

Aufgabe 1**Aufgabe 1.1****a)** $k = 2$ Knoten und $z = 4$ Zweige

b) 4 unbekannte Zweigströme I_1, I_2, I_3 und I_4 und 5 unbekannte Spannungen an den Widerständen $\rightarrow$ mit dem ohmschem Gesetz lassen sich die 5 Spannungen $U_1, U_2 = U_3 = U_{23}, U_4$ und U_5 berechnen, d. h. durch die Ströme ersetzen.

c) Es werden $KG = k - 1 = 2 - 1 = 1$ und $MG = z - (k - 1) = 4 - 1 = 3$ unabhängige Knoten- und Maschengleichungen benötigt.

Aufgabe 1.2

a) $R_{45} = R_4 + R_5 = 30 \, \Omega + 6 \, \Omega = 36 \, \Omega$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20 \, \Omega \cdot 30 \, \Omega}{20 \, \Omega + 30 \, \Omega} = 12 \, \Omega$$

$$R_{2345} = \frac{R_{23} \cdot R_{45}}{R_{23} + R_{45}} = \frac{12 \, \Omega \cdot 36 \, \Omega}{12 \, \Omega + 36 \, \Omega} = 9 \, \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_{2345} = 6 \, \Omega + 9 \, \Omega = 15 \, \Omega$$

b) $I_1 = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{30 \, \text{V}}{15 \, \Omega} = 2 \, \text{A}$

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

$$U_{23} = U - U_1 = 30 \, \text{V} - 12 \, \text{V} = 18 \, \text{V}$$

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{18 \, \text{V}}{20 \, \Omega} = 0,90 \, \text{A}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{18 \text{ V}}{30 \Omega} = 0,60 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{23}}{R_{45}} = \frac{18 \text{ V}}{36 \Omega} = 0,50 \text{ A}$$

$$U_4 = R_4 \cdot I_4 = 30 \Omega \cdot 0,50 \text{ A} = 15 \text{ V}$$

$$U_5 = R_5 \cdot I_5 = 6 \Omega \cdot 0,5 \text{ A} = 3 \text{ V}$$

Aufgabe 1.3

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

$$P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 20 \Omega \cdot (0,90 \text{ A})^2 = 16,20 \text{ W}$$

$$P_3 = R_3 \cdot I_3^2 = 30 \Omega \cdot (0,60 \text{ A})^2 = 10,80 \text{ W}$$

$$P_4 = R_4 \cdot I_4^2 = 30 \Omega \cdot (0,50 \text{ A})^2 = 7,50 \text{ W}$$

$$P_5 = R_5 \cdot I_5^2 = 6 \Omega \cdot (0,50 \text{ A})^2 = 1,50 \text{ W}$$

b) $P_R = \sum_{i=1}^5 P_i = \dots = 60 \text{ W}$

Alternativ: $P_R = R_{\text{ges}} \cdot I^2 = 15 \Omega \cdot (2 \text{ A})^2 = 60 \text{ W}$

$$P_U = U \cdot I_1 = 30 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 60 \text{ W}$$

Aufgabe 2

Aufgabe 2.1

a) Das Netzwerk ist linear!

U_{AB} ist eine lineare Größe.

b) Spannungsquelle: Durch einen Kurzschluss ersetzen.

Stromquelle: Durch eine Unterbrechung (Leerlauf) ersetzen.

c) Nur U_1 wirksam. $\rightarrow$ Stromquelle = Leerlauf (Unterbrechung).

Direkt aus der MR: $U_{AB,1} = U_0 = 20 \text{ V}$

d) Nur I_q wirksam. $\rightarrow$ Spannungsquelle = Kurzschluss.

$U_{AB,2} = R_1 \cdot I_q = 12 \Omega \cdot 0,5 \text{ A} = 6 \text{ V}$

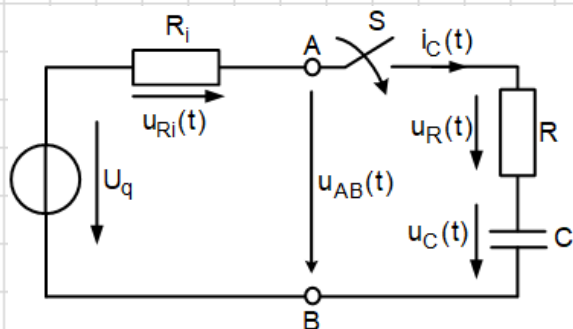
e)

$U_{AB} = U_{AB,1} + U_{AB,2} = 20 \text{ V} + 6 \text{ V} = 26 \text{ V}$

$\rightarrow R_1$ und R_3 sind in Reihe: $R_{AB} = R_1 + R_3 = 12 \Omega + 6 \Omega = 18 \Omega$

Aufgabe 2.2

a)



b)

U_q entspricht der Leerlaufspannung U_{AB} von oben.

R_i entspricht dem Ersatzwiderstand R_{AB} von oben.

Aufgabe 2.3

- a) Kondensator = Energiespeicher → Der Energieinhalt muss stetig verlaufen
(keine unendlich große Leistung möglich!)

-
- b) Energie kennzeichnend: Aus Grundgesetz: $i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} \rightarrow u_C(t)$

Die Energie kennzeichnende Größe muss stetig verlaufen!

-
- c) $t = 0_+ : u_C(t = 0_+) = u_C(t = 0_-) = 0 \text{ V}$

$$i_C(t = 0_+) = \frac{U_q}{R_i + R} = \frac{26 \text{ V}}{18 \Omega + 8 \Omega} = 1 \text{ A}$$

-
- d) Stationär gilt: Kondensator ist vollgeladen.

$$\rightarrow i_{C,\text{stat}} = 0 \text{ A} \rightarrow u_{C,\text{stat}} = U_q = 26 \text{ V}$$

Aufgabe 3

Aufgabe 3.1

a) Es gilt: $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$ umgeformt nach f: $f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot X_C \cdot C}$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 9 \, \Omega \cdot 160,76 \cdot 10^{-6} \, \text{F}} = 110 \, \text{Hz}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 110 \, \text{Hz} \cdot 115,75 \cdot 10^{-3} \, \text{H} = 80 \, \Omega$$

$$Z_L = j \cdot X_L = j \cdot 80 \, \Omega$$

$$Z_C = -j \cdot X_C = -j \cdot 9 \, \Omega$$

Aufgabe 3.2

a) Es gilt: $P_W = R \cdot I_R^2$ $I_R = I_R = \sqrt{\frac{P_W}{R}} = \sqrt{\frac{240 \, \text{W}}{60 \, \Omega}} = 2,0 \, \text{A} = 2 \, \text{A} \cdot e^{j0^\circ}$

$$\underline{U}_R = \underline{U}_L = R \cdot \underline{I}_R = 60 \, \Omega \cdot 2 \, \text{A} = 120 \, \text{V} = 120 \, \text{V} \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\underline{I}_L = \frac{\underline{U}_L}{j \cdot X_L} = -j \cdot \frac{120 \, \text{V}}{80 \, \Omega} (0 - j \cdot 1,5) \, \text{A} = 1,5 \, \text{A} \cdot e^{-j90^\circ} = -j \cdot 1,5 \, \text{A}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L = (2 - j \cdot 1,5) \, \text{A} = 2,5 \, \text{A} \cdot e^{-j36,87^\circ}$$

$$\underline{U}_C = Z_C \cdot \underline{I} = 9 \cdot \Omega \cdot e^{-j90^\circ} \cdot 2,5 \, \text{A} \cdot e^{-j36,87^\circ} = 22,5 \, \text{V} \cdot e^{-j126,87^\circ}$$

Alternativ auch: $\underline{U}_C = (-13,5 - j \cdot 18) \, \text{V}$

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C = 120 \, \text{V} + (-13,5 - j \cdot 18) \, \text{V} = (106,5 - j \cdot 18) \, \text{V} = 108 \, \text{V} \cdot e^{-j9,59^\circ}$$

$$U_{\text{eff}} = U = |\underline{U}| = \sqrt{(106,5 \, \text{V})^2 + (18 \, \text{V})^2} \approx 108 \, \text{V}$$

$$\varphi_U = \arctan\left(\frac{-18 \text{ V}}{106,5 \text{ V}}\right) = -9,59^\circ$$

$$\varphi_{UC} = -126,87^\circ \text{ (siehe oben)}$$

$$\text{Oder: } \varphi_{UC} = 180^\circ + \arctan\left(\frac{-18 \text{ V}}{-13,5 \text{ V}}\right) = 233,13^\circ$$

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_{UC} = -9,59^\circ - (-126,87^\circ) = 117,28^\circ$$

U eilt U_C um $117,28^\circ$ vor.

$$\text{Oder: } \varphi = \varphi_U - \varphi_{UC} = -9,59^\circ - 233,13^\circ = -242,72^\circ$$

U eilt U_C um $242,72^\circ$ nach.

Aufgabe 3.3

$$\text{a) } \underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = (106,5 - j \cdot 18) \text{ V} \cdot (2 + j \cdot 1,5) \text{ A} = (240,21 + j \cdot 123,82) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}(\underline{S}) = 240,21 \text{ W} \approx 240 \text{ W} \quad \text{Abweichung rundungsbedingt!}$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{S}) = +123,82 \text{ var} \quad \text{Induktive Blindleistung, da positiv!}$$

b) Leistungen aus Teilleistungen:

$$Q_L = X_L \cdot I^2 = 80 \, \Omega \cdot (1,5 \text{ A})^2 = 180 \text{ var}$$

$$Q_C = -X_C \cdot I^2 = -9 \, \Omega \cdot (2,5 \text{ A})^2 = -56,25 \text{ var}$$

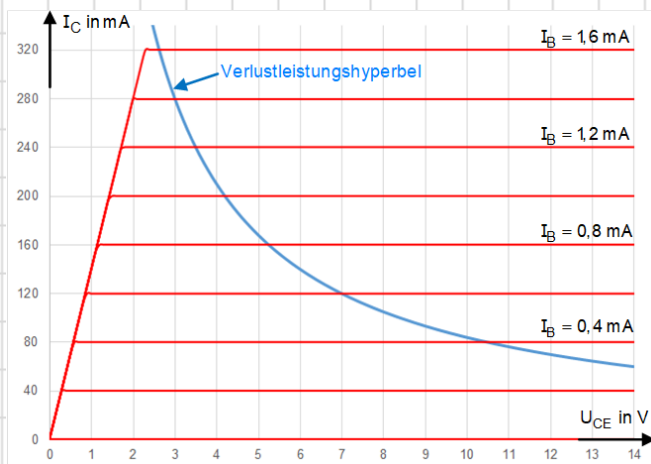
$$Q = Q_L + Q_C = 180 \text{ var} - 56,25 \text{ var} = 123,75 \text{ var}$$

Die Ergebnisse stimmen fast überein.
Die Abweichungen sind rundungsbedingt.

Aufgabe 4

Aufgabe 4.1

a)



Werte aus einer Kennlinie:

$$B = \frac{I_{C0}}{I_B} = \frac{240 \text{ mA}}{1,2 \text{ mA}} = 200$$

Die Kennlinien verlaufen im ungesättigten Bereich mit der Steigung null. Daraus folgt: $R_{CE} = \infty \Omega$

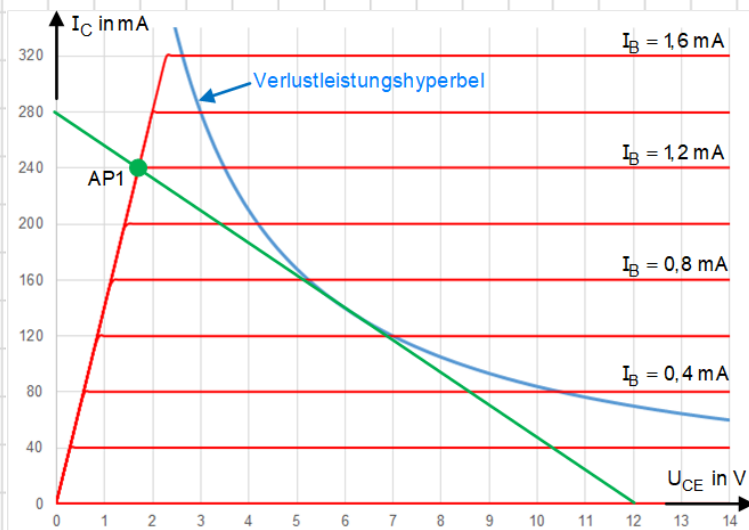
Werte aus einem Punkt auf der Verlustleistungshyperbel, z. B.:

$$U_{CE} = 7 \text{ V} \rightarrow I_{C,\text{max,zul}} = 120 \text{ mA}$$

$$P_{\text{tot}} = U_{CE} \cdot I_{C,\text{max,zul}} = 7 \text{ V} \cdot 120 \text{ mA} = 840 \text{ mW}$$

Aufgabe 4.2

a)



U_{Bat} ist konstant 12 V, d. h. die Steigung der AG wird solange vergrößert, bis sie die Verlustleistungshyperbel tangiert.

Aus dem I_C -Achsenabschnitt folgt: $I_{C,\text{max}} = 280 \text{ mA}$

$$\text{Damit: } R_{L,\text{min}} = \frac{U_{\text{Bat}}}{I_{C,\text{max}}} = \frac{12 \text{ V}}{280 \text{ mA}} = 42,8 \Omega$$

b) Arbeitspunkt mit maximaler Leistung liegt auf der Sättigungsgrenze:

$$I_{B,\min} = 1,2 \text{ mA}$$

Abgelesen: $U_{CE,AP1} \approx 1,7 \text{ V}$

$$I_{C,AP1} = 240 \text{ mA}$$

c) $U_{\text{Bat}} = (R_1 + R_{23}) \cdot I_{B,\min} + R_{BE} \cdot I_{B,\min} + U_{BE0}$

$$R_{23} = \frac{U_{\text{Bat}} - (R_1 + R_{BE}) \cdot I_{B,\min} - U_{BE0}}{I_{B,\min}}$$

$$R_{23} = \frac{12 \text{ V} - (7.000 + 100) \Omega \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ A} - 0,62 \text{ V}}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 2.383,33 \Omega$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{23} \cdot (R_2 + R_3) = R_2 \cdot R_3$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_2}{R_2 - R_{23}} = \frac{2.383,33 \Omega \cdot 25.000 \Omega}{25.000 \Omega - 2.383,33 \Omega} = 2.634,5 \Omega$$

d) $R_3 = 0 \Omega \Rightarrow R_{23} = 0 \Omega$

$$I_B = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{BE0}}{R_1 + R_{BE}} = \frac{12 \text{ V} - 0,62 \text{ V}}{7.000 \Omega + 100 \Omega} = 1,6 \text{ mA}$$

Der AP 2 entspricht dem AP 1. Der AP kann sich nicht weiter nach oben verschieben.

Abgelesen: $U_{CE,AP2} \approx 1,7 \text{ V}$

$$I_{C,AP2} = 240 \text{ mA}$$

AP 2 ist für den Dauerbetrieb zulässig, da er nicht oberhalb der Verlustleistungshyperbel liegt.

$$\text{e) } R_3 = 25 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{23} = \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ k}\Omega = 12.500 \Omega$$

$$I_B = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{\text{BE0}}}{R_1 + R_{23} + R_{\text{BE}}} = \frac{12 \text{ V} - 0,62 \text{ V}}{7.000 \Omega + 12.500 \Omega + 100 \Omega} = 0,58 \text{ mA} \approx 0,6 \text{ mA}$$

Abgelesen: $U_{\text{CE,AP3}} \approx 7 \text{ V}$

$I_{\text{C,AP3}} = 120 \text{ mA}$

AP 3 ist für den Dauerbetrieb zulässig, da er nicht oberhalb der Verlustleistungshyperbel liegt.

Aufgabe 5

Aufgabe 5.1

- a) Idealer OP: Eingangswiderstand: $R_E = \infty \Omega$
- Ausgangswiderstand: $R_A = 0 \Omega$
- Open-Loop-Verstärkung: $A_{OL} = \infty$

b)

Grundschialtung: Nichtinvertierender Verstärker.

- c) Spannungsverstärkung: $v_U = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{U_{a1}(x=1)}{U_e(x=1)} = \frac{12 \text{ V}}{0,1 \text{ V} \cdot 1} = 120$

$$\text{d) } v_U = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \rightarrow v_U - 1 = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = (v_U - 1) \cdot R_1$$

$$R_2 = (120 - 1) \cdot 2 \text{ k}\Omega = 238 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 5.2

- a) 2. Schaltungsteil mit OP2: Komparator

$$\text{b) } U_{d2}(x) = U_{a1}(x) - U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_3 + R_4 + R_5}$$

2. Term aus Spannungsteiler-Regel!

$$\text{c) } x = 0,5 \rightarrow U_{a1}(x = 0,5) = 120 \cdot 0,1 \text{ V} \cdot 0,5 = 6 \text{ V}$$

Schaltschwelle des Komparators: $U_{d2}(x = 0,5) = 0 \text{ V}$

$$U_{a1}(x = 0,5) = 6 \text{ V} = U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_3 + R_4 + R_5}$$

$$\frac{U_{a1}(x = 0,5)}{U_{\text{Bat}}} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) = R_4 + R_5$$

$$\frac{U_{a1}(x = 0,5)}{U_{\text{Bat}}} \cdot (R_3 + R_4) - R_4 = R_5 - \frac{U_{a1}(x = 0,5)}{U_{\text{Bat}}} \cdot R_5$$

$$R_5 = \frac{\frac{U_{a1}(x = 0,5)}{U_{\text{Bat}}} \cdot (R_3 + R_4) - R_4}{1 - \frac{U_{a1}(x = 0,5)}{U_{\text{Bat}}}} = \frac{U_{a1}(x = 0,5) \cdot (R_3 + R_4) - R_4 \cdot U_{\text{Bat}}}{U_{\text{Bat}} - U_{a1}(x = 0,5)}$$

$$R_5 = \frac{6 \text{ V} \cdot (60 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega) - 10 \text{ k}\Omega \cdot 15 \text{ V}}{15 \text{ V} - 6 \text{ V}} = 30 \text{ k}\Omega$$

$$U_{R45} = U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = 15 \text{ V} \cdot \frac{(10 + 30) \text{ k}\Omega}{(60 + 10 + 30) \text{ k}\Omega} = 6 \text{ V}$$

$$\text{Oder: } U_{R45} = U_{a1}(x = 0,5) = 6 \text{ V}$$

d) Diagramm siehe nächste Seite.

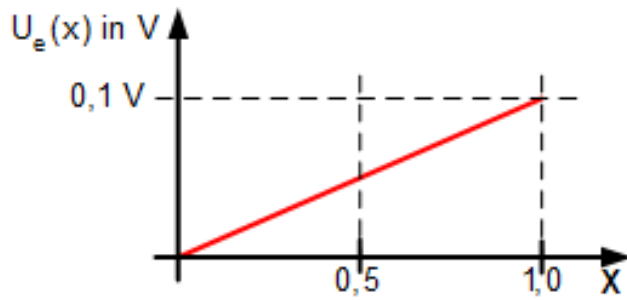
e)

Leuchtdiode	Farbe rot	Farbe grün
LED 1		x
LED 2	x	

Ankreuzen!

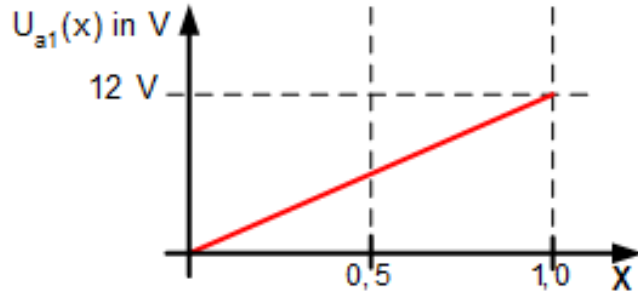
f) RV dient zur Arbeitspunkteinstellung (Strombegrenzung) für die LEDs.

$$R_V = \frac{U_V - U_{\text{AP}}}{I_{\text{AP}}} = \frac{15 \text{ V} - 2 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 650 \Omega$$

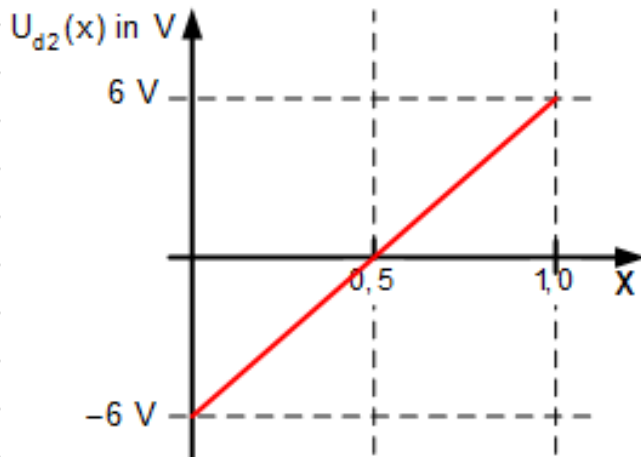


Spalte für „Hilfestellung“
(Ergänzen!)

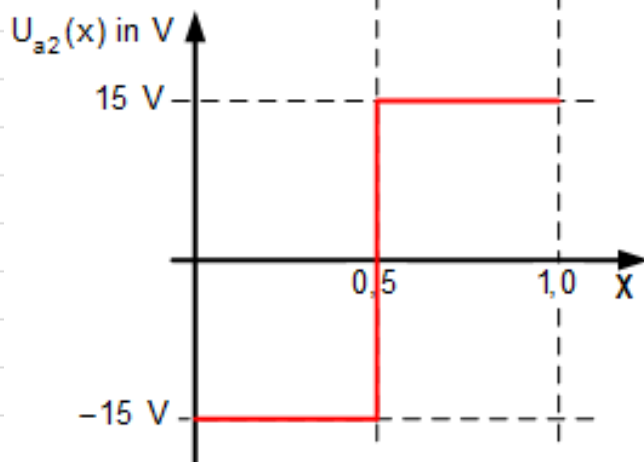
$$U_e(x) = 0,1 \text{ V} \cdot x$$



$$U_{a1}(x) = 120 \cdot 0,1 \text{ V} \cdot x = 12 \text{ V} \cdot x$$



$$U_{d2}(x) = U_{a1}(x) - 6 \text{ V}$$



$$U_{a2}(x) = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } U_{d2} > 0 \text{ V} \\ -15 \text{ V} & \text{für } U_{d2} < 0 \text{ V} \end{cases}$$

Aufgabe 6

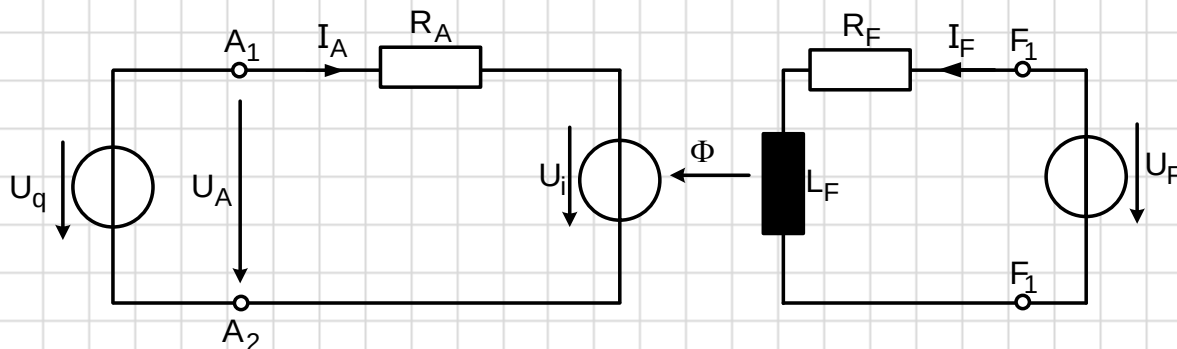
Aufgabe 6.1

a) Vorteil: Hohes Anlaufmoment. Gute Regelbarkeit.

Nachteil: Kommutator und Kohlebürsten → Verschleiß, Kommutierung.

Aufgabe 6.2

a)



b) Stationäre Verhältnisse bei Gleichstrom. → An den Induktivitäten fallen keine Spannungen ab! (L_F physikalisch für Magnetfelderzeugung, aber elektrisch wirkungslos – kann auch weggelassen werden).

Aufgabe 6.3

a) $P_{\text{mech},i,AP1} = U_{i,AP1} \cdot I_{A,AP1} = 260 \text{ V} \cdot 45 \text{ A} = 11,70 \text{ kW}$

$$P_{V,R,AP1} = P_{\text{mech},i,AP1} - P_{\text{mech},AP1} = 11,70 \text{ kW} - 11,20 \text{ kW} = 500 \text{ W}$$

$$M_{R,AP1} = \frac{P_{R,AP1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{AP1}} = \frac{500 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2.250 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 2,12 \text{ Nm}$$

$$(c \cdot \Phi)_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{AP1}} = \frac{260 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2.250 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 1,1035 \text{ Vs}$$

$$R_A = \frac{U_{A,AP1} - U_{i,AP1}}{I_{A,AP1}}$$

$$R_A = \frac{296 \text{ V} - 260 \text{ V}}{45 \text{ A}} = 0,8 \Omega$$

Aufgabe 6.4

$$a) \quad M_{i,N} = (c \cdot \Phi)_{AP1} \cdot I_{A,N} = 1,1035 \text{ Vs} \cdot 50 \text{ A} = 55,175 \text{ Nm}$$

$$M_N = M_{i,N} - M_R = 55,175 \text{ Nm} - 2,12 \text{ Nm} \approx 53,01 \text{ Nm}$$

Aus der Leistungsbilanz folgt:

$$U_{A,N} \cdot I_{A,N} = R_A \cdot I_{A,N}^2 + P_{\text{mech},i,N} \quad \text{mit} \quad P_{\text{mech},i,N} = 2 \cdot \pi \cdot M_{i,N} \cdot n_N$$

$$n_N = \frac{U_{A,N} \cdot I_{A,N} - R_A \cdot I_{A,N}^2}{2 \cdot \pi \cdot M_{i,N}} = \frac{380 \text{ V} \cdot 50 \text{ A} - 0,8 \Omega \cdot (50 \text{ A})^2}{2 \cdot \pi \cdot 55,175 \text{ Nm}} = 49,0373 \text{ s}^{-1}$$

$$n_N = 49,0373 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} \approx 2.942 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{\text{mech},N} = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot M_N = 2 \cdot \pi \cdot \frac{2.942 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} \cdot 53,01 \text{ Nm} = 16,33 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{GSM}} = \frac{P_{\text{mech},N}}{U_{A,N} \cdot I_{A,N} + R_F \cdot I_F^2} = \frac{16.330 \text{ W}}{380 \cdot 50 \text{ A} + 15 \Omega \cdot (5 \text{ A})^2} \approx 84 \%$$