

Aufg. 1.1:

Spannungen und Ströme (9 Punkte)

Lösung:

$$L \approx 159,15 \text{ mH} \quad C_2 \approx 63,66 \mu\text{F} \quad \varphi \approx +26,565^\circ \quad \hat{u}_2 \approx 141,421 \text{ V}$$

$$\underline{Z}_{\text{RC}} = (25 - j \cdot 25) \Omega$$

$$\underline{Z}_2 = (25 + j \cdot 25) \Omega$$

$$\underline{I}_0 = 2 \text{ A} - j \cdot 1 \text{ A}$$

$$\underline{I}_1 = j \cdot 1 \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = (2 - j \cdot 2) \text{ A}$$

Rechnung:

$$L = \frac{X_L}{2\pi \cdot f} = \frac{50 \Omega}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 159,15 \text{ mH}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_{C2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 50 \Omega} \approx 63,66 \mu\text{F}$$

$$\underline{Z}_{\text{RC}} = R \parallel \underline{Z}_{C2} = \frac{1}{\underline{Y}_{\text{RC}}} = \frac{50 \Omega}{1+j} = 50 \Omega \cdot \frac{1-j}{2} = (25 - j \cdot 25) \Omega$$

$$\text{Da } \underline{I}_V = 0 \text{ A gilt: } \underline{Z}_2 = \underline{Z}_L + \underline{Z}_{\text{RC}} = j \cdot 50 \Omega + (25 - j \cdot 25) \Omega = (25 + j \cdot 25) \Omega$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_2} = \frac{100 \text{ V}}{(25 + j \cdot 25) \Omega} = \frac{100 \text{ V}}{25 \Omega} \cdot \frac{1-j}{2} = 4 \text{ A} \cdot \frac{1-j}{2} = (2 - j \cdot 2) \text{ A}$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_{C1}} = \frac{100 \text{ V}}{-j \cdot 100 \Omega} = j \cdot 1 \text{ A} \quad \text{und somit} \quad \underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 2 \text{ A} - j \cdot 1 \text{ A}$$

$$\varphi = \varphi_{u0} - \varphi_{i0} = 0^\circ - \arctan\left(\frac{-1}{2}\right) \approx +26,565^\circ$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_0 - \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_2 = 100 \text{ V} - j \cdot 50 \Omega \cdot (2 - j \cdot 2) \text{ A} = 100 \text{ V} - j \cdot 100 \text{ V} - 100 \text{ V} = -j \cdot 100 \text{ V}$$

$$\text{ggf. auch: } \underline{U}_2 = \underline{Z}_{\text{RC}} \cdot \underline{I}_2 = \underline{Z}_{\text{RC}} \cdot \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_2} = \dots$$

$$\hat{u}_2 = \sqrt{2} \cdot |\underline{U}_2| = \sqrt{2} \cdot 100 \text{ V} \approx 141,421 \text{ V}$$

Aufg. 1.1: Spannungen und Ströme (Fortsetzung)

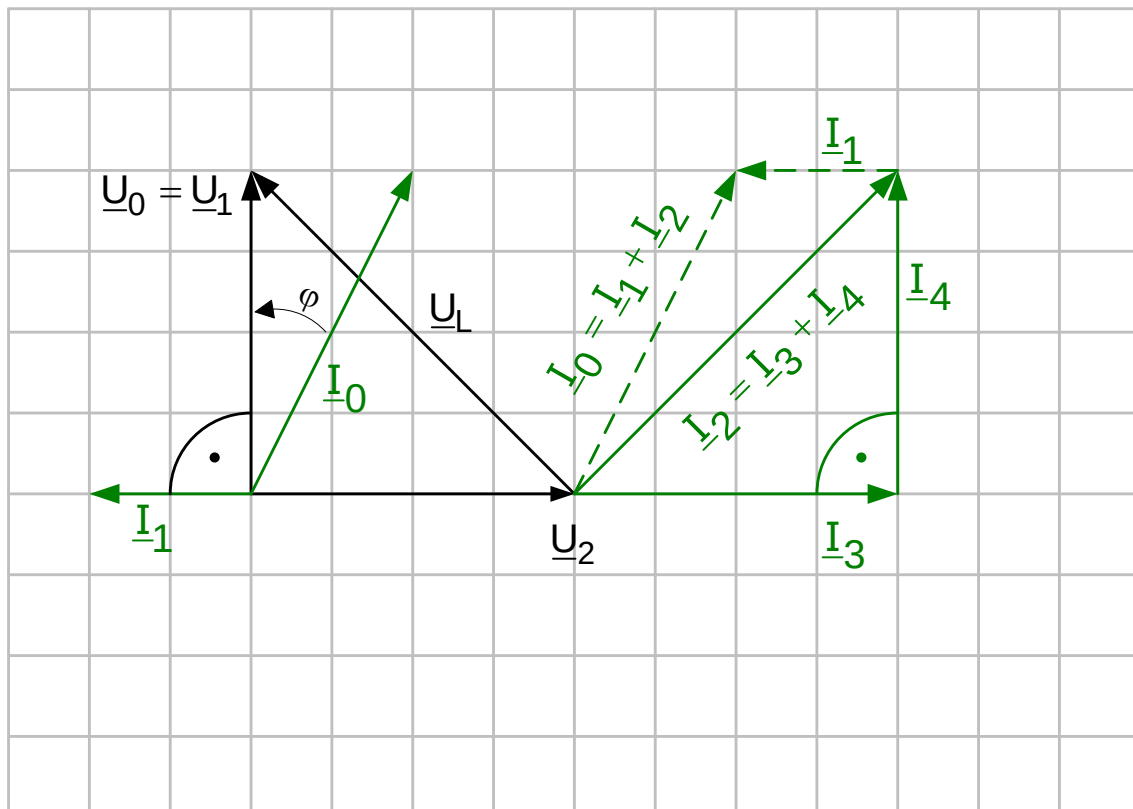
Rechnung: Fortsetzung

ODER alternativ:

$$\underline{Y}_{\text{ges}} = \underline{Y}_{C1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{j}{100\Omega} + \frac{1}{(25 + j \cdot 25)\Omega} = \frac{j}{100\Omega} + \frac{1}{25\Omega} \cdot \frac{1-j}{2} = \frac{j}{100\Omega} + \frac{1-j}{50\Omega}$$

$$= \frac{2-j}{100\Omega} = (20 - j \cdot 10)\text{mS}$$

$$\underline{I}_0 = \underline{Y}_{\text{ges}} \cdot \underline{U}_0 = \frac{2-j}{100\Omega} \cdot 100\text{V} = 2\text{A} - j \cdot 1\text{A}$$

Aufg. 1.2: Zeigerdiagramm (3 Punkte)

Aufg. 1.3:

Schein-, Wirk- und Blindleistung (8 Punkte)

Lösung:

$$P_0 = 150 \text{ W}$$

$$\underline{Y}_3 = (60 + j \cdot 20) \text{ mS}$$

$$Q_L = 500 \text{ var}$$

$$Q_0 = +225 \text{ var}$$

$$X_{C1\text{neu}} = 50 \Omega$$

Rechnung:

$$P_0 = \frac{U_V^2}{R} + \frac{U_V^2}{R_V} = \left(\frac{1}{50 \Omega} + \frac{1}{25 \Omega} \right) \cdot (50 \text{ V})^2 = \frac{3}{50} \cdot 50^2 \text{ W} = 150 \text{ W}$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{R} + \frac{1}{\underline{Z}_{C2}} + \frac{1}{R_V} = \frac{1}{50 \Omega} + \frac{j}{50 \Omega} + \frac{2}{50 \Omega} = \frac{3+j}{50 \Omega} = (60 + j \cdot 20) \text{ mS}$$

$$|\underline{I}_2| = |\underline{Y}_3| \cdot |\underline{U}_V| = \frac{|3+j|}{50 \Omega} \cdot 50 \text{ V} = |3 \text{ A} + j \cdot 1 \text{ A}| = \sqrt{9+1} \text{ A} = \sqrt{10} \text{ A}$$

$$Q_L = X_L \cdot |\underline{I}_2|^2 = 50 \Omega \cdot 10 \text{ A}^2 = 500 \text{ var}$$

$$Q_{C1} = -\frac{U_0^2}{X_{C1}} = \frac{-(150 \text{ V})^2}{100 \Omega} = -225 \text{ var} \quad Q_{C2} = -\frac{U_V^2}{X_{C2}} = \frac{-(50 \text{ V})^2}{50 \Omega} = -50 \text{ var}$$

$$Q_0 = Q_{C1} + Q_L + Q_{C2} = -225 \text{ var} + 500 \text{ var} - 50 \text{ var} = +225 \text{ var}$$

Anmerkung:

$$S_0 = |\underline{S}_0| = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} = \sqrt{150^2 + 225^2} \text{ VA} \approx 270,42 \text{ VA}$$

$$Q_{C1\text{neu}} = -(Q_L + Q_{C2}) = -500 \text{ var} + 50 \text{ var} = -450 \text{ var}$$

$$\Rightarrow X_{C1\text{neu}} = -\frac{U_0^2}{Q_{C1\text{neu}}} = \frac{-(150 \text{ V})^2}{-450 \text{ var}} = 50 \Omega$$

Alternativ über Gesamtadmittanz:

$$\underline{Y}_{\text{ges}} \in \mathbb{R} \Rightarrow \underline{Y}_{C1\text{neu}} = \frac{j}{X_{C1\text{neu}}} = -j \cdot \text{Im}\{\underline{Y}_3\} = \frac{+j}{50 \Omega}$$

$$\Leftrightarrow X_{C1\text{neu}} = 50 \Omega$$

Aufg. 2.1:

Netzumformung (5 Punkte)

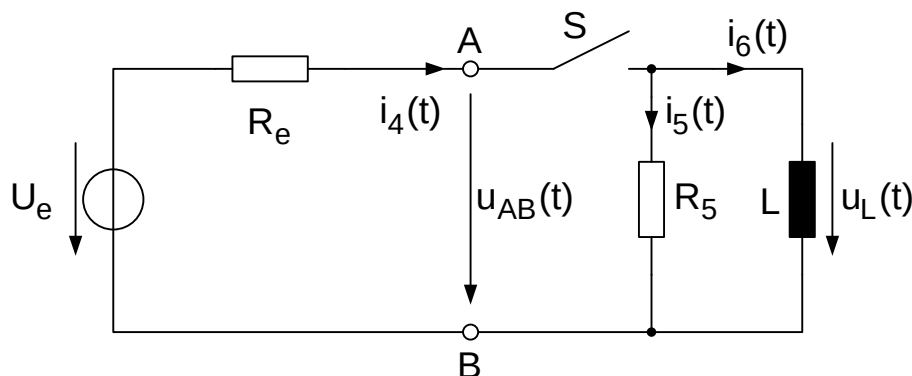
Lösung:

$U_e = 60 \text{ V}$

$R_e = 30 \Omega$

$i_{4,KS} = 2 \text{ A}$

ESB mit Ersatzspannungsquelle:



Rechnung:

$$R_{23} = R_2 \parallel R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 90}{10 + 90} \Omega = \frac{900}{100} \Omega = 9 \Omega$$

$$\text{Leerlauf } (i_4=0): U_e = U_{AB,LL} = U_0 \cdot \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} = 180 \text{ V} \cdot \frac{9 \Omega}{18 \Omega + 9 \Omega} = \frac{180 \text{ V}}{3} = 60 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Innenwiderstand: } R_e = R_{AB}|_{U=0 \text{ V}} &= (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + R_4 = (R_1 \parallel R_{23}) + R_4 \\ &= \frac{18 \Omega \cdot 9 \Omega}{18 \Omega + 9 \Omega} + 24 \Omega = \frac{18 \Omega}{3} + 24 \Omega = 30 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{Kurzschlussstrom } (U_{AB}=0): i_{4,KS} = \frac{U_e}{R_e} = \frac{60 \text{ V}}{30 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Alternativ: } i_{4,KS} &= \frac{U_{23}}{R_4} = \frac{1}{R_4} \cdot \frac{R_{234} \cdot U_0}{R_1 + R_{234}} = \frac{R_{23} \cdot U_0}{(R_{23} \cdot R_4) \cdot R_1 + R_{23} \cdot R_4} \\ &= \frac{9 \Omega \cdot 180 \text{ V}}{(9 \Omega + 24 \Omega) \cdot 18 \Omega + 9 \Omega \cdot 24 \Omega} = \frac{180 \text{ V}}{90 \Omega} = 2 \text{ A} \end{aligned}$$

Aufg. 2.2:

Einschaltvorgang (15 Punkte)

Rechnung und Lösungen:

Parallelschaltung: $u_{AB}(t) = R_0 \cdot i_q(t) = R_5 \cdot i_5(t) = u_L(t) = L \cdot \frac{di_6(t)}{dt}$

KG: $I_0 = i_q(t) + i_5(t) + i_6(t) = \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_5} \right) u_L(t) + i_6(t) = \frac{u_L(t)}{R_{05}} + i_6(t)$

Wobei $R_{05} = \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_5} \right)^{-1} = R_0 \parallel R_5 = \frac{R_0 \cdot R_5}{R_0 + R_5} = \frac{30 \Omega}{3} = 10 \Omega$

Inhomogene DGL 1. Ordnung: $I_0 = \frac{L}{R_{05}} \cdot \frac{di_6(t)}{dt} + i_6(t)$

Aus Ansatz: $i_6(t) = a \cdot \exp\left(-\frac{t-0}{\tau_1}\right) + b \Rightarrow \frac{di_6(t)}{dt} = -\frac{a}{\tau_1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right)$

In DGL: $I_0 = -\frac{L}{R_{05} \cdot \tau_1} \cdot a \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + a \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + b = \left(1 - \frac{L}{R_{05} \cdot \tau_1}\right) \cdot a \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + b$

$b = \text{const.} \quad \forall \quad I_0 = \text{const.} \neq f(t) \Rightarrow b = I_0 = 3 \text{ A}$

Anfangsbedingung: $i_6(t=0) = a + b = 0 \Rightarrow a = -b = -I_0 = -3 \text{ A}$

DGL muss gelten $\forall t$: $1 - \frac{L}{R_{05} \cdot \tau_1} = 0 \Leftrightarrow \tau_1 = \frac{L}{R_{05}} = \frac{60 \text{ mH}}{10 \Omega} = 6 \text{ ms}$

Folglich für $t > t_{\text{ein}}$: $i_6(t) = I_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right)\right) = 3 \text{ A} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{6 \text{ ms}}\right)\right)$

Somit:

$u_L(t) = L \cdot \frac{di_6(t)}{dt} = L \cdot \frac{I_0}{\tau_1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) = R_{05} \cdot I_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) = 30 \text{ V} \cdot \exp\left(-\frac{t}{6 \text{ ms}}\right)$

$i_q(t) = \frac{u_L(t)}{R_0} = \frac{30 \text{ V}}{30 \Omega} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) = 1 \text{ A} \cdot \exp\left(-\frac{t}{6 \text{ ms}}\right) \quad i_5(t) = \frac{u_L(t)}{R_5} = 2 \text{ A} \cdot \exp\left(-\frac{t}{6 \text{ ms}}\right)$

$i_4(t) = I_0 - i_q(t) = 3 \text{ A} - 1 \text{ A} \cdot \exp\left(-\frac{t}{6 \text{ ms}}\right)$

$i_6(t \rightarrow \infty) \rightarrow I_0 = 3 \text{ A}$

$i_6(t_x) = I_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t_x}{\tau_1}\right)\right) = 0,99 \cdot I_0$

$\Leftrightarrow 1 - \exp\left(-\frac{t_x}{\tau_1}\right) = 0,99 \Leftrightarrow \exp\left(-\frac{t_x}{\tau_1}\right) = 0,01 \Leftrightarrow \exp\left(\frac{+t_x}{\tau_1}\right) = 100$

$\Leftrightarrow t_x = \tau_1 \cdot \ln(100) \approx 27,631 \text{ ms}$

Aufg. 3:

Kurz- und Verständnisfragen zu EET1 (10 Punkte)

Pro Frage darf maximal EIN Kreuz gesetzt werden.

a) ☐ $\frac{1}{3} \cdot C_1$

☒ $\frac{2}{3} \cdot C_1$

☐ $3 \cdot C_2$

☐ „ich weiß es nicht“

b) ☒ $\varphi = +33^\circ$

☐ $\varphi = 180^\circ$

☐ $\varphi = -\frac{\pi}{4}$

☐ „ich weiß es nicht“

c) ☐ 1750 mJ

☐ 350 mJ

☒ 0,875 Ws

☐ „ich weiß es nicht“d) ☐ durch einen Leerlauf☒ durch einen Kurzschluss☐ durch einen Widerstand☐ „ich weiß es nicht“e) ☐ maximal☒ minimal☐ genauso groß wie bei allen anderen Frequenzen☐ „ich weiß es nicht“

Aufg. 4:

Kurz- und Verständnisfragen zu EET2 (10 Punkte)

Pro Frage darf maximal EIN Kreuz gesetzt werden.

- a) ☐ 1200 min^{-1} und 1500 min^{-1}
☒ 3000 min^{-1} und 300 min^{-1}
☐ 2400 min^{-1} und 1200 min^{-1}
☐ „ich weiß es nicht“
- b) ☐ nein, nicht möglich
☐ ja, mit $p = 2,5$
☒ ja, mit $p = 3$
☐ „ich weiß es nicht“
- c) ☐ Der Kollektorstrom ist linear abhängig von der Kollektor-Emitter-Spannung.
☒ Der Kollektorstrom ist linear abhängig vom Basisstrom.
☐ Die Kollektor-Emitter-Strecke entspricht einer Diode in Durchlassrichtung.
☐ „ich weiß es nicht“
- d) ☐ Die Leiterströme sind gleich.
☐ Die Strangströme im Verbraucher sind gleich.
☒ Die Leistung ist um den Faktor 3 verschieden.
☐ „ich weiß es nicht“
- e) ☐ 0
☐ 1
☒ 100.000
☐ „ich weiß es nicht“

Aufg. 5.1:

Allgemein (2 Punkte)

VORTEIL:

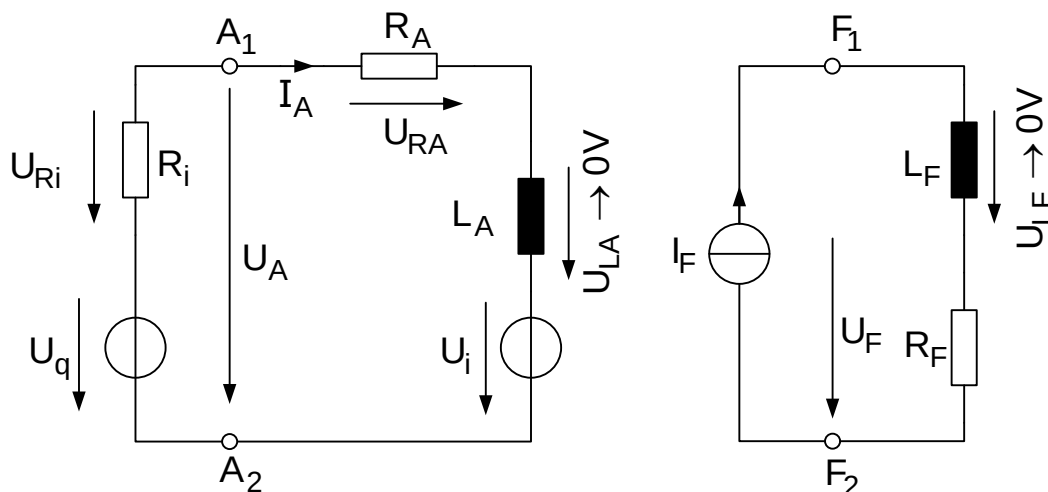
- „Zweite“ Regelmöglichkeit Erregerstrom
- Einstellbares magnetisches Feld
-

NACHTEIL:

- Mehr Verluste durch Erregerwicklung

Aufg. 5.2:

Elektrisches Ersatzschaltbild (4 Punkte)



Aufg. 5.3:

Maschinendaten (7 Punkte)

Lösung: $c \cdot \Phi_{AP1} = 1,1035Vs$

$$R_A = 0,8\Omega$$

$$U_{q,AP1} = 305V$$

Rechnung:

$$U_i = c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$c \cdot \Phi_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2\pi \cdot n_{AP1}} = \frac{260V}{2\pi \cdot 2250\text{min}^{-1} \cdot \frac{1\text{min}}{60s}} = 1,1035Vs$$

Erst Strom ausrechnen:

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

$$I_{A,AP1} = \frac{P_{ab,AP1}}{U_{i,AP1}} = \frac{11700W}{260V} = 45A$$

Maschengleichung in der Maschine:

$$U_A = R_A \cdot I_A + U_i$$

$$R_A = \frac{U_{A,AP1} - U_{i,AP1}}{I_{A,AP1}} = \frac{296V - 260V}{45A} = 0,8\Omega$$

Maschengleichung außerhalb:

$$U_q = R_i \cdot I_A + U_A$$

$$U_{q,AP1} = R_i \cdot I_{A,AP1} + U_{A,AP1} = 0,2\Omega \cdot 45A + 296V = 305V$$

Aufg. 5.4:

Nennbetrieb (7 Punkte)

Lösung:

$$M_N = 57,38 \text{ Nm}$$

$$P_{ab,N} = 17056 \text{ W}$$

$$\eta_N = 86\%$$

Rechnung:

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_A$$

$$M_N = c \cdot \Phi_N \cdot I_{A,N} = 1,1035 \text{ Vs} \cdot 52 \text{ A} = 57,38 \text{ Nm}$$

$$I_{A,N} = \frac{U_{A,N} - U_{i,N}}{R_A} = \frac{4,2 \text{ V} - 3,2 \text{ V}}{2 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

Aus Leistungsbilanz:

$$P_{ab,N} = P_q - P_{Ri} - P_{RA}$$

$$\begin{aligned} P_{ab,N} &= U_{q,N} \cdot I_{A,N} - R_i \cdot (I_{A,N})^2 - R_A \cdot (I_{A,N})^2 \\ &= 380 \text{ V} \cdot 52 \text{ A} - 0,2 \Omega \cdot (52 \text{ A})^2 - 0,8 \Omega \cdot (52 \text{ A})^2 \\ &= 19760 \text{ W} - 540,8 \text{ W} - 2163,2 \text{ W} \\ &= 17056 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\eta_N = \frac{P_{ab,N}}{P_{auf,N}} = \frac{P_{ab,N}}{P_{q,N} + P_{F,N}}$$

$$\eta_N = \frac{17056 \text{ W}}{380 \text{ V} \cdot 52 \text{ A} + 2 \Omega \cdot (6 \text{ A})^2} = \frac{17056 \text{ W}}{19760 \text{ W} + 72 \text{ W}} = 86\%$$

Aufg. 6.1:

Signalaufbereitung (5 Punkte)

Grundschialtung: Nicht-Invertierender Verstärker

Lösung: $R_a = 9466 \frac{2}{3} \Omega$

$u_1(i_m = 8\text{mA}) = 6\text{V}$

$R_b = 533 \frac{1}{3} \Omega$

$u_1(i_m = 4\text{mA}) = 3\text{V}$

Rechnung:

$u_1 = v \cdot u_m = v \cdot (i_m \cdot R_m)$

Vorgabe: $u_1(i_m = 20\text{mA}) = +15\text{V}$ ergibt

$v \cdot (i_m \cdot R_m) = +15\text{V}$

$v \cdot (20\text{mA} \cdot 40\Omega) = +15\text{V}$

$$v = \frac{15\text{V}}{0,8\text{V}} = 18,75$$

Somit: $v = \frac{15\text{V}}{0,8\text{V}} = 1 + \frac{R_a}{R_b} = \frac{R_b + R_a}{R_b} = \frac{10\text{k}\Omega}{R_b}$

also: $R_b = \frac{10\text{k}\Omega}{v} = \frac{10\text{k}\Omega}{18,75} = 533 \frac{1}{3} \Omega$

$R_a = 10\text{k}\Omega - R_b = 9466 \frac{2}{3} \Omega$

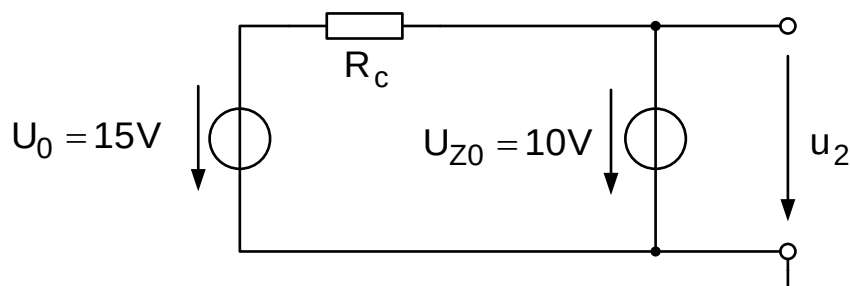
$u_1(i_m) = v \cdot (i_m \cdot R_m) = v \cdot R_m \cdot i_m = 750\Omega \cdot i_m$

$u_1(i_m = 8\text{mA}) = 750\Omega \cdot 8\text{mA} = 6\text{V}$

$u_1(i_m = 4\text{mA}) = 750\Omega \cdot 4\text{mA} = 3\text{V}$

Aufg. 6.2:

Referenzspannungserzeugung (5 Punkte)

Lin. ESB: $R_{DZ} = 0\Omega$ braucht nicht mit rein... ideale Diode auch nicht mit drin

Aufg. 6.2:

Referenzspannungserzeugung - Fortsetzung

Lösung:

$$u_2(R_c) = 10V$$

$$R_c = 200\Omega$$

Rechnung:

Der dynamische Zenerwiderstand ist 0, daher verhält sich die Zenerdiode wie eine ideale Spannungsquelle mit:

$$u_2(R_c) = U_{Z0} = 10V \quad \text{fertisch}$$

Verlustleistung:

Erstmal den maximalen Strom aus der Verlustleistung: $P_Z = i_Z \cdot u_2 = i_Z \cdot U_{Z0}$

$$\text{Ergibt: } i_{Z,\max} = \frac{P_{Z,\max}}{U_{Z0}} = \frac{0,25W}{10V} = 25mA$$

Maschenregel für den Widerstand:

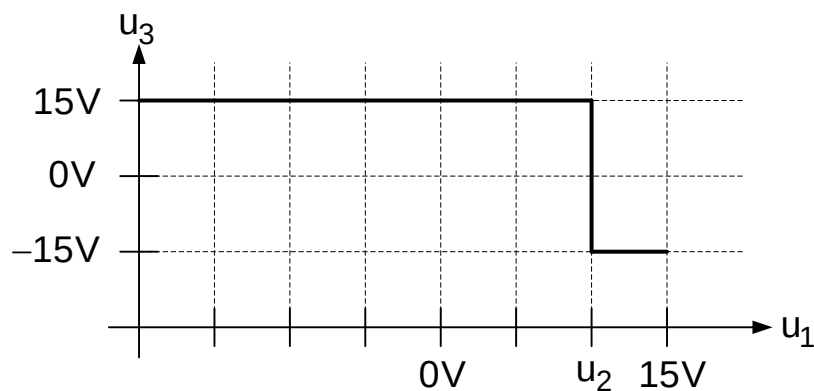
$$U_0 = i_Z \cdot R_c + U_{Z0}$$

$$15V = 25mA \cdot R_c + 10V$$

$$R_c = 200\Omega$$

Aufg. 6.3:

Komparatorstufe (2 Punkte)



Aufg. 6.4:

LED-Stufe (5 Punkte)

Lösung:

$u_{3,AP1} = 15V$

$u_{3,AP2} = -15V$

Nebenrechnungen:

$$AP1: i_{m,AP1} = 4mA \rightarrow u_{1,AP1} = 3V \quad \rightarrow \quad u_{3,AP1} = 15V$$

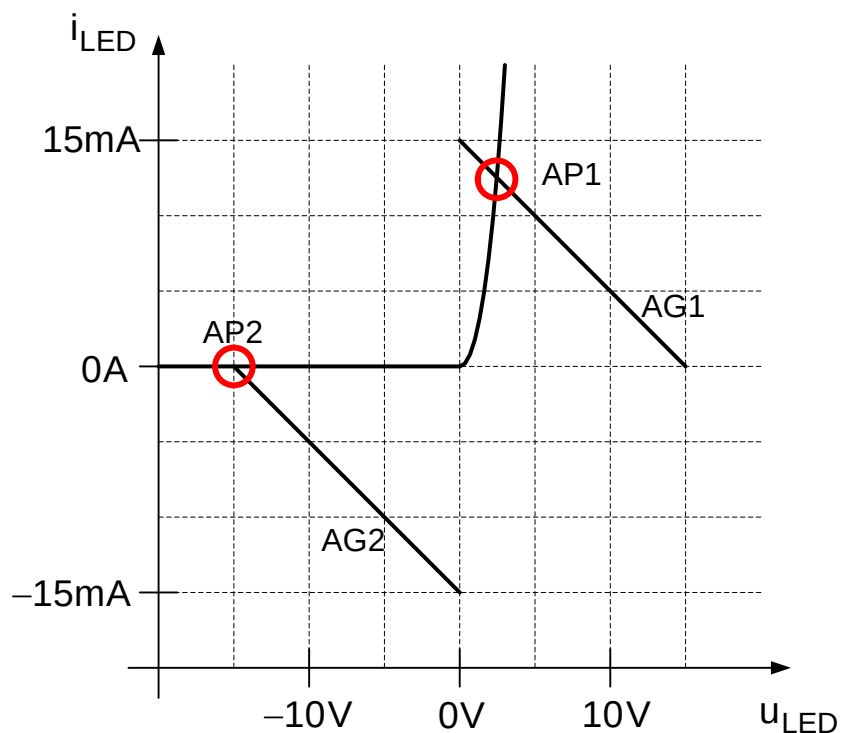
$$AP2: i_{m,AP2} = 20mA \rightarrow u_{1,AP2} = 15V \quad \rightarrow \quad u_{3,AP2} = -15V$$

Für Arbeitsgeraden: Jeweils Leerlaufspannung ($u_{AGx,LL} = u_{3,APx}$) bei 0A

und Kurzschlussstrom $I_{AGx,KS} = \frac{u_{3,APx}}{R_d}$ bei Spannung 0V

AG1: (15V/0A) und (0V/15mA)

AG2: (-15V/0A) und (0V/-15mA)



Abgelesen:

$i_{LED,AP1} = 12,5mA$

$i_{LED,AP2} = 0A$

Aufg. 6.5:

Ersatz für die Komparatorstufe (3 Punkte)

Grundschialtung: Schmitt-Trigger (invertierend)

Mit $u_2 = u_{\text{ref}}$ und $u_1 = u_{\text{signal}}$ 