

Aufgabe 1.1: Ersatzspannungsquelle (6 Punkte)

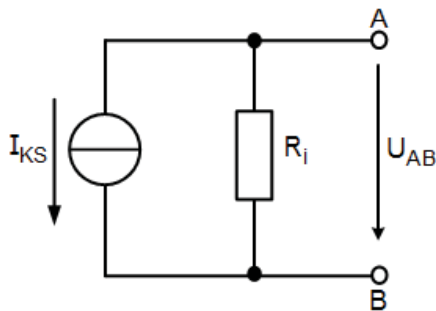
a) Spannung U_{AB} , Ersatzwiderstand R_{AB} , Kurzschlussstrom I_{KS} :

$$U_{AB} = - \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \cdot I_q$$

$$R_{AB} = R_5 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_{KS} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = - \frac{I_q \cdot R_3 \cdot R_4}{R_5 \cdot (R_3 + R_4) + R_3 \cdot R_4}$$

b) Ersatzschaltbild der Ersatzstromquelle:



Quellstrom:

$$I_{q,ESQ} = I_{KS}$$

Innenwiderstand:

$$R_i = R_{AB}$$

Aufgabe 1.2: Ströme, Spannungen, Leistungen (14 Punkte)

a) Knotengleichung (KG), Maschengleichung (MG), Ströme I_1 und I_2 :

KG: $I_q = I_0 + I_1$

MG: $U_0 - U_1 + R_1 \cdot I_0 = 0$

Ströme: $U_1 - U_0 = R_1 \cdot I_0$

$$I_0 = \frac{U_1 - U_0}{R_1}$$

$$I_1 = I_q - I_0 = I_q - \frac{U_1 - U_0}{R_1}$$

b) Die Spannungsquelle U_0 soll weder Leistung aufnehmen noch abgeben:

Bedingung: $I_0 = 0 \text{ A}$

$$I_0 = \frac{U_1 - U_0}{R_1} = 0 \text{ A} \quad \text{ergibt:} \quad U_1 = U_0$$

c) Für den unter b) berechneten Fall I_1 , U_q , P_q , P_R berechnen:

$$I_1 = I_q$$

$$U_q = I_q \cdot (R_{34} + R_2) + U_1 = I_q \cdot \left(\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_2 \right) + U_1$$

$$\text{Stromquelle liefert:} \quad P_q = U_q \cdot I_q = I_q^2 \cdot \left(\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_2 \right) + I_q \cdot U_1$$

$$\text{Leistung in den Widerständen:} \quad P_R = I_q^2 \cdot R_2 + I_q^2 \cdot \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

$$P_q - P_R = I_q \cdot U_1 \quad \text{Entspricht der Leistung, die die Spannungsquelle } U_1 \text{ aufnimmt (Leistungsbilanz).}$$

Aufgabe 2.1**Allgemeines (4 Punkte)**

a) Die Schaltungsanalyse ist mit dem Überlagerungssatz möglich, weil:
es sich um ein lineares elektrisches Netzwerk handelt.

b) Behandlung der Quellen:

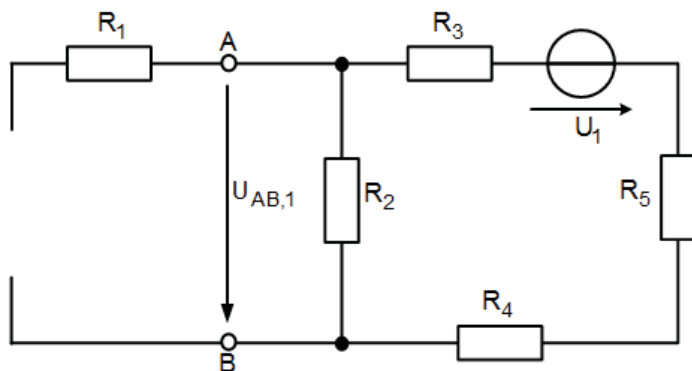
Stromquellen wirkungslos → durch Leerlauf (Unterbrechung) ersetzen.

Spannungsquellen wirkungslos → durch Kurzschluss ersetzen.

c) Überlagerung der Spannung U_{AB} aus Teilspannungen ist möglich, weil:
die Spannung eine lineare Größe ist und lineare Größen überlagert werden dürfen.

Aufgabe 2.2**Spannung U_{AB} (9 Punkte)**

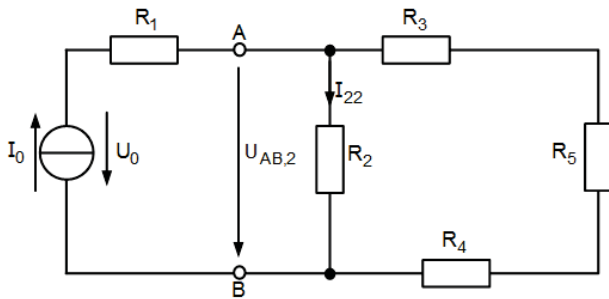
a) ESB für nur U_1 wirksam:



Teilspannung U_{AB1} :

Mit Spannungsteiler-Regel

$$U_{AB,1} = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

b) ESB, für nur I_0 wirksam:Teilspannung $U_{AB,2}$:

Ohmsches Gesetz:

$$U_{AB,2} = R_2 \cdot I_{22}$$

Mit Stromteiler-Regel:

$$U_{AB,2} = R_2 \cdot I_0 \cdot \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

$$U_{AB,2} = I_0 \cdot \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4 + R_5)}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

c) Spannung U_{AB} :

$$U_{AB} = U_{AB,1} + U_{AB,2} = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} + I_0 \cdot \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4 + R_5)}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

$$U_{AB} = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \cdot [U_1 + I_0 \cdot (R_3 + R_4 + R_5)]$$

Aufgabe 2.3**Spannungen, Ströme, Leistungen (7 Punkte)**a) Spannung U_1 , sodass $U_{AB} = 0$ V:Aus obiger Gleichung folgt, dass $U_{AB} = 0$ V, wenn der Klammerausdruck null wird:

$$[U_1 + I_0 \cdot (R_3 + R_4 + R_5)] = 0 \text{ V} \quad \text{für} \quad U_1 = -I_0 \cdot (R_3 + R_4 + R_5)$$

b) Spannung U_0 , wenn $U_{AB} = 0$ V:Durch R_1 fließt der Quellstrom I_0 , daher aus MR:

$$U_0 = R_1 \cdot I_0 + \underbrace{U_{AB}}_{=0} = R_1 \cdot I_0$$

c) Begründungen, weshalb Quellen I_0 und U_1 Leistung abgeben:

Strom I_0 und Spannung U_0 an der Quelle entgegengesetzt gepfeilt (Erzeugerzählpfeilsystem) und I_0 und U_0 positiv, d.h. die Quelle I_0 gibt Leistung ab!

Da $U_{AB} = 0 \text{ V}$ gilt, fließt durch R_2 kein Strom durch. Der Strom I_0 muss also über den Zweig mit R_3 , U_1 , R_4 und R_5 fließen.

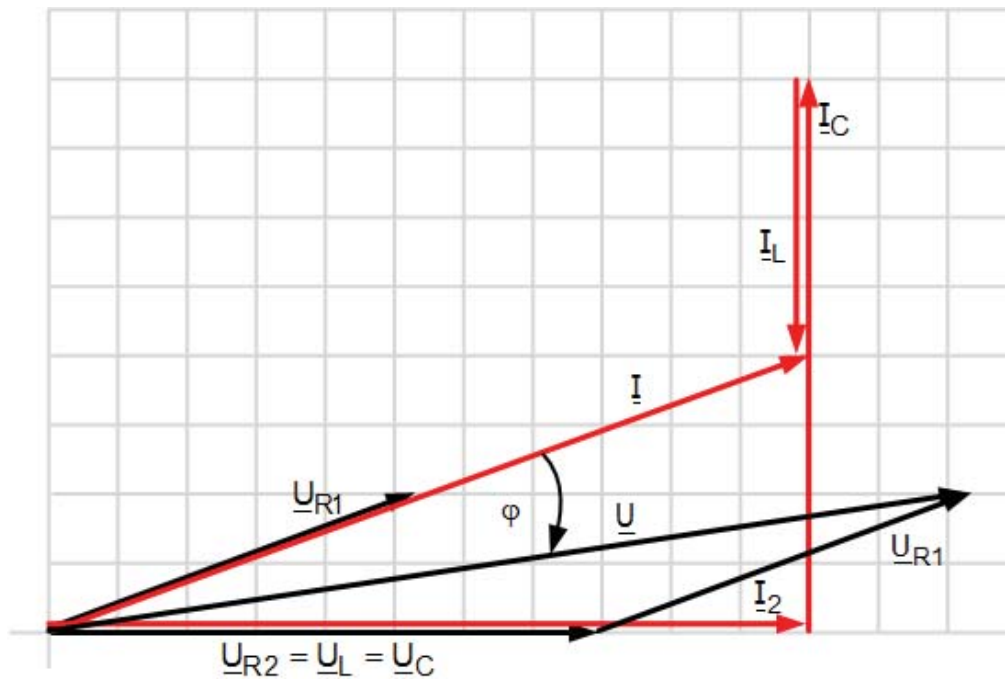
An der Spannungsquelle sind Strom und Spannung U_1 gleichgerichtet gepfeilt (Verbraucherzählpfeilsystem). Da U_1 negativ ist, ist das Produkt aus U_1 und I_0 negativ, was nach dem Verbraucherzählpfeilsystem einer abgegebenen Leistung entspricht.

d) Was passiert mit der von den Quellen I_0 und U_1 abgegebenen Leistungen?

Die Summe der von den Quellen abgegebenen Leistungen wird in den ohmschen Widerständen R_1 , R_3 , R_4 und R_5 in Wärme umgewandelt.

Aufgabe 3.1: Zeigerdiagramm (5 Punkte)

a) Zeigerdiagramm:



b) Die Schaltung wirkt:

ohmsch-kapazitiv, da $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ φ wird von $\underline{I}$ nach $\underline{U}$ gepfeilt.**Aufgabe 3.2: Impedanzen (6 Punkte)**a) Blindwiderstand X_C , sodass $I_C = 2 \cdot I_L$:Da $U_C = U_L = U_{R2}$ ist, muss $X_C = \frac{1}{2} \cdot X_L$ sein, damit $I_C = 2 \cdot I_L$ wird, also

$$X_C = \frac{1}{2} \cdot X_L = \frac{1}{2} \cdot 60 \, \Omega = 30 \, \Omega$$

b) Ersatzimpedanzen $\underline{Z}_{LC}$, $\underline{Z}_{RLC}$ und $\underline{Z}$:

$$\underline{Z}_{LC} = \frac{\underline{Z}_L \cdot \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C} = \frac{-j^2 \cdot X_L \cdot X_C}{j(X_L - X_C)} = -j \cdot \frac{1.800 \, \Omega^2}{30 \, \Omega} = -j \cdot 60 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_{RLC} = \frac{R_2 \cdot \underline{Z}_{LC}}{R_2 + \underline{Z}_{LC}} = \frac{30 \, \Omega \cdot (-j \cdot 60 \, \Omega)}{30 \, \Omega - j \cdot 60 \, \Omega} = \frac{-j \cdot 1.800 \, \Omega^2}{67,08 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 63,43^\circ}}$$

$$\underline{Z}_{RLC} = 26,83 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 26,57^\circ} = (24 - j \cdot 12) \, \Omega$$

$$\underline{Z} = R_1 + \underline{Z}_{RLC} = 20 \, \Omega + (24 - j \cdot 12) \, \Omega = (44 - j \cdot 12) \, \Omega$$

Aufgabe 3.3:**Strom, Leistung, Spannung (9 Punkte)**

a) Strom $\underline{I}$, komplexe Scheinleistung $\underline{S}$, Wirkleistung P und Blindleistung Q :

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100 \, V}{(44 - j \cdot 12) \, \Omega} = \frac{100 \, V}{45,61 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 15,26^\circ}} = 2,19 \, A^{j \cdot 15,26^\circ}$$

$$\underline{I} = (2,11 + j \cdot 0,58) \, A$$

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 100 \, V \cdot (2,11 - j \cdot 0,58) \, A = (211 - j \cdot 58) \, VA$$

$$P = \operatorname{Re}\{\underline{S}\} = 211 \, W$$

$$Q = \operatorname{Im}\{\underline{S}\} = -58 \, \text{var} \quad \text{kapazitive Blindleistung, da } Q < 0 \, \text{var}$$

$$\underline{U}_{R1} = R_1 \cdot \underline{I} = 20 \, \Omega \cdot (2,11 + j \cdot 0,58) \, A = (42,2 + j \cdot 11,6) \, V$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{U} - \underline{U}_{R1} = 100 \, V - (42,2 + j \cdot 11,6) \, V = (57,8 - j \cdot 11,6) \, V$$

b) Blindleistung Q auf andere Art als in a) berechnen:

Aus Teilblindleistungen:

$$\text{Mit } U_{R2} = |\underline{U}_{R2}| = |(57,8 - j \cdot 11,6) \, V| = \sqrt{(57,8 \, V)^2 + (11,6 \, V)^2} = 58,9 \, V$$

$$Q = Q_L - Q_C = \frac{U_{R2}^2}{X_L} - \frac{U_{R2}^2}{X_C} = \frac{(58,9 \, V)^2}{60 \, \Omega} - \frac{(58,9 \, V)^2}{30 \, \Omega} = -57,8 \, \text{var}$$

Aufgabe 4.1:	Allgemeinverständnis (4 Punkte)
a) Wechselgröße, Mischgröße:	Wechselgröße: Polarität wechselt in regelmäßiger Wiederholung und zeitlicher Mittelwert ist null. Mischgröße: Größe aus überlagertem Gleich- und Wechselanteil.
b) Zweck von R_1 und R_C :	R_1 und R_C werden zur Arbeitspunkt-Einstellung benötigt.
c) Zweck von C_e und C_a :	Sie werden zum Ein- bzw. Auskoppeln der Wechselspannungsanteile benötigt. Sie „blockieren“ Gleichspannungsanteile.
Aufgabe 4.2:	Daten aus dem Kennlinienfeld (7 Punkte)
a) Arbeitspunkt korrekt?	Ja, der AP ist korrekt eingestellt, da $U_{CE(AP)} = 6 \text{ V} = \frac{1}{2} \cdot U_{Bat} = \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ V}$
b) U_{Bat} und R_C :	U_{CE}-Achsenabschnitt liefert U_{Bat}: $U_{Bat} = 12 \text{ V}$ I_C-Achsenabschnitt: $I_C = \frac{U_{Bat}}{R_C} = 100 \text{ mA}$ Damit: $R_C = \frac{U_{Bat}}{I_C} = \frac{12 \text{ V}}{100 \text{ mA}} = 120 \Omega$
c) Stromverstärkungen $B = \beta$:	$B = \beta = \frac{I_{C(AP)}}{I_{B(AP)}} = \frac{50 \text{ mA}}{200 \mu\text{A}} = 250$

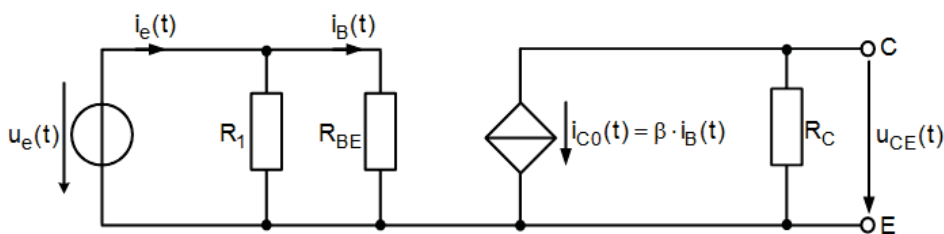
d) Basis-Emitter-Widerstand R_{BE} unter der Maßgabe, dass $R_1 = 56,8 \text{ k}\Omega$:

$$\text{MR: } U_{\text{Bat}} = R_1 \cdot I_{B(\text{AP})} + R_{BE} \cdot I_{B(\text{AP})} + U_{BE0}$$

$$R_{BE} = \frac{U_{\text{Bat}} - R_1 \cdot I_{B(\text{AP})} - U_{BE0}}{I_{B(\text{AP})}} = \frac{12 \text{ V} - 56,80^3 \Omega \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ A} - 0,62 \text{ V}}{200 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = 200 \Omega$$

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (9 Punkte)

a) Wechselstromersatzschaltbild:



b) Berechnen von $\hat{i}_B$, $\hat{u}_{CE}$ und Spannungsverstärkung v_U :

$$\hat{i}_B = \frac{\hat{u}_e}{R_{BE}} = \frac{20 \text{ mV}}{200 \Omega} = 100 \mu\text{A}$$

$$\hat{i}_C = \beta \cdot \hat{i}_B = 250 \cdot 100 \mu\text{A} = 25 \text{ mA}$$

$$\hat{u}_{CE} = R_C \cdot \hat{i}_C = 120 \Omega \cdot 25 \text{ mA} = 3 \text{ V}$$

$$v_U = \frac{\hat{u}_{CE}}{\hat{u}_e} = \frac{3 \text{ V}}{20 \text{ mV}} = 150$$

c) Maximale Signalamplitude $\hat{u}_{e,\max}$ für unverzerrtes Ausgangssignal:

$$\hat{u}_{CE,\max} = \frac{1}{2} \cdot U_{\text{Bat}} = \frac{12 \text{ V}}{2} = 6 \text{ V} \quad \hat{u}_{e,\max} = \frac{\hat{u}_{CE,\max}}{v_U} = \frac{6 \text{ V}}{150} = 40 \text{ mV}$$

Genau nach Kennlinienfeld: $\hat{u}_{CE,\max} = 4 \text{ V}$ abgelesen $\hat{u}_{e,\max} = \frac{4 \text{ V}}{150} \approx 26 \text{ mV}$

Aufgabe 5.1:	Verständnisfragen (4 Punkte)
---------------------	-------------------------------------

a) OP-Grundschialtung:

Komparator, da OP ohne Rück-Kopplung.

b) R wird benötigt für:

R dient als Vorwiderstand für die LED zur Strombegrenzung, d.h. zur Arbeitspunkt-Einstellung.

c) Minimalwert und Maximalwert von $u_a(t)$:

$$u_{a,\max} = +U_V = 15 \text{ V} \quad \text{und} \quad u_{a,\min} = -U_V = -15 \text{ V}$$

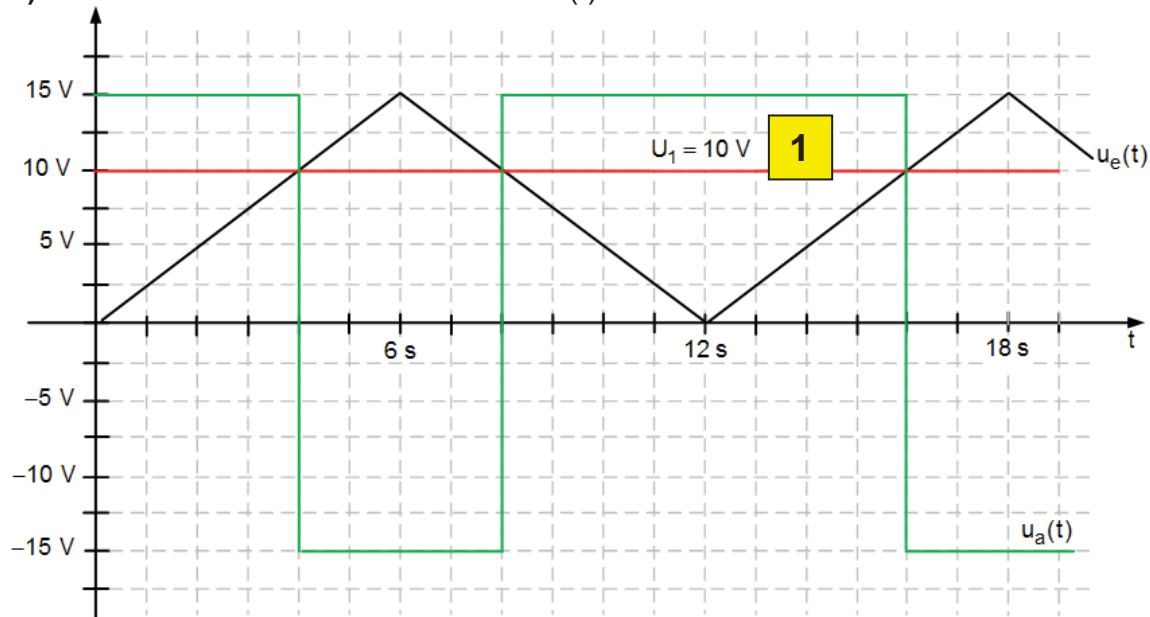
Aufgabe 5.2:	Spannungsverlauf von $u_a(t)$ (6 Punkte)
---------------------	--

a) Differenzspannung $u_d(t)$ und $u_a(t)$ in Abhängigkeit von $u_d(t)$:

$$u_d(t) = U_1 - u_e(t)$$

$$u_a(t) = \begin{cases} +U_V & \text{für } u_d(t) > 0 \text{ V, d.h. für } U_1 > u_e(t) \\ 0 \text{ V} & \text{für } u_d(t) = 0 \text{ V, d.h. für } U_1 = u_e(t) \\ +U_V & \text{für } u_d(t) < 0 \text{ V, d.h. für } U_1 < u_e(t) \end{cases}$$

b) Zeitliche Verläufe: $U_1 = 10 \text{ V}$ und $u_a(t)$ einzeichnen



Aufgabe 5.3: **Anzeige mit einer LED (10 Punkte)**

a) Dimensionierung von R:

LED leuchtet, wenn $u_a(t)$ positiv ist, d.h. 15 V beträgt:

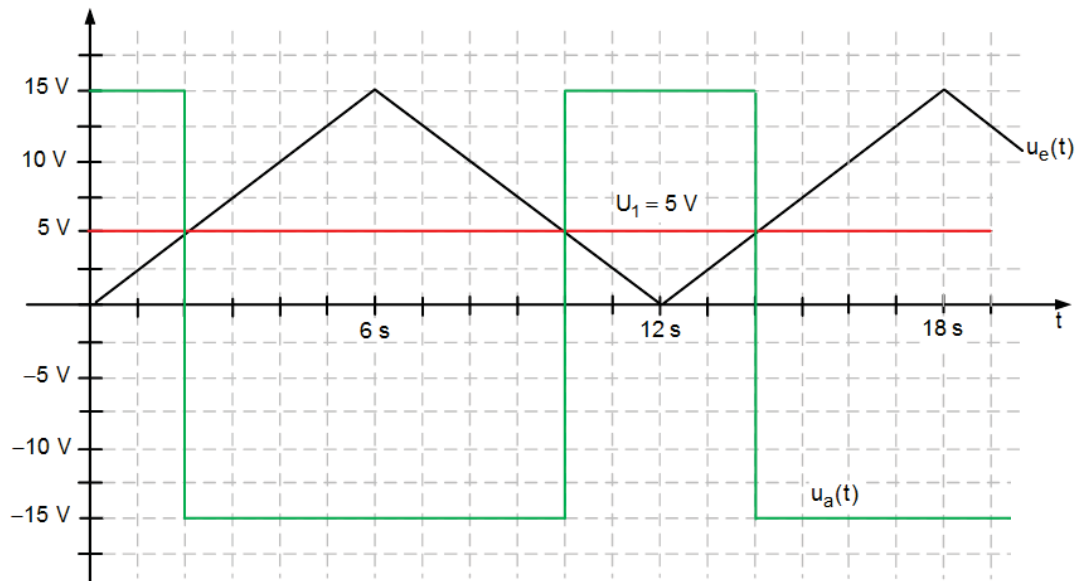
$$R = \frac{U_V - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15 \text{ V} - 2 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 650 \Omega$$

b) Bei $U_1 = 10 \text{ V}$ ist die LED an / aus für:

LED ist an (leuchtet) für 8 s

LED ist aus (leuchtet nicht) für 4 s

c) Zeitliche Verläufe für $U_1 = 5 \text{ V}$: $U_1 = 5 \text{ V}$ und $u_a(t)$ einzeichnen



LED ist an (leuchtet) für 4 s

LED ist aus (leuchtet nicht) für 8 s

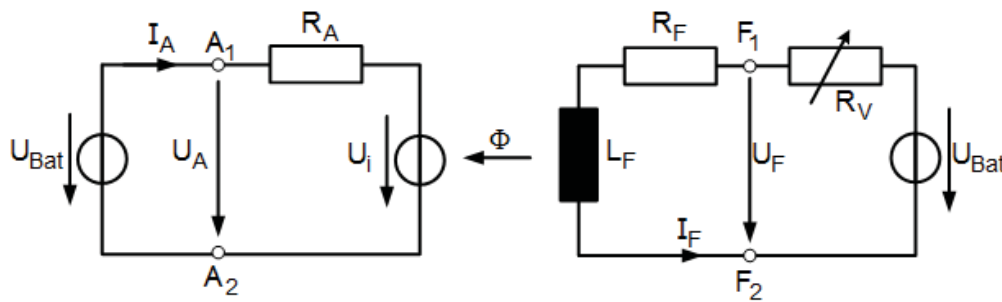
b) U_1 , sodass LED „Dauer-An“ bzw. „Dauer-Aus“:

„Dauer-An“: $u_a(t) = 15 \text{ V}$ (dauernd), d.h. $u_d(t) > 0 \text{ V}$ (dauernd), d.h. $U_1 \geq \hat{u}_e = 15 \text{ V}$

„Dauer-Aus“: $u_a(t) = -15 \text{ V}$ (dauernd), d.h. $u_d(t) < 0 \text{ V}$ (dauernd), d.h. $U_1 \leq 0 \text{ V}$

Aufgabe 6.1: Nennbetrieb (11 Punkte)

a) Elektrisches ESB der fremderregten GM mit sämtlichen Bezeichnen und Zählpfeilen:

b) $P_{\text{el},F,N}$, $P_{\text{el},A,N}$, $P_{\text{el},N}$, $P_{\text{mech},N}$, $P_{V,A,N}$ jeweils in W; R_A in Ω , $(c \cdot \Phi)_N$ in Vs und η in %:

$$P_{\text{el},F,N} = U_{F,N} \cdot I_{F,N} = 24 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

$$P_{\text{el},A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 24 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 120 \text{ W}$$

$$P_{\text{el},N} = P_{\text{el},F,N} + P_{\text{el},A,N} = 24 \text{ W} + 120 \text{ W} = 144 \text{ W}$$

$$P_{\text{mech},N} = M_N \cdot \Omega_N = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot M_N = 2 \cdot \pi \cdot \frac{2.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} \cdot 0,45 \text{ Nm} = 94,3 \text{ W}$$

$$P_{V,A,N} = P_{\text{el},A,N} - P_{\text{mech},N} = 120 \text{ W} - 94,3 \text{ W} = 25,7 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{P_{V,A,N}}{I_{A,N}^2} = \frac{25,7 \text{ W}}{(5 \text{ A})^2} = 1,03 \Omega$$

$$U_{i,N} = U_{A,N} - R_A \cdot I_{A,N} = 24 \text{ V} - 1,03 \Omega \cdot 5 \text{ A} = 18,85 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_N = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{18,85 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 0,090 \text{ Vs}$$

$$\eta_N = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Auf}}} = \frac{P_{\text{mech,N}}}{P_{\text{el,N}}} = \frac{94,3 \text{ W}}{144 \text{ W}} = 66 \%$$

Aufgabe 6.2: Arbeitspunkt AP 1 (9 Punkte)

a) Berechnen von $(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}}$ in Vs, n_{AP1} in min^{-1} , $U_{\text{i,AP1}}$ in V, $I_{\text{A,AP1}}$ in A:

$$(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}} = 0,8 (c \cdot \Phi)_N = 0,8 \cdot 0,090 \text{ Vs} = 0,072 \text{ Vs}$$

$$M_{\text{AP1}} = 0,6 \cdot M_N = 0,6 \cdot 0,45 \text{ Nm} = 0,27 \text{ Nm}$$

$$\Omega(M_{\text{AP1}}) = \frac{U_{\text{A,N}}}{(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}}} - \frac{R_A}{(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}}^2} \cdot M_{\text{AP1}}$$

$$\Omega(M_{\text{AP1}}) = \frac{24 \text{ V}}{0,072 \text{ Vs}} - \frac{1,03 \Omega}{(0,072 \text{ Vs})^2} \cdot 0,27 \text{ Nm}$$

$$\Omega(M_{\text{AP1}}) = 280 \frac{1}{\text{s}}$$

$$n_{\text{AP1}} = \frac{\Omega(M_{\text{AP1}})}{2 \cdot \pi} = \frac{280 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1} = 2.674 \text{ min}^{-1}$$

$$U_{\text{i,AP1}} = (c \cdot \Phi)_{\text{AP1}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{AP1}} = 0,072 \text{ Vs} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{2.674 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} = 20,16 \text{ V}$$

$$P_{\text{mech,AP1}} = \Omega(M_{\text{AP1}}) \cdot M_{\text{AP1}} = 280 \frac{1}{\text{s}} \cdot 0,27 \text{ Nm} = 75,6 \text{ W}$$

$$I_{A,AP1} = \frac{P_{\text{mech},AP1}}{U_{i,AP1}} = \frac{75,6 \text{ W}}{20,16 \text{ V}} = 3,75 \text{ A}$$

b) Zulässiger Arbeitspunkt?

Der Arbeitspunkt ist zulässig, da

$$I_{A,AP1} < I_{A,N} \quad \text{und} \quad \eta_{A,AP1} < \eta_{\text{max,zul}}$$