

Aufgabe 1.1:

Ströme, Spannung (9 Punkte)

a)

Strom I_1 und Strom I_2 : Die Ströme können direkt mit der Stromteilerregel berechnet werden:

$$I_2 = I_0 \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$I_4 = I_0 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_{AB} = R_4 \cdot I_4 = I_0 \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_0 = -R_1 \cdot I_0 - R_2 \cdot I_2 = -I_0 \cdot \left[R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \right]$$

Aufgabe 1.2:

Leistungen (8 Punkte)

a) Die in R_1 bis R_4 auftretende Verlustleistung P :

Fasst man die Widerstände zu einem Ersatzwiderstand zusammen, dann kommt man auf:

$$P = R_{\text{ers}} \cdot I_0^2 = I_0^2 \cdot \left[R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \right]$$

b) Von der Quelle gelieferte Leistung:

$$P_0 = -U_0 \cdot I_0 = +I_0 \cdot \left[R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \right] \cdot I_0 = I_0^2 \cdot \left[R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \right]$$

Minuszeichen, das die Stromquelle mit dem Verbraucherzählpfeilsystem versehen ist, d.h. Leistung $U_0 \cdot I_0$ positiv entspricht der aufgenommenen Leistung. $-U_0 \cdot I_0$ positiv entspricht also der abgegebenen Leistung.

Die Leistungsbilanz zeigt, dass die von der Quelle gelieferte Leistung gleich der in den Widerständen in Wärme umgesetzten Leistung entspricht.

Aufgabe 1.3: Ersatzinnenwiderstand (3 Punkte)a) Ersatzinnenwiderstand R_{AB} :Stromquelle muss aufgetrennt werden. Somit sind R_2 und R_3 in Reihe und parallel zu R_4 :

$$R_{AB} = \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

Aufgabe 2.1 Allgemeines (5 Punkte)

a) Überlagerungssatz

Der Überlagerungssatz darf angewendet werden, da das elektrische Netzwerk linear ist.

b) Behandlung der Quellen:

Spannungsquelle wirkungslos $\rightarrow$ wird durch einen Kurzschluss ersetztStromquelle wirkungslos $\rightarrow$ wird durch einen Leerlauf (Unterbrechung) ersetzt

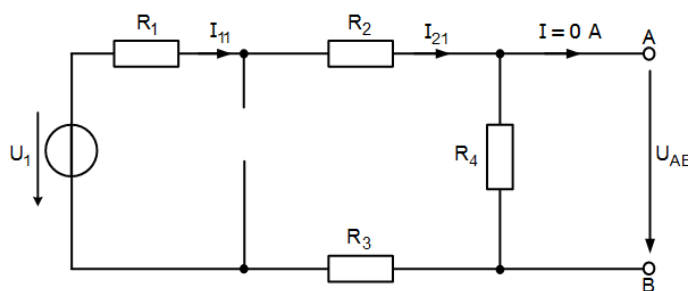
c)

Es dürfen nur lineare Größen überlagert werden, also Ströme und Spannungenaber keine Leistungen.**Aufgabe 2.2** Ströme und Spannungen (8 Punkte)a) Nur U_1 wirksam:

$$I_{11} = \frac{U_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$I_{21} = I_{11} = \frac{U_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

Gegebenenfalls zugehöriges Ersatzschaltbild:



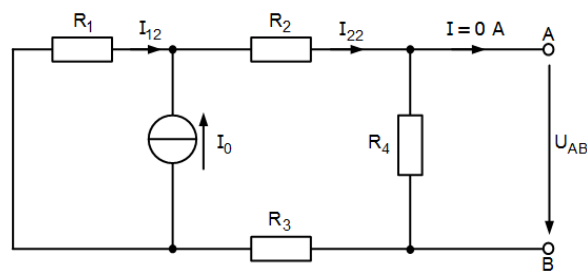
b) Nur I_0 wirksam:

Direkte Anwendung der Stromteilerregel:

$$I_{12} = -I_0 \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$I_{22} = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

Gegebenenfalls zugehöriges Ersatzschaltbild:



c) Die Ströme I_1 und I_2 :

$$I_1 = I_{11} + I_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_1 - I_0 \cdot (R_2 + R_3 + R_4)]$$

$$I_2 = I_{21} + I_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_1 + I_0 \cdot R_1]$$

d) Die Spannung U_{AB} :

$$U_{AB} = R_4 \cdot I_2 = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_1 + I_0 \cdot R_1]$$

Die Überlagerung der Spannung U_{AB} aus Teilspannungen ist erlaubt, da die Spannung eine lineare Größe ist.

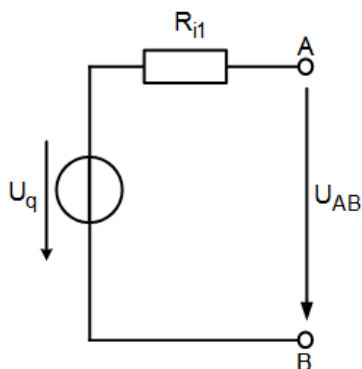
$$U_{AB} = U_{AB1} + U_{AB2} = R_4 \cdot I_{21} + R_4 \cdot I_{22} = R_4 \cdot (I_{21} + I_{22}) = R_4 \cdot I_2$$

Aufgabe 2.3

Ersatzquellendarstellung (7 Punkte)

a) Ersatzspannungsquelle:

Ersatzschaltbild

Quellenspannung U_q :

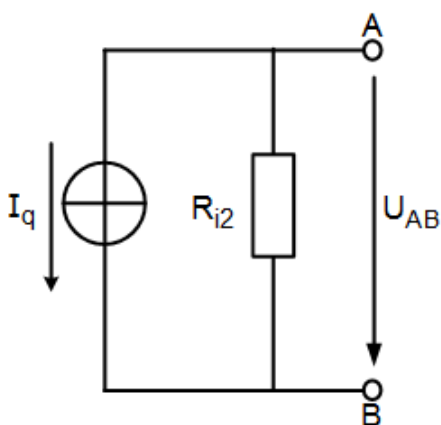
$$U_q = U_{AB,LL} = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_1 + I_0 \cdot R_1]$$

Innenwiderstand R_{i1} :

$$R_{i1} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

b) Ersatzstromquelle:

Ersatzschaltbild

Innenwiderstand R_{i2} :

$$R_{i2} = R_{i1} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

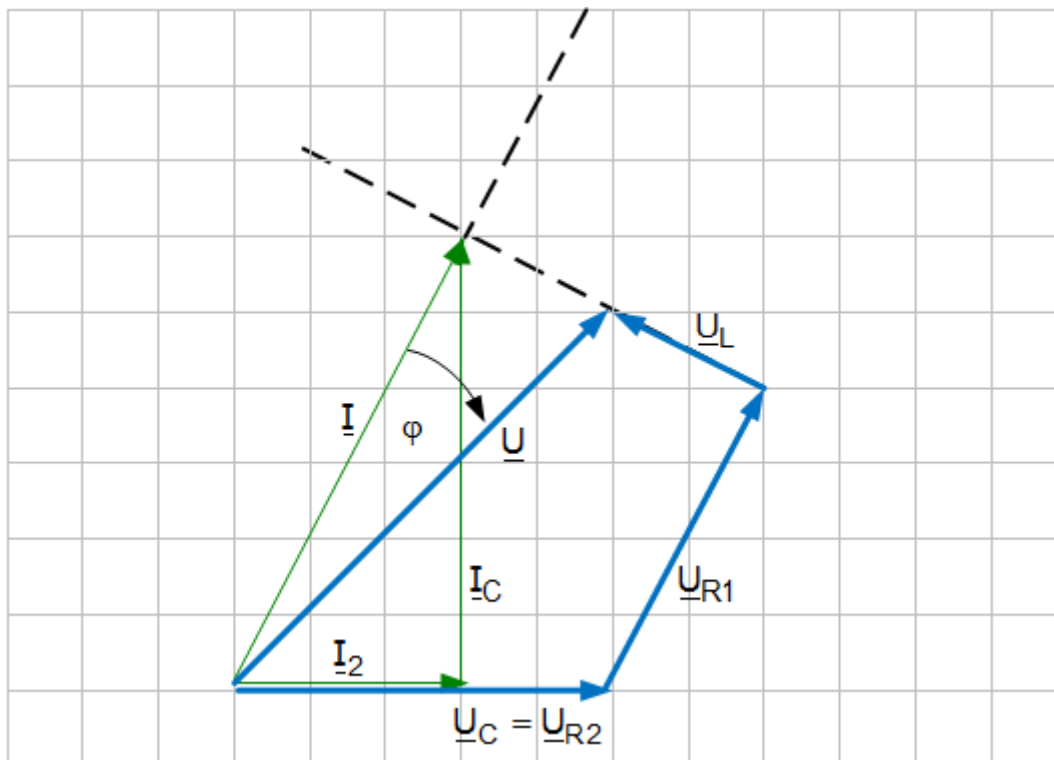
Quellenstrom I_q :

$$I_q = \frac{U_{AB,LL}}{R_{i1}} = \frac{[U_1 + I_0 \cdot R_1]}{(R_1 + R_2 + R_3)}$$

Das Ergebnis für I_q ist unabhängig von R_4 , da der Quellstrom I_q dem Strom bei Kurzschluss der Klemmen AB entspricht. Bei Kurzschluss von AB wird R_4 wirkungslos, da er parallel zum Kurzschluss liegt.

Aufgabe 3.1: Zeigerdiagramm (4 Punkte)

a) Zeigerdiagramm:



b) Phasenverschiebungswinkel in obiges Zeigerdiagramm einzeichnen.

Die Schaltung wirkt gemäß dem Zeigerdiagramm ohmsch-kapazitiv, da der Strom $\underline{I}$ der Spannung $\underline{U}$ um einen Winkel kleiner 90° vorausseilt, d.h. $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$

Aufgabe 3.2: Admittanz und Impedanz (6 Punkte)a) Blindwiderstände X_L und X_C :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{350}{\pi} \cdot 10^{-3} \text{ H} = 35 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{400}{\pi} \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 25 \Omega$$

b) Berechnung von:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot X_L = 10 \, \Omega + j \cdot 35 \, \Omega = (10 + j \cdot 35) \, \Omega$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{R_2} + j \cdot \frac{1}{X_C} = \frac{1}{50 \, \Omega} + j \cdot \frac{1}{25 \, \Omega} = (0,02 + j \cdot 0,04) \, S$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{1}{\underline{Y}_2} = \frac{(0,02 - j \cdot 0,04) \, S}{(0,02 + j \cdot 0,04) \, S \cdot (0,02 - j \cdot 0,04) \, S} = \frac{(0,02 - j \cdot 0,04) \, S}{(0,02 \, S)^2 + (0,04 \, S)^2}$$

$$\underline{Z}_2 = 10 \, \Omega - j \cdot 20 \, \Omega$$

c) Berechnung der Ersatzimpedanz $\underline{Z}$ in kartesischer Form und in Exponentialform:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = 10 \, \Omega + j \cdot 35 \, \Omega + 10 \, \Omega - j \cdot 20 \, \Omega = 20 \, \Omega + j \cdot 15 \, \Omega$$

$$|\underline{Z}| = \sqrt{[\operatorname{Re}(\underline{Z})]^2 + [\operatorname{Im}(\underline{Z})]^2} = \sqrt{(20 \, \Omega)^2 + (15 \, \Omega)^2} = 25 \, \Omega$$

$$\varphi_Z = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\underline{Z})}{\operatorname{Re}(\underline{Z})}\right) = \arctan\left(\frac{15 \, \Omega}{20 \, \Omega}\right) = 36,87^\circ$$

$$\underline{Z} = |\underline{Z}| \cdot e^{j\varphi_Z} = 25 \, \Omega \cdot e^{j36,87^\circ}$$

Aufgabe 3.3:

Ströme, Spannungen, Leistungen (10 Punkte)

a) Berechnung von:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100 \text{ V}}{25 \Omega \cdot e^{j \cdot 36,87^\circ}} = \cdot e^{j \cdot 36,87^\circ} = 4 \text{ A} \cdot e^{-j \cdot 36,87^\circ}$$

$$\underline{I} = |\underline{I}| \cdot [\cos(\varphi_I) + j \cdot \sin(\varphi_I)] = 4 \text{ A} \cdot [\cos(36,87^\circ) - j \cdot \sin(36,87^\circ)] = 3,2 \text{ A} - j \cdot 2,4 \text{ A}$$

$$\underline{U}_{R1} = R_1 \cdot \underline{I} = 10 \Omega \cdot (3,2 \text{ A} - j \cdot 2,4 \text{ A}) = (32 - j \cdot 24) \text{ V}$$

$$\underline{U}_L = j \cdot X_L \cdot \underline{I} = j \cdot 35 \Omega \cdot (3,2 \text{ A} - j \cdot 2,4 \text{ A}) = (84 + j \cdot 112) \text{ V}$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{R2} = \underline{U} - \underline{U}_{R1} - \underline{U}_L = 100 \text{ V} - 32 \text{ V} + j \cdot 24 \text{ V} - 84 \text{ V} - j \cdot 112 \text{ V} = (-16 - j \cdot 88) \text{ V}$$

Alternativ:

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{R2} = \underline{Z}_2 \cdot \underline{I} = (10 \Omega - j \cdot 20 \Omega) \cdot (3,2 \text{ A} - j \cdot 2,4 \text{ A})$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{R2} = 32 \text{ V} - j \cdot 24 \text{ V} - j \cdot 64 \text{ V} - 48 \text{ V} = -16 \text{ V} - j \cdot 88 \text{ V}$$

b) Leistungen:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 100 \text{ V} \cdot (3,2 + j \cdot 2,4) \text{ A} = (320 + j \cdot 240) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}(\underline{S}) = 320 \text{ W}$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{S}) = + 240 \text{ var}$$

Es handelt sich um induktive Blindleistung, da $Q > 0$ ist.

Aufgabe 4.1:	Allgemeinverständnis (6 Punkte)
a)	Grundsaltung des Transistors: Emitterschaltung
b)	Funktion der Schaltung: Kleinsignalverstärker zur Verstärkung der Signalspannung $u_e(t)$.
c)	R_1 und R_C dienen zur Einstellung des Arbeitspunktes.
d)	C_e und C_a dienen zur Ein- bzw. Auskopplung der Wechselanteile und zur Blockung von Gleichanteilen.
e) Bedingung:	Der Transistor muss um den Arbeitspunkt herum linearisiert werden → Lineares Transistor-Ersatzschaltbild → Lineare Schaltung

Aufgabe 4.2: Arbeitspunkteinstellung (4 Punkte)

a)

Bei Verstärkerschaltung gilt: $U_{CE(AP)} = \frac{U_{Bat}}{2} = \frac{12\text{ V}}{2} = 6\text{ V}$

b) Berechnen von:

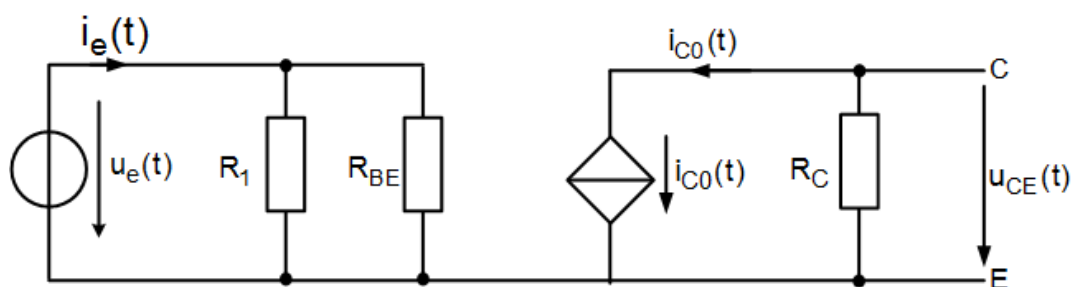
$$R_C = \frac{U_{Bat} - U_{CE(AP)}}{I_{C(AP)}} = \frac{12\text{ V} - 6\text{ V}}{30\text{ mA}} = 200\ \Omega$$

$$I_{B(AP)} = \frac{I_{C0(AP)}}{\beta} \stackrel{\text{Hier}}{=} \frac{I_{C(AP)}}{\beta} = \frac{30\text{ mA}}{200} = 150\ \mu\text{A}$$

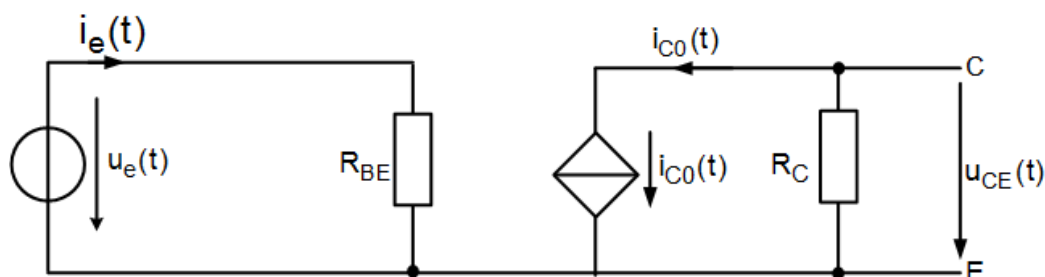
$$R_1 = \frac{U_{Bat} - U_{BE0} - R_{BE} \cdot I_{B(AP)}}{I_{C(AP)}} = \frac{12\text{ V} - 0,6\text{ V} - 300\ \Omega \cdot 150\ \mu\text{A}}{150\ \mu\text{A}} = 75,7\text{ k}\Omega$$

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (10 Punkte)

a) Wechselstromersatzschaltbild:



Weil $R_1 \gg R_{BE}$ ist, kann R_1 gegenüber R_{BE} vernachlässigt werden.



b) Berechnen von:

Aus der Zeitfunktion kann die Frequenz $f = 1000 \text{ Hz}$ abgelesen werden.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1.000 \text{ s}^{-1}} = 1 \text{ ms}$$

$$\hat{i}_e = \frac{\hat{u}_e}{R_{BE}} = \frac{9 \text{ mV}}{300 \Omega} = 30 \mu\text{A}$$

$$\hat{i}_C = \beta \cdot \hat{i}_B = \beta \cdot \hat{i}_e = 200 \cdot 30 \mu\text{A} = 6 \text{ mA}$$

$$\hat{u}_{CE} = R_C \cdot \hat{i}_C = 200 \Omega \cdot 6 \text{ mA} = 1,2$$

$$v_U = \frac{\hat{u}_{CE}}{\hat{u}_e} = \frac{1,2 \text{ V}}{9 \text{ mV}} = 133,33$$

c) Zeitfunktionen:

$$u_{CE}(t) = -\hat{u}_{CE} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) = -1,2 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1.000 \text{ s}^{-1} \cdot t)$$

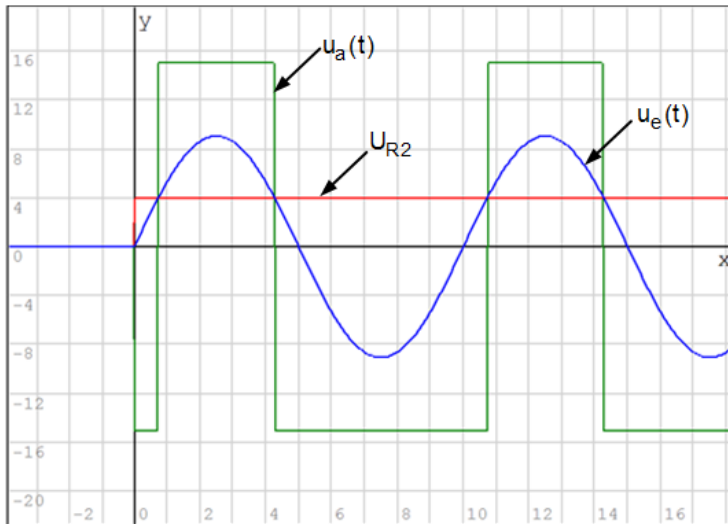
$$u_{CE} = U_{CE(AP)} + u_{CE}(t) = 6 \text{ V} - 1,2 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1.000 \text{ s}^{-1} \cdot t)$$

Aufgabe 5.1:	Grundschialtung (3 Punkte)
a)	
Grundschialtung: Komparator	
b) Schaltungsteil aus U_{Bat} , R_1 und R_2 :	
Spannungsteiler zur Erzeugung einer „Referenzspannung“.	

Aufgabe 5.2:	Spannungen und Ströme (17 Punkte)
a) Signalspannung $u_e(t)$:	
$\hat{u}_e = 9 \text{ V}$	Abgelesen aus der gegebenen Zeitfunktion.
$U_e = \frac{\hat{u}_e}{\sqrt{2}} = \frac{9 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 6,36 \text{ V}$	
$T = 10 \text{ s}$	Abgelesen aus der gegebenen Zeitfunktion.
b) Berechnen von:	
$u_d(t) = u_e(t) - U_{R2} = u_e(t) - U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	
Berechnen von R_2 :	
$u_d(t) = 0 \text{ V} = 6 \text{ V} - 12 \text{ V} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	
$\frac{6 \text{ V}}{12 \text{ V}} = \frac{1}{2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	
$\frac{1}{2} \cdot R_1 + \frac{1}{2} \cdot R_2 = R_2$	$\frac{1}{2} \cdot R_1 = \frac{1}{2} \cdot R_2$
$R_2 = R_1 = 20 \text{ k}\Omega$	

$$u_a(t) = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } u_d(t) > 0 \text{ V} \quad \text{d.h. für } u_e(t) > U_{R2} = 6 \text{ V} \\ 0 \text{ V} & \text{für } u_d(t) = 0 \text{ V} \quad \text{d.h. für } u_e(t) = U_{R2} = 6 \text{ V} \\ -U_V & \text{für } u_d(t) < 0 \text{ V} \quad \text{d.h. für } u_e(t) < U_{R2} = 6 \text{ V} \end{cases}$$

c) Zeitliche Verläufe von $u_e(t)$, U_{R2} und $u_a(t)$:



d) Berechnung des Umschaltzeitpunkt t_1 :

$$u_e(t_1) = U_{R2} = 6 \text{ V}$$

$$9 \text{ V} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t_1}{T}\right) = 6 \text{ V}$$

$$2 \cdot \pi \cdot \frac{t_1}{T} = \arcsin\left(\frac{6}{9}\right)$$

$$t_1 = \frac{10 \text{ s}}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\frac{6}{9}\right) = 1,161 \text{ s}$$

e) Berechnung der Umschaltzeitpunkte t_2 und t_3 :

$$t_2 = \frac{T}{2} - t_1 = 5 \text{ s} - 1,161 \text{ s} = 3,839 \text{ s}$$

$$t_3 = T + t_1 = 10 \text{ s} + 1,161 \text{ s} = 11,161 \text{ s}$$

f)

Wenn $R_2 \uparrow$ (größer wird), dann wird U_{R2} größer, damit wird t_1 größer und t_2 kleiner.

Die Breiten der Pulse mit $u_a = + U_v$ werden dadurch schmaler und die Breiten mit $u_a = - U_v$ werden breiter.

Aufgabe 6.1: Verständnisfrage (2 Punkte)

a) Zweck der Diode:

Die Diode verhindert bei „wenig Wind“ bzw bei Flaute (genauer: wenn $U_i < U_q$), dass sich der Akkumulator über die GM entladen kann (genauer: Verhindert den Motorbetrieb der GM).

Aufgabe 6.2: Nenndaten der GM (6 Punkte)

a) Berechnen von:

$$P_{el,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 30 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 120 \text{ W}$$

$$P_{mech,N} = \frac{P_{el,N}}{\eta_N} = \frac{120 \text{ W}}{0,75} = 160 \text{ W}$$

$$U_{i,N} = \frac{P_{mech,N}}{I_{A,N}} = \frac{160 \text{ W}}{4 \text{ A}} = 40 \text{ V}$$

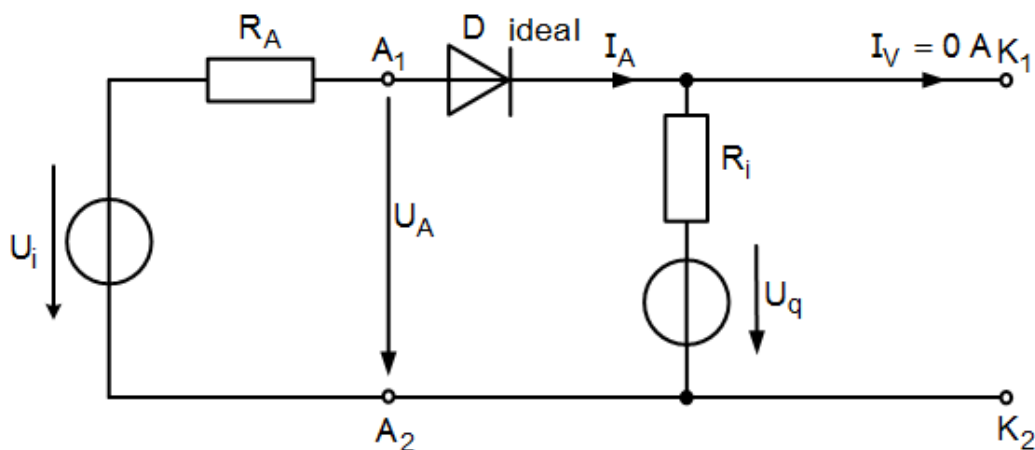
$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{40 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1.200 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 0,3183 \text{ Vs}$$

$$R_A = \frac{U_{RA}}{I_{A,N}} = \frac{U_{i,N} - U_{A,N}}{I_{A,N}} = \frac{40 \text{ V} - 30 \text{ V}}{4 \text{ A}} = 2,5 \Omega$$

$$M_N = \frac{P_{\text{mech},N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{160 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1.200 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 1,27 \text{ Nm}$$

Aufgabe 6.3: Ladebetrieb des Akkumulators (12 Punkte)

a) Elektrisches Ersatzschaltbild:



b) Akkumulator besitzt $U_q = 18 \text{ V}$. Ab welcher Drehzahl n wird er geladen?

Maschengleichung: $U_i = R_A \cdot I_A + U_D + R_i \cdot I_A + U_q$

$$I_A = \frac{U_i - U_D - U_q}{R_A + R_i}$$

Ideale Diode: Wenn sie leitet, dann ist $U_D = 0 \text{ V}$. Laden beginnt:

$$I_A \geq 0 \text{ A} \Leftrightarrow U_i - U_q \geq 0 \text{ V} \Leftrightarrow U_i \geq U_q$$

$$n \geq \frac{U_q}{c \cdot \Phi \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{18 \text{ V}}{0,3183 \text{ Vs} \cdot 2 \cdot \pi} = 540 \text{ min}^{-1}$$

b) Es sei $U_q = 22,5 \text{ V}$ und $n = 840 \text{ min}^{-1}$. Berechnen Sie: $I_A = I_{\text{Lade}}$, $P_{\text{el,i}}$, $P_{\text{V,ges}}$, P_{Lade} und η

$$U_i = c \cdot \Phi \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 0,3183 \text{ Vs} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{840 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} = 28 \text{ V}$$

$$I_{\text{Lade}} = I_A = \frac{U_i - U_D - U_q}{R_A + R_i} = \frac{28 \text{ V} - 0 \text{ V} - 22,5 \text{ V}}{2,5 \Omega + 0,25 \Omega} = \frac{5,5 \text{ V}}{2,75 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$P_{\text{el,i}} = U_i \cdot I_{\text{Lade}} = 28 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 56 \text{ W}$$

$$P_{\text{V,ges}} = (R_A + R_i) \cdot I_{\text{Lade}}^2 = 2,75 \Omega \cdot 4 \text{ A}^2 = 11 \text{ W}$$

$$P_{\text{Lade}} = P_{\text{el,i}} - P_{\text{V,ges}} = 56 \text{ W} - 11 \text{ W} = 45 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Auf}}} = \frac{P_{\text{Lade}}}{P_{\text{el,i}}} = \frac{45 \text{ W}}{56 \text{ W}} = 80 \%$$