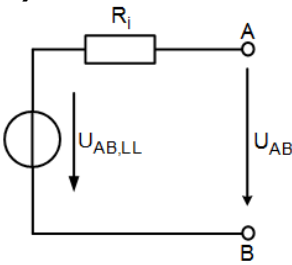


Aufgabe 1.1:	Ersatzspannungsquelle (6 Punkte)
a) Berechnen von:	
$U_{AB,LL}$ Mit Stromteiler: $I_5 = I_6 = I_{q2} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5 + R_6}$ Ohmsches Gesetz: $U_{AB,LL} = I_{q2} \cdot \frac{R_6 \cdot R_4}{R_4 + R_5 + R_6}$	
R_{AB} $R_{AB} = \frac{(R_4 + R_5) \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$ R_4 und R_5 sind in Reihe und parallel zu R_6 .	
I_{KS} Mit Stromteiler-Regel (R_6 wirkungslos): $I_{KS} = I_5 = I_{q2} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5}$	
R_{AB} mittels $U_{AB,LL}$ und I_{KS} $R_{AB} = \frac{U_{AB,LL}}{I_{KS}} = \frac{I_{q2} \cdot R_6 \cdot R_4 \cdot (R_4 + R_5)}{(R_4 + R_5 + R_6) \cdot I_{q2} \cdot R_4} = \frac{(R_4 + R_5) \cdot R_6}{(R_4 + R_5 + R_6)}$ Wie oben!	
b) Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle:  $U_q = U_{AB,LL}$ und $R_i = R_{AB}$ (von oben)	

Aufgabe 1.2:	Ströme, Spannungen, Leistungen (14 Punkte)
a) Berechnen von:	
I_2	$I_2 = I_{q1}$
I_4	$I_4 = I_{q2} \cdot \frac{R_5 + R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$

$$I_5 \quad I_5 = I_{q2} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5 + R_6}$$

$$I_6 \quad I_6 = I_5 = I_{q2} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5 + R_6}$$

$$I_3 \quad I_3 = -I_4 - I_6 = -I_{q2}$$

$$I_1 \quad I_1 = -I_2 - I_{q1} = -I_{q1} - I_{q2}$$

b) Berechnen von:

$$U_{q1}$$

$$U_{q1} = R_1 \cdot I_1 + U_0 - R_2 \cdot I_{q1} = R_1 \cdot (-I_{q1} - I_{q2}) + U_0 - R_2 \cdot I_{q1}$$

$$U_{q1} = U_0 - (R_1 + R_2) \cdot I_{q1} - R_1 \cdot I_{q2}$$

c) Leistung P_{U0} der Spannungsquelle U_0 :

$$P_{U0} = U_0 \cdot I_1 = U_0 \cdot (-I_{q1} - I_{q2}) = -U_0 \cdot (I_{q1} + I_{q2}) < 0, \text{ da } I_{q1} + I_{q2} > 0$$

Da für die Spannungsquelle das Verbraucher-Zählpfeilsystem verwendet wurde, bedeutet eine negative Leistung, dass die Quelle Leistung liefert.

d) Was passiert mit der elektrischen Energie der Quellen?

Die von den Quellen gelieferte elektrische Energie wird in den ohmschen Widerständen in Wärme umgewandelt.

Aufgabe 2.1

Allgemeines (4 Punkte)

a) Die Schaltungsanalyse ist mit dem Überlagerungssatz möglich, weil

das Netzwerk linear ist.

b) Behandlung der Quellen:

Spannungsquellen werden wirkungslos gemacht, indem sie durch einen Kurzschluss ersetzt werden.

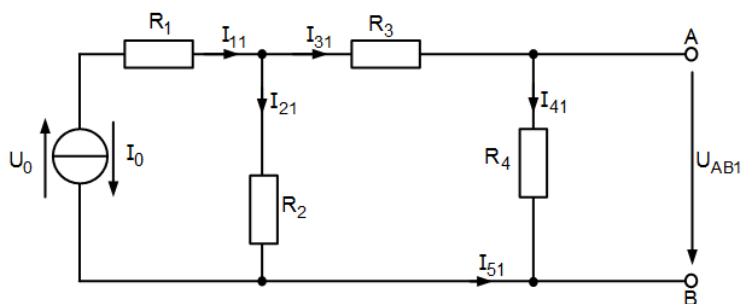
Stromquellen werden wirkungslos gemacht, indem sie durch einen Leerlauf ersetzt werden.

c) Die Überlagerung der Spannung U_{AB} aus Teilspannungen ist möglich, weil

die Spannung eine lineare Größe ist.

Aufgabe 2.2Spannung U_{AB} (7 Punkte)

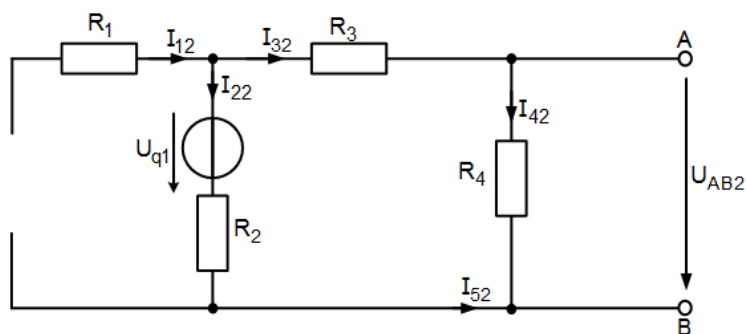
a) ESB, wenn nur I_0 wirksam:



Teilspannung U_{AB1} :

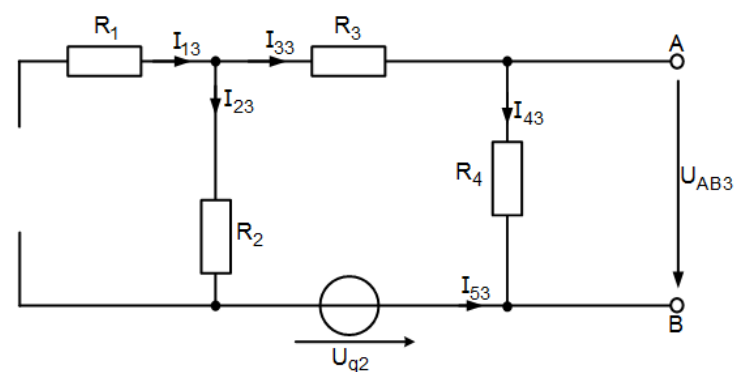
Mit Stromteiler-Regel $\rightarrow I_{41}$ und Ohmsches Gesetz:

$$U_{AB1} = -I_0 \cdot \frac{R_4 \cdot R_2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

b) ESB, wenn nur U_{q1} wirksam:Teilspannung U_{AB2} :

Direkt mit Spannungsteiler-Regel:

$$U_{AB2} = U_{q1} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

c) ESB, wenn nur U_{q2} wirksam:Teilspannung U_{AB3} :

Direkt mit Spannungsteiler-Regel:

$$U_{AB3} = U_{q2} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

d) Die Spannung U_{AB} :

$$U_{AB} = U_{AB1} + U_{AB2} + U_{AB3} = \frac{R_4}{R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_{q1} + U_{q2} - R_2 \cdot I_0]$$

Aufgabe 2.3

Spannungen, Ströme, Leistungen (9 Punkte)

a) I_0 , sodass $U_{AB} = 0 \text{ V}$ wird:

$$U_{AB} = 0 \Leftrightarrow [U_{q1} + U_{q2} - R_2 \cdot I_0] = 0$$

$$I_0 = \frac{U_{q1} + U_{q2}}{R_2}$$

b) $U_{AB} = 0 \text{ V}$ folgt:

$$I_4 = 0 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_3 = 0 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_5 = 0 \text{ A}$$

$$I_2 = -I_0 \quad \Rightarrow \quad I_1 = -I_0$$

$$U_0 = -R_2 \cdot I_2 - U_{q1} - R_1 \cdot I_1 = (R_1 + R_2) \cdot I_0 - U_{q1}$$

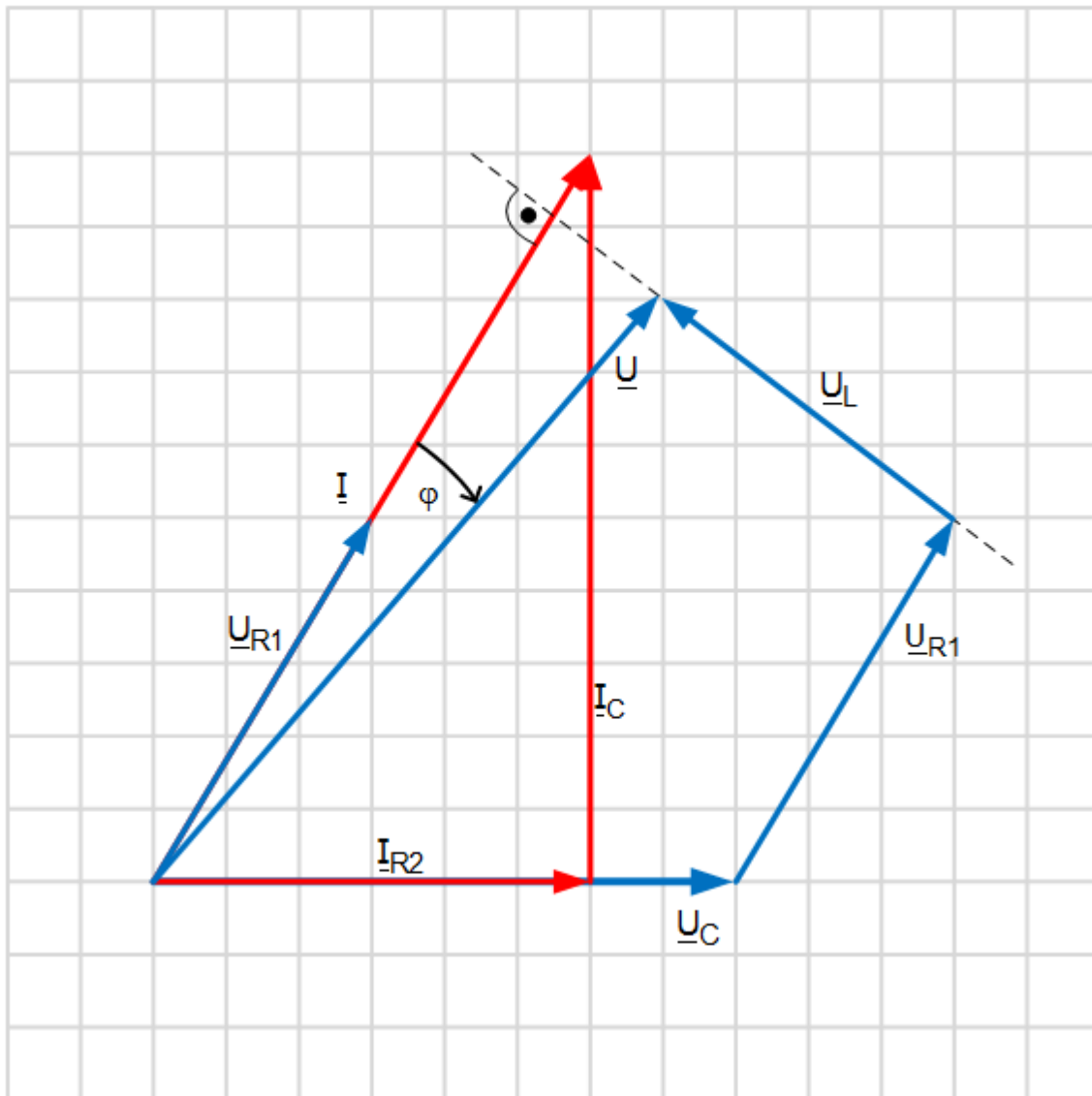
$$\text{Leistungen in den Widerständen:} \quad P_{R3} = P_{R4} = 0 \text{ W} \quad P_{R1} = R_1 \cdot I_0^2 \quad P_{R2} = R_2 \cdot I_0^2$$

$$P_R = (R_1 + R_2) \cdot I_0^2$$

$$\text{Leistungen der Quellen:} \quad P_{I_0} = U_0 \cdot I_0 = [(R_1 + R_2) \cdot I_0 - U_{q1}] \cdot I_0$$

$$P_{U_{q1}} = U_{q1} \cdot I_0$$

$$\text{Leistungsbilanz:} \quad P_{\text{Quellen}} = P_{I_0} + P_{U_{q1}} = (R_1 + R_2) \cdot I_0^2 = P_{R12}$$

Aufgabe 3.1: Qualitatives Zeigerdiagramm (4 Punkte)**a) Qualitatives Zeigerdiagramm (ZD):****b) Phasenverschiebungswinkel in ZD eintragen.**

Die Schaltung wirkt ohmsch-kapazitiv (da Strom der Spannung vorausseilt, d.h. φ ist negativ).

Aufgabe 3.2: Impedanzen (6 Punkte)**a) $\underline{Z}_{RL}$:**

$$\underline{Z}_{RL} = R_1 + j \cdot X_L = (6 + j \cdot 36) \Omega$$

b) $\underline{Z}_{RC}$:

$$\underline{Z}_{RC} = \frac{R_2 \cdot (-j \cdot X_C)}{R_2 - j \cdot X_C} = \frac{R_2 \cdot (-j \cdot X_C) \cdot (R_2 + j \cdot X_C)}{(R_2 - j \cdot X_C) \cdot (R_2 + j \cdot X_C)} = \frac{R_2 \cdot X_C^2 - j \cdot R_2^2 \cdot X_C}{R_2^2 + X_C^2}$$

$$\underline{Z}_{RC} = \frac{120 \Omega \cdot (60 \Omega)^2 - j \cdot 60 \Omega \cdot (120 \Omega)^2}{(120 \Omega)^2 + (60 \Omega)^2} = (24 - j \cdot 48) \Omega$$

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

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{RL} + \underline{Z}_{RC} = (6 + j \cdot 36) \Omega + (24 - j \cdot 48) \Omega = (30 - j \cdot 12) \Omega$$

$$|\underline{Z}| = \sqrt{[\operatorname{Re}(\underline{Z})]^2 + [\operatorname{Im}(\underline{Z})]^2} = \sqrt{(30 \Omega)^2 + (12 \Omega)^2} = 32,31 \Omega$$

$$\varphi_Z = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\underline{Z})}{\operatorname{Re}(\underline{Z})}\right) = \arctan\left(\frac{-12 \Omega}{30 \Omega}\right) = -21,8^\circ$$

$$\underline{Z} = 32,31 \Omega \cdot e^{-j \cdot 21,8^\circ}$$

Aufgabe 3.3:

Ströme, Spannungen und Leistungen (10 Punkte)

a) Strom $\underline{I}$ in kartesischer und in Exponentialform:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100 \text{ V}}{32,31 \Omega \cdot e^{-j \cdot 21,8^\circ}} = \frac{100 \text{ V}}{32,31 \Omega} \cdot e^{j \cdot 21,8^\circ} = 3,095 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 21,8^\circ}$$

$$\underline{I} = 3,095 \text{ A} \cdot [\cos(21,8^\circ) + j \cdot \sin(21,8^\circ)] = (2,87 + j \cdot 1,15) \text{ A}$$

Der Strom eilt der Spannung vor, da der Strom einen größeren Winkel hat als die Spannung.

b) Berechnen von:

$$\underline{U}_{R1}$$

$$\underline{U}_{R1} = R_1 \cdot \underline{I} = 6 \Omega \cdot (2,87 + j \cdot 1,15) \text{ A} = (17,22 + j \cdot 6,9) \text{ V}$$

$$\underline{U}_L$$

$$\underline{U}_L = j \cdot X_L \cdot \underline{I} = j \cdot 36 \Omega \cdot (2,87 + j \cdot 1,15) \text{ A} = (-41,4 + j \cdot 103,32) \text{ V}$$

$$\underline{U}_C$$

$$\underline{U}_C = \underline{U} - \underline{U}_{R1} - \underline{U}_L = 100 \text{ V} - 17,22 \text{ V} - j \cdot 6,9 \text{ V} + 41,4 \text{ V} - j \cdot 103,32 \text{ V} = (124,18 - j \cdot 110,22) \text{ V}$$

c) Effektivwerte I_{R2} und I_C der Ströme $\underline{I}_{R2}$ und $\underline{I}_C$:

$$U_C = |\underline{U}_C| = \sqrt{(124,18 \text{ V})^2 + (110,22 \text{ V})^2} = 166,04 \text{ V}$$

$$I_{R2} = \frac{U_C}{R_2} = \frac{166,04 \text{ V}}{120 \Omega} = 1,38 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} = \frac{166,04 \text{ V}}{60 \Omega} = 2,77 \text{ A}$$

d) Komplexe Scheinleistung $\underline{S}$, Wirkleistung P und Blindleistung Q :

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 100 \text{ V} \cdot (2,87 - j \cdot 1,15) \text{ A} = (287 - j \cdot 115) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}(\underline{S}) = 287 \text{ W}$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{S}) = -115 \text{ var} \quad \text{kapazitiv, da negatives Vorzeichen!}$$

e) P und Q alternativ zu d) berechnen:

$$P = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = 6 \Omega \cdot (3,095 \text{ A})^2 + 120 \Omega \cdot (1,38 \text{ A})^2 = 286 \text{ W}$$

$$Q = X_L \cdot I^2 - X_C \cdot I_C^2 = 36 \Omega \cdot (3,095 \text{ A})^2 - 60 \Omega \cdot (2,77 \text{ A})^2 = -115,5 \text{ var}$$

Die Ergebnisse sind im Prinzip identisch - kleine Abweichungen sind rundungsbedingt!

Aufgabe 4.1:	Allgemeinverständnis (4 Punkte)
a) Grundsaltung: Emitterschaltung (Emitter = „gemeinsamer Anschluss“).	
b) Funktion der Schaltung: Verstärkung des Eingangs-Wechselspannungs-Signals (Kleinsignalverstärker).	
c) Funktion von R_1, R_2 und R_C: Sie dienen zur Einstellung des Arbeitspunktes.	
d) Funktion von C_e und C_a: C_e blockt die Gleichspannung U_{Bat} gegen $u_e(t)$ und koppelt $u_e(t)$ ein. C_a unterdrückt (blockt) den Gleichspannungsanteil im Mischsignal u_{CE} und lässt nur den Wechselanteil $u_{CE}(t)$ durch → Ausgangssignal ist eine Wechselspannung!	

Aufgabe 4.2:	Arbeitspunkteinstellung (9 Punkte)
a) Berechnung von R_1 und R_2: $I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{\beta} = \frac{30 \text{ mA}}{300} = 100 \mu\text{A}$ $I_2 = 5 \cdot I_{B,AP} = 5 \cdot 100 \mu\text{A} = 500 \mu\text{A}$ $I_1 = I_2 + I_{B,AP} = 6 \cdot I_{B,AP} = 6 \cdot 100 \mu\text{A} = 600 \mu\text{A}$	

$$U_{R2} = R_{BE} \cdot I_{B,AP} + U_{BE0} = 200 \, \Omega \cdot 100 \, \mu A + 0,6 \, V = 0,62 \, V$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_2} = \frac{0,62 \, V}{500 \, \mu A} = 1.240 \, \Omega$$

$$U_{R1} = U_{Bat} - U_{R2} = 12 \, V - 0,62 \, V = 11,38 \, V$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_1} = \frac{11,38 \, V}{600 \, \mu A} = 18.967 \, \Omega$$

b) Berechnung von R_C :

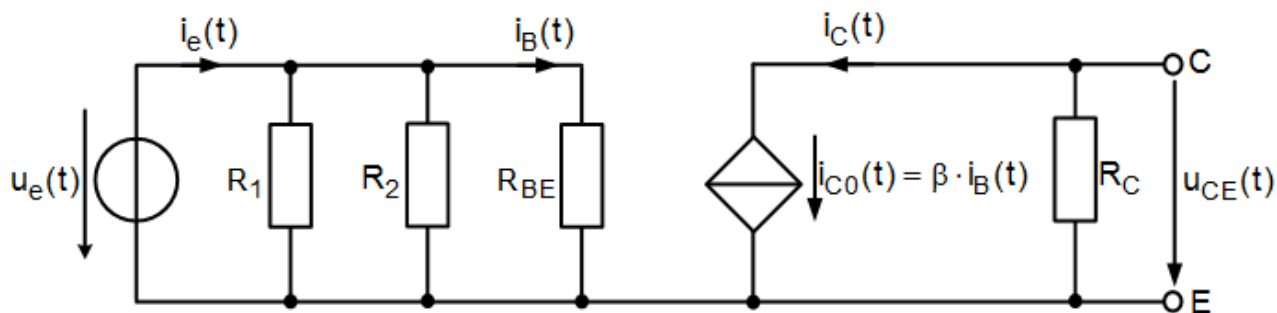
Aus der gegebenen Funktion abgelesen: $U_{CE,AP} = 9 \, V$ (Gleichanteil)

$$R_C = \frac{U_{Bat} - U_{CE,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{12 \, V - 9 \, V}{30 \, mA} = 100 \, \Omega$$

Der optimale Arbeitspunkt liegt bei: $U_{CE,AP} = \frac{1}{2} \cdot U_{Bat} = \frac{1}{2} \cdot 12 \, V = 6 \, V$

c) Berechnung von R_C für den optimalen Arbeitspunkt:

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

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (7 Punkte)**a) Wechselstromersatzschaltbild (ergänzen!):**Berechnen von $\hat{i}_B$:

$$\hat{i}_B = \frac{u_e}{R_{BE}} = \frac{10 \text{ mV}}{200 \Omega} = 50 \mu\text{A}$$

Berechnen von $\hat{i}_e$:

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{BE}}} = \frac{1}{\frac{1}{18.967 \Omega} + \frac{1}{1.240 \Omega} + \frac{1}{200 \Omega}} = 170,7 \Omega$$

$$\hat{i}_e = \frac{u_e}{R_E} = \frac{10 \text{ mV}}{170,7 \Omega} = 58,58 \mu\text{A}$$

Berechnen von $\hat{u}_{CE}$:

$$u_{CE} = R_C \cdot \hat{i}_C = R_C \cdot \hat{i}_{C0} = R_C \cdot \beta \cdot \hat{i}_B = 200 \Omega \cdot 300 \cdot 50 \mu\text{A} = 3 \text{ V}$$

Zeitfunktion: $u_{CE} = 6 \text{ V} - 3 \text{ V} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

 v_U :

$$v_U = \frac{u_{CE}}{u_e} = \frac{3 \text{ V}}{10 \text{ mV}} = 300$$

Aufgabe 5.1: Grundsaltung (4 Punkte)**a) OP-Grundsaltungen:**

Beide OP werden als Komparator verwendet.

Komparator → OP ohne Rück-Kopplung.

b) Mögliche Werte von $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$:

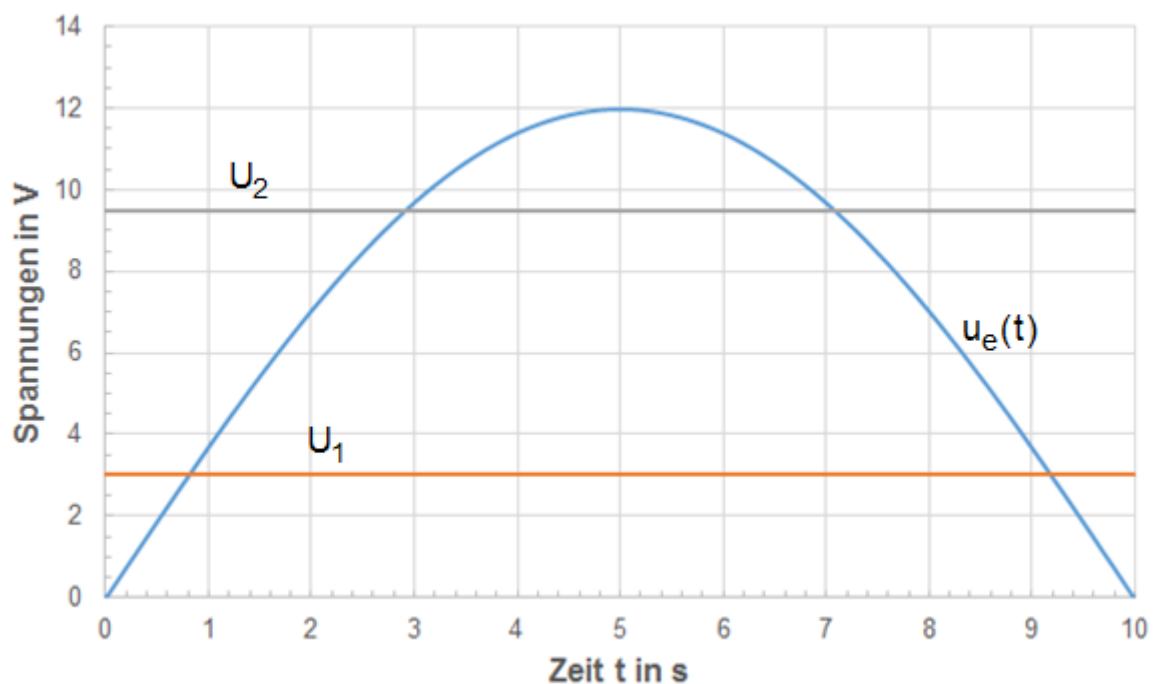
Die Ausgangsspannungen der OP können nur die Werte der Versorgungsspannung der OP annehmen, also entweder - 15 V oder + 15 V.

Aufgabe 5.2: Spannungen (14 Punkte)**a) $u_{d1}(t)$ und $u_{d2}(t)$, sowie u_e und T_e :**

$$u_{d1}(t) = u_e(t) - U_1$$

$$u_{d2}(t) = u_e(t) - U_2$$

Abgelesen aus der gegebenen Zeitfunktion: $u_e = 12 \text{ V}$ und $T_e = 20 \text{ s}$



b) $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$:

$$u_{a1}(t) = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } u_{d1}(t) > 0 \text{ V} \\ -15 \text{ V} & \text{für } u_{d1}(t) < 0 \text{ V} \end{cases} \quad \text{und} \quad u_{a2}(t) = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } u_{d2}(t) > 0 \text{ V} \\ -15 \text{ V} & \text{für } u_{d2}(t) < 0 \text{ V} \end{cases}$$

c) U_1 und U_2 :

$U_1 = 3 \text{ V}$ Begründung: Schaltschwelle für OP 1, d.h. für $U_1 = 3 \text{ V}$ wird $u_{d1} = 0 \text{ V}$

$U_2 = 9,71 \text{ V}$ Begründung: Schaltschwelle für OP 1, d.h. für $U_2 = 9,71 \text{ V}$ wird $u_{d2} = 0 \text{ V}$

d) Zeitpunkt t_1 , t_2 , t_3 und t_4 :

Es gilt für den Schaltzeitpunkt t_1 : $u_e(t_1) = U_1 = 3 \text{ V} = 12 \text{ V} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{20 \text{ s}} \cdot t_1\right)$

Aufgelöst nach der Zeit t_1 :

$$t_1 = \frac{20 \text{ s}}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\frac{U_1}{u_e}\right) = \frac{20 \text{ s}}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\frac{3 \text{ V}}{12 \text{ V}}\right) = 0,8 \text{ s}$$

Mit der Periodizität gilt: $t_2 = \frac{T_e}{2} - t_1 = 10 \text{ s} - 0,8 \text{ s} = 9,2 \text{ s}$

Analog für die anderen beiden Zeitpunkte:

$$t_3 = \frac{20 \text{ s}}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\frac{U_2}{u_e}\right) = \frac{20 \text{ s}}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\frac{9,71 \text{ V}}{12 \text{ V}}\right) = 3 \text{ s}$$

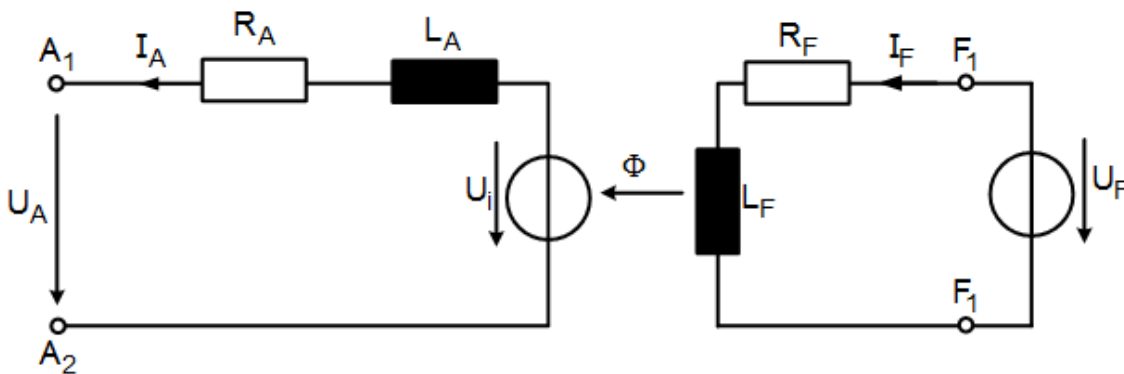
$$t_4 = \frac{T_e}{2} - t_3 = 10 \text{ s} - 3 \text{ s} = 7 \text{ s}$$

Werte aus dem Diagramm stimmen in etwa überein.

Aufgabe 5.3: Anzeige mit einer LED (2 Punkte)**a) Vorwiderstände R_V :**

R_V dienen zur Arbeitspunkteinstellung der LED (Strombegrenzung).

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_{LED}} = \frac{u_{a,max} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15 \text{ V} - 2 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 650 \Omega$$

Aufgabe 6.1: Ersatzschaltbild der GM (4 Punkte)**a) Elektrisches ESB der GM (Ankerkreis und Erregerkreis):****b) Keine Spannungsabfälle an den Induktivitäten:**

Alle Größen sind Gleichgrößen, daher gilt $\frac{dI}{dt} = 0$ und somit $u_L = 0 \text{ V}$.

Aufgabe 6.2:	Nennbetrieb (10 Punkte)
$P_{\text{mech},N}$ $P_{\text{mech},N} = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot M_N = 2 \cdot \pi \cdot 80 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 10 \cdot 100 \text{ Nm} = 84,61 \text{ kW}$	
$P_{\text{el},N}$ $P_{\text{el},N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 800 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} = 80 \text{ kW}$	
$P_{\text{VA},N}$ $P_{\text{VA},N} = P_{\text{mech},N} - P_{\text{el},N} = 84,61 \text{ kW} - 80 \text{ kW} = 4,61 \text{ kW}$	
$P_{\text{VF},N}$ $P_{\text{VF},N} = R_F \cdot I_{F,N}^2 = 10 \Omega \cdot (10 \text{ A})^2 = 1 \text{ kW}$	
R_A $R_A = \frac{P_{\text{VA},N}}{I_{A,N}^2} = \frac{4.610 \text{ W}}{(100 \text{ A})^2} = 0,461 \Omega$	
$\eta_{\text{GM},N}$ $\eta_{\text{GM},N} = \frac{P_{\text{el},N}}{P_{\text{mech},N} + P_{\text{VF},N}} = \frac{80 \text{ kW}}{84,61 \text{ kW} + 1 \text{ kW}} = 93,4 \%$ Oder: $\eta_{\text{GM},N} = \frac{P_{\text{el},N}}{P_{\text{el},N} + P_{\text{VA},N} + P_{\text{VF},N}} = \frac{80 \text{ kW}}{80 \text{ kW} + 4,61 \text{ kW} + 1 \text{ kW}} = 93,4 \%$	

$$U_{i,N}$$

$$U_{i,N} = R_A \cdot I_{A,N} + U_{A,N} = 0,461 \Omega \cdot 100 \text{ A} + 800 \text{ V} = 846,1 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_N$$

$$U_{i,N} = (c \cdot \Phi)_N \cdot \Omega_N = (c \cdot \Phi)_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_N$$

$$(c \cdot \Phi)_N = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{846,1 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot 80 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 101 \text{ Vs}$$

Aufgabe 6.3: Arbeitspunkt AP 1 (6 Punkte)

$$U_{i,AP1}$$

$$U_{i,AP1} = R_A \cdot I_{A,N} + U_{A,N} = U_{i,N} = 846,1 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_{AP1}$$

$$(c \cdot \Phi)_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{AP1}} = \frac{846,1 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot 100 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 80,8 \text{ Vs}$$

$$I_{F,AP1}$$

$$I_{F,AP1} = I_{F,N} \cdot \frac{(c \cdot \Phi)_{AP1}}{(c \cdot \Phi)_N} = 10 \text{ A} \cdot \frac{80,8 \text{ Vs}}{101 \text{ Vs}} = 8,08 \text{ A}$$

$$M_{AP1}$$

$$M_{AP1} = (c \cdot \Phi)_{AP1} \cdot I_{A,AP1} = 80,8 \text{ Vs} \cdot 100 \text{ A} = 8.080 \text{ Nm}$$