

Aufgabe 1.1:

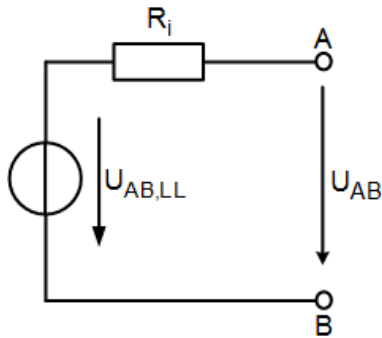
Ersatzspannungsquelle (6 Punkte)

a)

Spannung U_{AB} : $U_{AB} = -R_4 \cdot I_q$

Ersatzwiderstand: $R_{AB} = R_4 + R_5$

b) Ersatzspannungsquelle:

**Aufgabe 1.2:**

Ströme, Spannungen, Leistungen (14 Punkte)

a)

KG: $I_q = I_1 + I_2$ (1)

MG: $U_0 = -R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$ (2)

Aus (1): $I_1 = I_q - I_2$ (3)

Aus(1): $I_2 = I_q - I_1$ (4)

(3) in (2): $U_0 = -R_1 \cdot (I_q - I_2) + R_2 \cdot I_2$

$$U_0 = -R_1 \cdot I_q + (R_1 + R_2) \cdot I_2$$

$$I_2 = \frac{U_0 + R_1 \cdot I_q}{(R_1 + R_2)}$$

(4) in (2): $U_0 = -R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot (I_q - I_1)$

$$U_0 = R_2 \cdot I_q - (R_1 + R_2) \cdot I_1$$

$$I_1 = \frac{R_2 \cdot I_q - U_0}{(R_1 + R_2)}$$

b) Quelle liefert keine Leistung und nimmt keine Leistung auf, wenn gilt: $I_1 = 0 \text{ A}$

$$I_1 = 0 = \frac{R_2 \cdot I_q - U_0}{(R_1 + R_2)} \quad \text{liefert} \quad U_0 = R_2 \cdot I_q$$

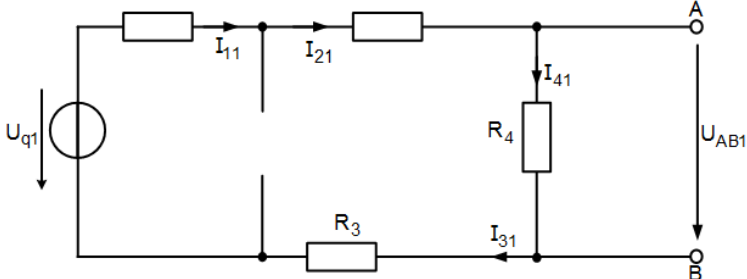
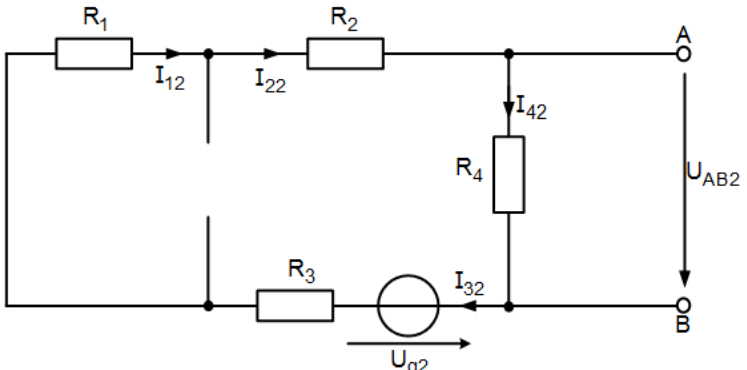
c)

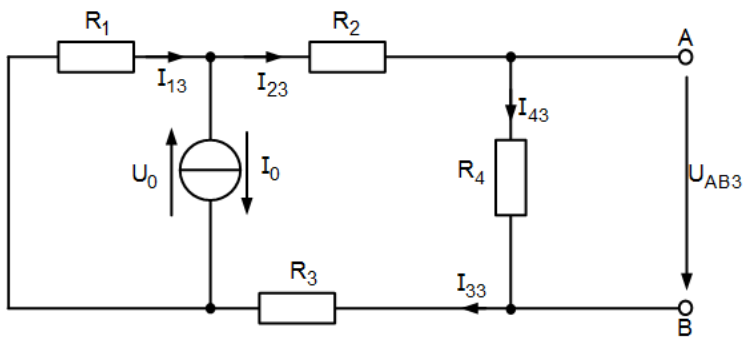
$I_1 = 0 \text{ A}$ bedeutet, dass der Strom I_q durch R_2 , R_3 und R_4 fließt.

Leistung: $P_q = R_4 \cdot I_q^2 + R_3 \cdot I_q^2 + R_2 \cdot I_q^2 = (R_2 + R_3 + R_4) \cdot I_q^2$

Es gilt auch: $P_q = U_q \cdot I_q$ und somit $U_q = \frac{P_q}{I_q} = (R_2 + R_3 + R_4) \cdot I_q$

Aufgabe 2.1	Allgemeines (4 Punkte)
a)	Der Überlagerungssatz darf angewendet werden, da das elektrische Netzwerk <u>linear</u> ist.
b)	Behandlung der Quellen: Spannungsquelle wirkungslos → wird durch einen Kurzschluss ersetzt Stromquelle wirkungslos → wird durch einen Leerlauf (Unterbrechung) ersetzt
c)	Da die Spannung eine <u>lineare</u> Größe ist, darf sie aus Teilspannungen überlagert werden.

Aufgabe 2.2	Spannung U_{AB} (9 Punkte)
a) ESB, wenn nur U_{q1} wirksam: 	Teilspannung U_{AB1} : Mit der Spannungsteilerregel folgt sofort: $U_{AB1} = \frac{U_{q1} \cdot R_4}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}$
b) ESB, wenn nur U_{q2} wirksam: 	Teilspannung U_{AB2} : Mit der Spannungsteilerregel folgt sofort: $U_{AB2} = \frac{U_{q2} \cdot R_4}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}$

c) ESB, wenn nur I_0 wirksam:Teilspannung U_{AB3} :

Zuerst mit der Stromteilerregel den Strom I_{43} berechnen (Vorzeichen beachten!) und dann mit Ohmschem Gesetz die Teilspannung U_{AB3} :

$$U_{AB3} = -I_0 \frac{R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}$$

d) Die Spannung U_{AB} :

$$U_{AB} = U_{AB1} + U_{AB2} + U_{AB3} = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot [U_{q1} + U_{q2} - I_0 \cdot R_1]$$

Aufgabe 2.3

Spannungen, Ströme, Leistungen (7 Punkte)

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

Bedingung: $[U_{q1} + U_{q2} - I_0 \cdot R_1] = 0$

Nach I_0 aufgelöst: $I_0 = \frac{U_{q1} + U_{q2}}{R_1}$

b)

$$U_{AB} = 0 \text{ V} \quad \text{d.h.} \quad I_4 = 0 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_3 = 0 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_2 = 0 \text{ A}$$

Somit: $I_1 = I_0$

Spannung U_0 : $U_0 = R_1 \cdot I_0 - U_{q1}$

Leistungen: $P_{R2} = P_{R3} = P_{R4} = 0 \text{ W}$, da Ströme null!

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_0^2$$

Aufgabe 3.1: Impedanzen (6 Punkte)a) Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Reihenschaltung aus X_L und R_2 :

$$\underline{Z}_{RL} = R_2 + j \cdot X_L = (40 \, \Omega + j \cdot 30 \, \Omega)$$

$$|\underline{Z}_{RL}| = \sqrt{(R_2)^2 + (X_L)^2} = \sqrt{(40 \, \Omega)^2 + (30 \, \Omega)^2} = 50 \, \Omega$$

$$\varphi_{RL} = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\underline{Z}_{RL})}{\operatorname{Re}(\underline{Z}_{RL})}\right) = \arctan\left(\frac{30 \, \Omega}{40 \, \Omega}\right) = 36,78^\circ$$

$$\underline{Z}_{RL} = 50 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 36,78^\circ}$$

b) Impedanz $\underline{Z}_{RLC}$ der Parallelschaltung:

$$\underline{Z}_{RLC} = \frac{\underline{Z}_C \cdot \underline{Z}_{RL}}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_{RL}} = \frac{20 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 90^\circ} \cdot 50 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 37,87^\circ}}{-j \cdot 20 \, \Omega + 40 \, \Omega + j \cdot 30 \, \Omega} = \frac{1.000 \, \Omega^2 \cdot e^{j \cdot (37,87^\circ - 90^\circ)}}{40 \, \Omega + j \cdot 10 \, \Omega}$$

$$\underline{Z}_{RLC} = \frac{1.000 \, \Omega^2 \cdot e^{-j \cdot 53,13^\circ}}{41,23 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 14,04^\circ}} = \frac{1.000 \, \Omega^2}{41,23 \, \Omega} \cdot e^{j \cdot (-53,13^\circ - 14,04^\circ)} = 24,25 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 67,17^\circ}$$

$$\underline{Z}_{RLC} = 24,25 \, \Omega \cdot [\cos(67,17^\circ) - j \cdot \sin(67,17^\circ)] = (9,41 - j \cdot 22,35) \, \Omega$$

b) Ersatzimpedanz $\underline{Z}$ der Schaltung:

$$\underline{Z} = R_1 + \underline{Z}_{RLC} = 40 \, \Omega + 9,41 \, \Omega - j \cdot 22,35 \, \Omega = (49,41 - j \cdot 22,35) \, \Omega$$

$$|\underline{Z}| = \sqrt{49,41^2 + 22,35^2} \, \Omega = 54,23 \, \Omega$$

$$\varphi_Z = \arctan\left(\frac{-22,35}{49,41}\right) = -24,34^\circ$$

$$\underline{Z} = 54,23 \, \Omega \cdot e^{-j \cdot 24,34^\circ}$$

Aufgabe 3.2: Strom und Leistung (4 Punkte)a) Strom $\underline{I}$:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100 \text{ V}}{54,23 \Omega} \cdot e^{j \cdot 24,34^\circ} = 1,84 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 24,34^\circ}$$

$$\underline{I} = 1,84 \text{ A} \cdot [\cos(24,34^\circ) + j \cdot \sin(24,34^\circ)] = (1,68 + j \cdot 0,76) \text{ A}$$

b) Komplexe Scheinleistung $\underline{S}$:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 100 \text{ V} \cdot (1,68 - j \cdot 0,76) \text{ A} = (168 - j \cdot 76) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}(\underline{S}) = 168 \text{ W}$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{S}) = -76 \text{ var}$$

Da Q negativ ist, handelt es sich um kapazitive Blindleistung.

Aufgabe 3.3: Maßstäbliches Zeigerdiagramm (10 Punkte)

a)

$$\underline{I}_2 = 2 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 0^\circ} = 2 \text{ A} \quad \text{Zeigerlänge entspricht 2 cm}$$

$$\underline{U}_L = X_L \cdot \underline{I}_2 = 30 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 60 \text{ V} \quad \text{Zeigerlänge entspricht 6 cm}$$

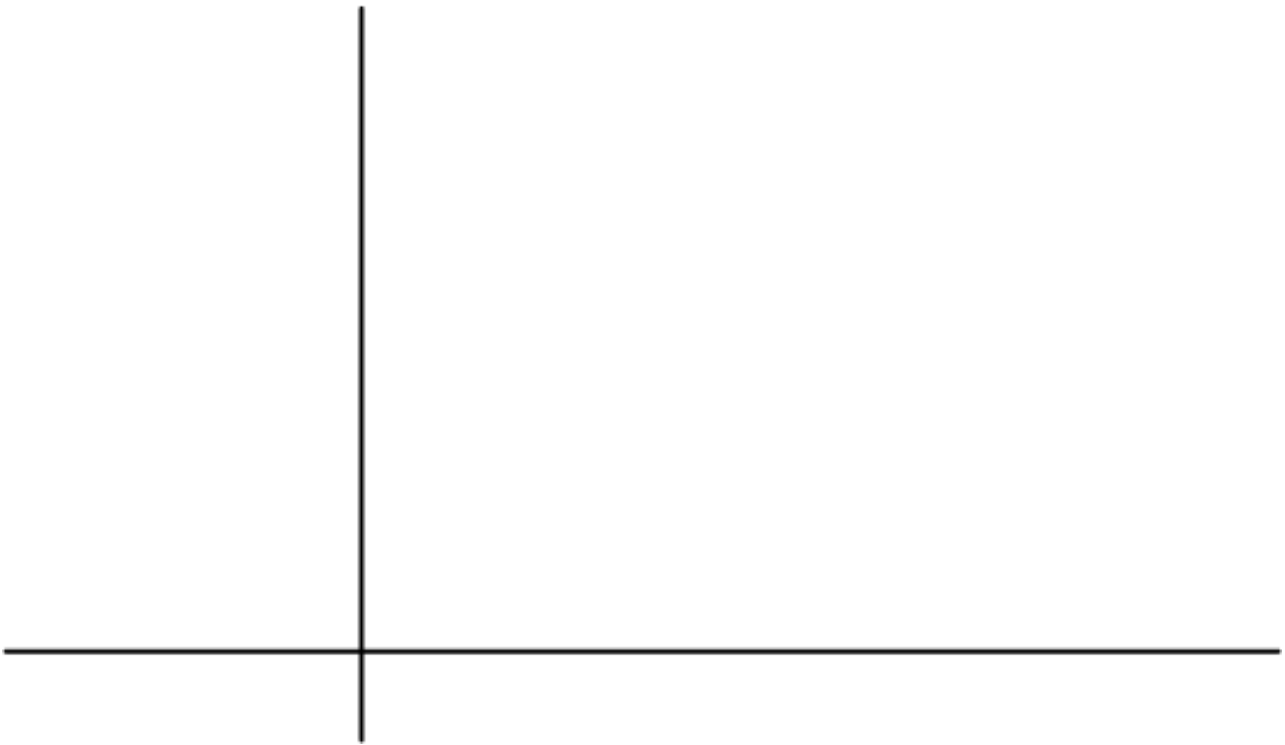
$$\underline{U}_{R2} = R_2 \cdot \underline{I}_2 = 40 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 80 \text{ V} \quad \text{Zeigerlänge entspricht 8 cm}$$

$$\underline{U}_C = \sqrt{\underline{U}_L^2 + \underline{U}_{R2}^2} = \sqrt{(60 \text{ V})^2 + (80 \text{ V})^2} = 100 \text{ V} \quad \text{Zeigerlänge entspricht 10 cm}$$

Alternativ kann $\underline{U}_C$ auch abgelesen werden.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_C}{X_C} = \frac{100 \text{ V}}{20 \Omega} = 5 \text{ A} \quad \text{Zeigerlänge entspricht 5 cm}$$

Maßstäbliches Zeigerdiagramm:



Realteil und Imaginärteil des Stromes durch Projektion auf die Achsen abgemessen:

Imaginärteil entspricht ungefähr 4 cm $\rightarrow$ $\text{Im}(\underline{I}) = 4 \text{ A}$

Realteil entspricht ungefähr 1 cm $\rightarrow$ $\text{Re}(\underline{I}) = -1 \text{ A}$ Quadrant beachten, Realteil ist negativ!

Somit: $\underline{I} = (-1 + j \cdot 4) \text{ A}$

Aufgabe 4.1:	Allgemeinverständnis (4 Punkte)
a)	Grundsaltung des Transistors: Emitterschaltung
b)	Funktion der Schaltung: Kleinsignalverstärker zur Verstärkung der Signalspannung $u_e(t)$.
c)	R_1, R_2 und R_C dienen zur Einstellung des Arbeitspunktes.
d)	C_e dient zur Einkopplung der Signal-Wechselspannung bzw. zur Blockung der Batteriespannung.

Aufgabe 4.2:	Arbeitspunkteinstellung (9 Punkte)
a) Berechnung von R_1 :	
	$I_{B(AP)} = \frac{I_{C(AP)}}{\beta} = \frac{30 \text{ mA}}{300} = 100 \mu\text{A}$
	$U_{BE(AP)} = R_{BE} \cdot I_{B(AP)} + U_{BE0} = 200 \Omega \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ A} + 0,6 \text{ V} = 0,62 \text{ V}$
Strom durch R_2 :	$I_2 = \frac{U_{BE(AP)}}{R_2} = \frac{0,62 \text{ V}}{15 \text{ k}\Omega} = 41,33 \mu\text{A}$
Strom durch R_1 :	$I_1 = I_{B(AP)} + I_2 = 100 \mu\text{A} + 41,33 \mu\text{A} = 141,33 \mu\text{A}$
	$R_1 = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{BE(AP)}}{I_1} = \frac{12 \text{ V} - 0,62 \text{ V}}{141,33 \mu\text{A}} = 80,52 \text{ k}\Omega$

b) Berechnen von R_C :

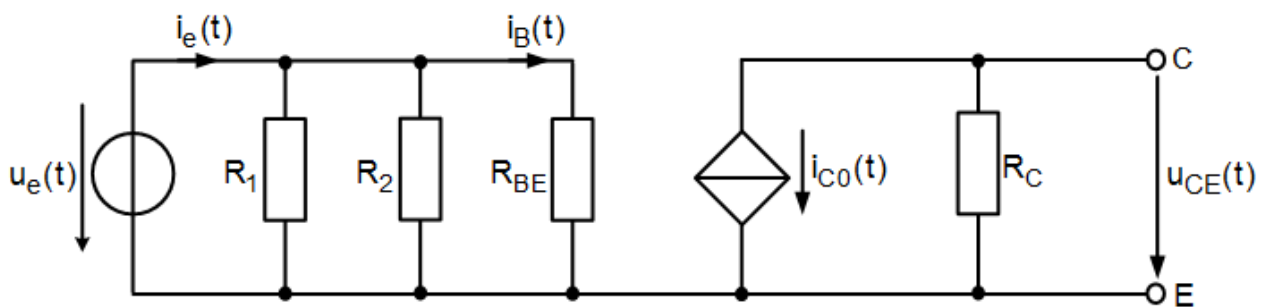
Aus gegebener Zeitfunktion kann abgelesen werden: $U_{CE(AP)} = 8 \text{ V}$

$$R_C = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{CE(AP)}}{I_{C(AP)}} = \frac{12 \text{ V} - 8 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 133,33 \Omega$$

Der Arbeitspunkt ist nicht optimal eingestellt, da der optimale Arbeitspunkt eines Signalverstärkers bei $U_{CE(AP)} = \frac{1}{2} \cdot U_{\text{Bat}} = \frac{1}{2} \cdot 12 \text{ V} = 6 \text{ V}$ liegen würde.

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (7 Punkte)

a) Wechselstromersatzschaltbild:



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

$$\hat{i}_e = \frac{\hat{u}_e}{R_1} + \frac{\hat{u}_e}{R_2} + \frac{\hat{u}_e}{R_{BE}} = \frac{10 \text{ mV}}{80 \text{ k}\Omega} + \frac{10 \text{ mV}}{15 \text{ k}\Omega} + \frac{10 \text{ mV}}{300 \Omega} = 50,79 \mu\text{A}$$

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

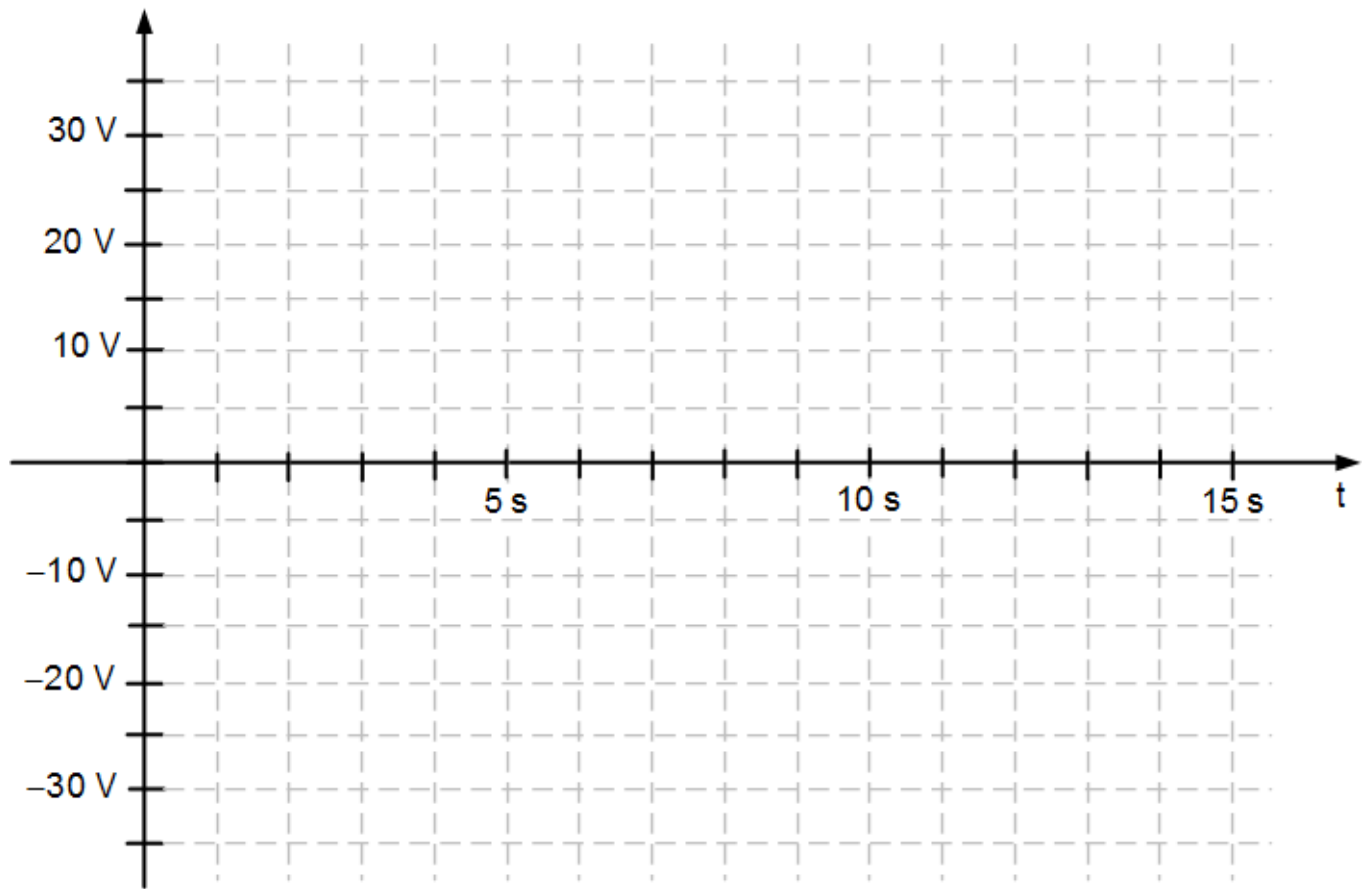
$$V_U = \frac{\hat{u}_{CE}}{\hat{u}_e} = \frac{3 \text{ V}}{10 \text{ mV}} = 300$$

Aufgabe 5.1:	Grundschaltung (3 Punkte)
a)	
Grundschaltungen: Komparator (beide OP), da OP ohne Rückkopplung (unbeschaltet).	
b) Schaltungsteil aus U_{Bat} , R_1 , R_2 und R_3 :	
Spannungsteiler zur Erzeugung der Referenzspannungen U_{ref1} und U_{ref2} .	

Aufgabe 5.2:	Spannungen (14 Punkte)
a) U_{ref1} , U_{ref2} , $u_{d1}(t)$ und $u_{d2}(t)$:	
$U_{\text{ref1}} = U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$	
$U_{\text{ref2}} = U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$	
$u_{d1}(t) = u_e(t) - U_{\text{ref1}}$	
$u_{d2}(t) = u_e(t) - U_{\text{ref2}}$	
b) Berechnen von R_2 , sodass $U_{\text{ref1}} = 2 \text{ V}$:	
$R_2 = \frac{U_{\text{Bat}}}{U_{\text{ref1}}} \cdot R_3 - R_1 - R_3 = \frac{12 \text{ V}}{2 \text{ V}} \cdot 20 \text{ k}\Omega - 20 \text{ k}\Omega - 20 \text{ k}\Omega = 80 \text{ k}\Omega$	
$U_{\text{ref2}} = U_{\text{Bat}} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 12 \text{ V} \cdot \frac{80 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega + 80 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ V}$	

c) Zeitliche Verläufe von $u_e(t)$, U_{ref1} , U_{ref2} , $u_{a1}(t)$, $u_{a2}(t)$ und $u_{a3}(t)$:

Für $u_{a3}(t)$ gilt in Abhängigkeit von $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$: $u_{a1}(t) = u_{a2}(t) - u_{a1}(t)$



Umschaltzeitpunkte abgelesen: $t_1 = 11\text{ s}$ $t_2 = 15\text{ s}$

Aufgabe 5.3: Anzeige mit einer LED (3 Punkte)

a) Vorwiderstand R_V :

R_V wird für die Einstellung des Arbeitspunktes der LED benötigt (Strombegrenzung).

b)

Nein, da im betreffenden Intervall die Spannung $u_{a3}(t)$ negativ ist, d.h. die LED ist in Sperrrichtung!

Sie muss umgepolst werden.

Aufgabe 6.1: Verständnisfragen (3 Punkte)

a) Zweck des Vorwiderstandes:

Mit R_V kann die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie beeinflusst werden sodass sich unterschiedliche Arbeitspunkte einstellen lassen.

a) Nachteil des Vorwiderstandes:

In einem ohmschen Widerstand entstehen Stromwärmeverluste. Verluste mindern den Wirkungsgrad, d.h. ein Betrieb mit R_V führt zu kleinerem (Gesamt)Wirkungsgrad.

Aufgabe 6.2: Nenndaten der GM (9 Punkte)

Berechnen von:

$$P_{el,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 12 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} = 120 \text{ W}$$

$$P_{mech,N} = P_{el,N} \cdot \eta_N = 120 \text{ W} \cdot 0,8 = 96 \text{ W}$$

$$P_{V,N} = P_{el,N} - P_{mech,N} = 120 \text{ W} - 96 \text{ W} = 24 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{P_{V,N}}{I_{AN}^2} = \frac{24 \text{ W}}{(10 \text{ A})^2} = 0,24 \Omega$$

$$U_{i,N} = U_{AN} - R_A \cdot I_{AN} = 12 \text{ V} - 0,24 \Omega \cdot 10 \text{ A} = 9,6 \text{ V}$$

$$M_N = \frac{P_{mech,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{96 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 0,23 \text{ Nm}$$

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{9,6 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 22,92 \text{ mVs}$$

$$n_{0N} = \frac{U_{AN}}{2 \cdot \pi \cdot c \cdot \Phi} = \frac{12 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot 22,92 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} \approx 5.000 \text{ min}^{-1}$$

Aufgabe 6.3: Arbeitspunkt AP 1 (8 Punkte)

Berechnen von:

$$U_{i,AP1} = 2 \cdot \pi \cdot n_{AP1} \cdot c \cdot \phi = 2 \cdot \pi \cdot \frac{3.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} \cdot 22,92 \cdot 10^{-3} \text{ Vs} = 7,2 \text{ V}$$

$$P_{\text{mech},AP1} = M_{AP} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{AP1} = 0,8 \cdot 0,23 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{3.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}} = 57,8 \text{ W}$$

$$I_{A,AP1} = \frac{P_{\text{mech},AP1}}{U_{i,AP1}} = \frac{57,8 \text{ W}}{7,2 \text{ V}} \approx 8 \text{ A}$$

$$U_{A,AP1} = R_A \cdot I_{A,AP1} + U_{i,AP1} = 0,24 \Omega \cdot 8 \text{ A} + 7,2 \text{ V} = 9,12 \text{ V}$$

$$R_{V,AP1} = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{A,AP1}}{I_{A,AP1}} = \frac{12 \text{ V} - 9,12 \text{ V}}{8 \text{ A}} = 0,36 \Omega$$

$$\eta_{AP1} = \frac{P_{\text{mech},AP1}}{P_{\text{el},AP1}} = \frac{P_{\text{mech},AP1}}{U_{\text{Bat}} \cdot I_{A,AP1}} = \frac{57,8 \text{ W}}{12 \text{ V} \cdot 8 \text{ A}} = 60 \%$$