+) \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{U \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad \text{Stromteilerregel.}$$

$$u_{R2}(t = 0_+) = R_2 \cdot i_C(t = 0_+) = \frac{U \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad \text{Ohmsches Gesetz.}$$

$$u_{R3}(t = 0_+) = R_3 \cdot i_3(t = 0_+) = \frac{U \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad \text{Ohmsches Gesetz.}$$

$$u_{AB}(t = 0_+) = u_{R2}(t = 0_+) = u_{R3}(t = 0_+) \quad \text{Maschenregel.}$$

Aufgabe 2.4**6 Punkte**

$$i_C(t = \infty) = 0 \text{ A} \quad \text{C ist entladen.}$$

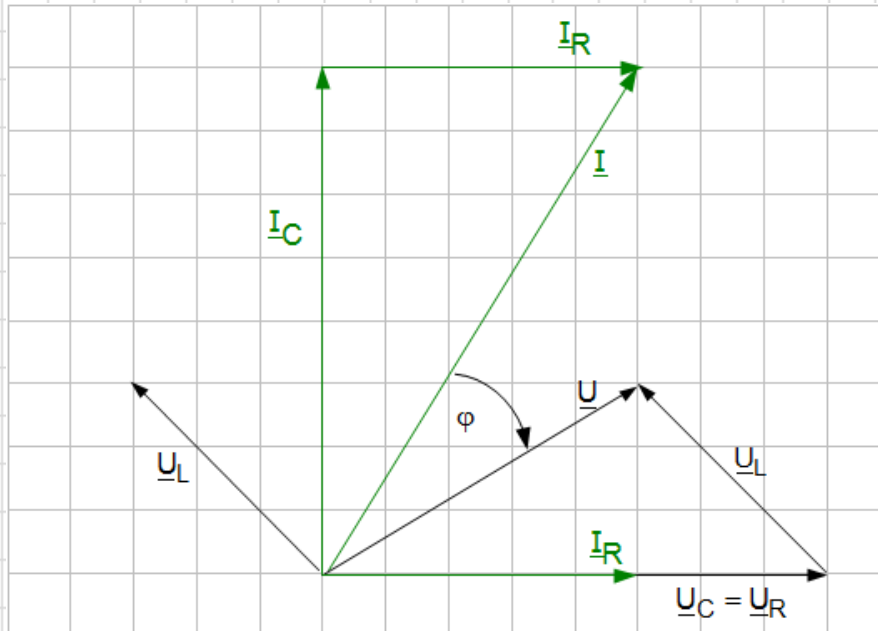
$$u_{R2}(t = \infty) = R_2 \cdot i_C(t = \infty) = 0 \text{ V} \quad \text{Ohmsches Gesetz.}$$

$$i(t = \infty) = i_3(t = \infty) = \frac{U}{R_1 + R_3} \quad \text{Ersatzwiderstand und OG.}$$

$$u_{R3}(t = \infty) = R_3 \cdot i_3(t = \infty) = \frac{U \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad \text{Ohmsches Gesetz.}$$

$$u_C(t = \infty) = u_{R3}(t = \infty) = \frac{U \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad \text{Maschenregel.}$$

$$u_{AB}(t = \infty) = u_C(t = \infty) = u_{R3}(t = \infty) \quad \text{Maschenregel.}$$

Aufgabe 3**20 Punkte****Aufgabe 3.1****6 Punkte****a) Zeigerdiagramm (qualitativ)****b) Nach obigem Zeigerdiagramm wirkt die Schaltung ohmsch-kapazitiv.**

Begründung: Weil der Strom $\underline{I}$ der Spannung $\underline{U}$ um einen Winkel kleiner 90° voraus eilt.

Aufgabe 3.2**14 Punkte****a) Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{RC}$ in kartesischer Form.**

$$\underline{Z}_{RC} = \frac{R \cdot \underline{Z}_C}{R + \underline{Z}_C} = \frac{R \cdot \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} = \frac{R}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} \cdot \frac{(1 - j \cdot \omega \cdot R \cdot C)}{(1 - j \cdot \omega \cdot R \cdot C)}$$

$$\underline{Z}_{RC} = \frac{R - j \cdot \omega \cdot R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} = \frac{R}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} - j \cdot \frac{\omega \cdot R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

b) Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ in kartesischer Form.

$$\underline{Z} = \underline{Z}_L + \underline{Z}_{RC} = j \cdot \omega \cdot L + \frac{R}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} - j \cdot \frac{\omega \cdot R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

$$\underline{Z} = \frac{R}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} + j \cdot \left[\omega \cdot L - \frac{\omega \cdot R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} \right]$$

c) L in Abhängigkeit von ω , R und C, sodass $\underline{Z}$ reell wird.

$$\left[\omega \cdot L - \frac{\omega \cdot R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2} \right] \stackrel{!}{=} 0$$

$$L = \frac{R^2 \cdot C}{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

Mit den gegebenen Werten L, Z, I, S, P, I_R und U_C berechnen:

$$L = \frac{(10 \, \Omega)^2 \cdot 318 \cdot 10^{-6} \, \text{F}}{1 + (314 \, \text{s}^{-1} \cdot 10 \, \Omega \cdot 318 \cdot 10^{-6} \, \text{F})^2} = 15,92 \, \text{mH}$$

$$Z = \frac{10 \, \Omega}{1 + (314 \, \text{s}^{-1} \cdot 10 \, \Omega \cdot 318 \cdot 10^{-6} \, \text{F})^2} = 5 \, \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{10 \, \text{V}}{5 \, \Omega} = 2 \, \text{A}$$

$$S = U \cdot I = 10 \, \text{V} \cdot 2 \, \text{A} = 20 \, \text{VA}$$

$$P = S = 20 \, \text{W} \quad \text{da } Z \text{ reell!}$$

$$I_R = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{20 \, \text{W}}{10 \, \Omega}} = \sqrt{2} \, \text{A} \approx 1,41 \, \text{A}$$

$$U_C = U_R = R \cdot I_R = 10 \, \Omega \cdot 1,41 \, \text{A} = 14,1 \, \text{V}$$

Aufgabe 4**20 Punkte****Aufgabe 4.1****11 Punkte****a) Mischgröße.**

Eine Mischgröße besteht aus einem Gleichanteil und überlagertem Wechselanteil.

b) Weshalb $U_{CE,AP} = 0,5 \cdot U_{Bat}$?

Damit ein symmetrisches Wechselspannungssignal nach beiden Seiten maximal angesteuert werden kann (keine Verzerrung durch „Abschneiden“ von Signalkuppen).

c) R_C und $I_{B,AP}$.

$$R_C = \frac{U_{RC,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{U_{Bat} - U_{CE,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{0,5 \cdot U_{Bat}}{I_{C,AP}} = \frac{6 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 300 \Omega$$

$$I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{\beta} = \frac{20 \text{ mA}}{200} = 0,1 \text{ mA} = 100 \mu\text{A}$$

d) $I_{2,AP}$, $I_{1,AP}$, R_1 und R_2 .

$$I_{2,AP} = 10 \cdot I_{B,AP} = 10 \cdot 0,1 \text{ mA} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{1,AP} = I_{2,AP} + I_{B,AP} = 10 \text{ mA} + 0,1 \text{ mA} = 1,1 \text{ mA}$$

$$R_1 = \frac{U_{R1,AP}}{I_{1,AP}} = \frac{U_{Bat} - U_{BE,AP}}{I_{1,AP}} = \frac{12 \text{ V} - 0,62 \text{ V}}{1,1 \text{ mA}} = 10.345 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{BE,AP}}{I_{2,AP}} = \frac{0,62 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 620 \Omega$$

e) R_{BE} .

$$R_{BE} = \frac{U_{BE,AP} - U_{BE0}}{I_{B,AP}} = \frac{0,62 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 200 \Omega$$

Aufgabe 4.2

3 Punkte

a) Maximale Verlustleistung darf nicht dauerhaft überschritten werden, weil ...

sonst der Transistor überhitzt und durchbrennt, d. h. er geht kaputt.

b) P_{tot} muss mindestens sein:

$$P_{\text{tot}} > U_{\text{CE,AP}} \cdot I_{\text{C,AP}} + U_{\text{BE,AP}} \cdot I_{\text{B,AP}}$$

$$P_{\text{tot}} > 6 \text{ V} \cdot 20 \text{ mA} + 0,62 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ mA}$$

$$P_{\text{tot}} > 120 \text{ mW} + 0,062 \text{ mW}$$

$$P_{\text{tot}} > 120,062 \text{ mW} \approx 120 \text{ mW}$$

Es genügt auch, wenn nur die Verluste im Kollektor-Emitter-Kreis berücksichtigt werden. Es muss aber erwähnt sein, weshalb die Verluste im Basis-Emitter-Kreis vernachlässigt werden dürfen.

Aufgabe 4.3

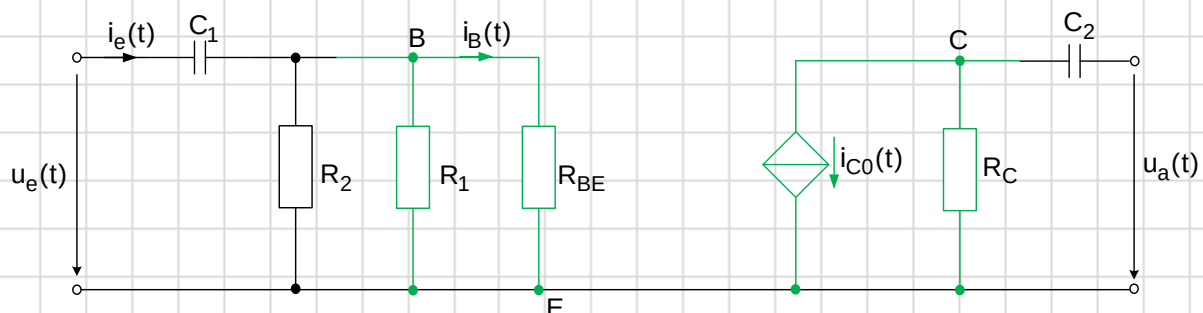
6 Punkte

a) Für was werden C_1 und C_2 benötigt?

C_1 verhindert einen Gleichstrom von der Batterie durch die Signalquelle (Gleichspannung wird geblockt).

C_2 unterdrückt den Gleichanteil im Mischsignal u_{CE} , sodass am Ausgang des Verstärkers die Wechselspannung $u_{\text{CE}}(t)$ für den Verbraucher (z. B. Lautsprecher) zur Verfügung steht. Spulen können nicht verwendet werden, da sie für Gleichstrom einen Kurzschluss darstellen und diesen somit nicht blocken können.

b) Wechselstrom-Ersatzschaltbild



Aufgabe 5 **20 Punkte****Aufgabe 5.1** **5 Punkte****a) Widerstände $R_1(x)$ und $R_2(x)$.**

$$x = 0 \rightarrow R_2 = 0 \, \Omega$$

$$\text{Somit: } R_2(x) = R \cdot x$$

$$x = 1 \rightarrow R_2 = R$$

$$\text{Es gilt: } R_1(x) + R_2(x) = R \quad \text{somit:} \quad R_1(x) = R - R_2(x) = R \cdot (1 - x)$$

b) Spannung $U_e(x)$.

$$\text{Spannungsteiler-Regel:} \quad U_e(x) = U_0 \cdot \frac{R_2(x)}{R_1(x) + R_2(x)} = U_0 \cdot \frac{R \cdot x}{R} = U_0 \cdot x$$

Aufgabe 5.2 **15 Punkte****a) OP-Grundsaltungen.**

1. Schaltungsteil mit OP1: **Nichtinvertierender Verstärker**

2. Schaltungsteil mit OP2: **Komparator**

Die Z-Diode stellt für den Komparator eine Referenzspannung zur Verfügung.

Der Widerstand R_{V1} dient zur Strombegrenzung (AP-Einstellung).

Die Ausgangsspannung $U_{a2}(x)$ des Komparators kann lediglich die Werte $\pm U_V = \pm 15 \, \text{V}$ annehmen.

b) Spannung $U_{d2}(x)$ und Schaltschwelle OP2.

$$U_{d2}(x) = U_Z - U_{a1}(x)$$

$$\text{Scharlschwelle des Komparators:} \quad U_{d2}(x) = 0 \Leftrightarrow U_{a1}(x) = U_Z$$

c) Widerstand R_3 , sodass für $x = 0,1$ die Schaltschwelle von OP 2 erreicht wird

$$x = 0,1 \rightarrow U_e(x = 0,1) = 10 \, \text{V} \cdot 0,1 = 1 \, \text{V}$$

Für den nichtinvertierenden Verstärker gilt: $U_{a1}(x) = U_e(x) \cdot \underbrace{\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)}_{v_U}$

$$v_U = \frac{U_{a1}(x=0,1)}{U_e(x=0,1)} = \frac{U_Z}{U_e(x=0,1)} = \frac{9,7 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 9,7$$

$$v_U = 9,7 = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \Leftrightarrow R_3 = \frac{R_4}{v_U - 1} = \frac{220 \text{ k}\Omega}{8,7} \approx 25,3 \text{ k}\Omega$$

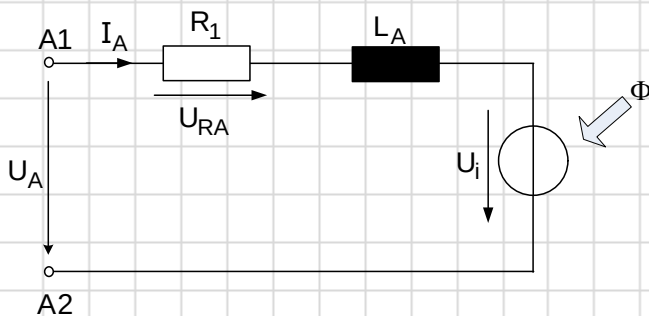
d) Werte von x, für die die LED leuchtet.

$$x > 0,1 \Rightarrow U_e > 1 \text{ V} \Rightarrow U_{a1} > U_Z \Rightarrow U_{d2} < 0 \Rightarrow U_{a2} = -15 \text{ V}$$

→ Für $x > 0,1$ leuchtet die LED nicht.

$$x < 0,1 \Rightarrow U_e < 1 \text{ V} \Rightarrow U_{a1} < U_Z \Rightarrow U_{d2} > 0 \Rightarrow U_{a2} = +15 \text{ V}$$

→ Für $x < 0,1$ leuchtet die LED.

Aufgabe 6**20 Punkte****Aufgabe 6.1****3 Punkte****a) Ersatzschaltbild****b) Induktivität L_A vernachlässigbar, weil**

Es werden stationäre Verhältnisse vorausgesetzt, d. h. $I_A = \text{konstant}$, d. h. die Spannung an der Induktivität ist null (Spule wirkt bei Gleichstrom wie Kurzschluss).

Aufgabe 6.2 – Größen bei Nennbetrieb 7 Punkte**a) $P_{el,N}$, $P_{V,N}$, η_N , $U_{i,N}$ und M_N .**

$$P_{el,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 400 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} = 40 \text{ kW}$$

$$P_{V,N} = P_{el,N} - P_N = 40 \text{ kW} - 38 \text{ kW} = 2 \text{ kW}$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{el,N}} = \frac{38 \text{ kW}}{40 \text{ kW}} = 0,95 = 95 \%$$

$$U_{i,N} = \frac{P_N}{I_{A,N}} = \frac{38 \text{ kW}}{100 \text{ A}} = 380 \text{ V}$$

$$M_N = \frac{P_N}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{38 \text{ kW}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 91 \text{ Nm}$$

b) Ankerwiderstand R_A .

$$R_A = \frac{P_{V,N}}{I_{A,N}^2} = \frac{2.000 \text{ W}}{(100 \text{ A})^2} = 0,2 \Omega = 200 \text{ m}\Omega$$

c) $c \cdot \Phi$ in mVs.

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{380 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 907 \text{ mVs}$$

Aufgabe 6.3 – Anlauf bzw. Stillstand**4 Punkte****a) $I_{A,St}$ und ist $I_{A,St}$ zulässig?**

$$I_{A,St} = \frac{U_{A,N}}{R_A} = \frac{400 \text{ V}}{0,2 \Omega} = 2.000 \text{ A}$$

$$I_{A,St} = 20 I_{A,N} \quad \text{ist nicht zulässig!!}$$

b) Stillstandmoment M_{St}

$$M_{St} = \frac{I_{A,St}}{I_{A,N}} \cdot M_N = \frac{2.000 \text{ A}}{100 \text{ A}} \cdot 91 \text{ Nm} = 1.820 \text{ Nm}$$

c) Wert für die Spannung U , damit $I_{A,St} = 2 \cdot I_{A,N}$ ist.

$$\overset{!}{I_{A,St}} = 2 \cdot I_{A,N} = 200 \text{ A} \quad U = R_A \cdot I_{A,St} = 0,2 \Omega \cdot 200 \text{ A} = 40 \text{ V}$$

Aufgabe 6.4 – Kurzzeitiger Überlastbetrieb**6 Punkte****a) P_{mech} in Abhängigkeit von U_A , R_A und I_A .**

$$P_{\text{mech}} = (U_A - R_A \cdot I_A) \cdot I_A = U_A \cdot I_A - R_A \cdot I_A^2$$

b) I_A für $P_{\text{mech}} = 1,1 \cdot P_{\text{mech},N}$ und $U_A = U_{A,N}$.

$$P_{\text{mech}} = (U_A - R_A \cdot I_A) \cdot I_A = U_A \cdot I_A - R_A \cdot I_A^2$$

$$R_A \cdot I_A^2 + P_{\text{mech}} - U_A \cdot I_A = 0$$

$$I_A^2 - \frac{U_A}{R_A} \cdot I_A + \frac{P_{\text{mech}}}{R_A} = 0 \quad (\text{Quadratische Gleichung})$$

Lösungsformel:

$$I_{A,12} = \frac{U_A}{2 \cdot R_A} \pm \sqrt{\left(\frac{U_A}{2 \cdot R_A}\right)^2 - \frac{P_{\text{mech}}}{R_A}}$$

$$I_{A,12} = \frac{400 \text{ V}}{2 \cdot 0,2 \, \Omega} \pm \sqrt{\left(\frac{400 \text{ V}}{2 \cdot 0,2 \, \Omega}\right)^2 - \frac{11 \cdot 38.000 \text{ W}}{0,2 \, \Omega}}$$

$$I_{A,12} = 1.000 \text{ A} \pm 889 \text{ A}$$

$$I_{A,1} = 1.889 \text{ A} \quad \text{Physikalisch nicht sinnvoll (zu groß).}$$

$$I_{A,2} = 111 \text{ A}$$