

**Aufgabe 1****20 Punkte****Aufgabe 1.1****4 Punkte****a) SSK**

Es werden durch verändern von  $R_L$  mehrere Wertepaare ( $U_{AB} / I_{AB}$ ) aus Strom- und Spannungsmessungen bestimmt und diese in einem Diagramm grafisch dargestellt, z. B.  $U_{AB}$  über  $I_{AB}$ .

**b) Es genügen zwei Messpunkte**

Das Netzwerk ist linear, da es nur aus linearen Zweipolen besteht. Somit ist die Strom-Spannungs-Kennlinie eine Gerade. Eine Gerade ist durch zwei Punkte vollständig bestimmt.

**c) Leerlauf**

Leerlauf bedeutet, dass im Zweig A-B kein Strom fließt, d. h.  $I_{AB,LL} = 0$  A ist. Die Spannung  $U_{AB} = U_{AB,LL}$  nimmt bei Leerlauf ihren maximalen Wert an.

$I_{AB} = 0$  A wird erreicht, wenn im Zweig A-B ein unendlich großer Widerstand ist.

**d) Kurzschluss**

Kurzschluss bedeutet, dass die Klemmen A-B mit einem Widerstand von null Ohm verbunden sind. Im Zweig A-B fließt somit der maximale Strom, d. h.

$I_{AB} = I_{AB,KS} = I_{AB,max}$ . Die Spannung  $U_{AB} = U_{AB,KS}$  ist null (also minimal).

**Aufgabe 1.2****5 Punkte****a) Spannung U**

Aus der Leerlaufspannung aus SSK:  $I_{AB,LL} = 0$  A  $\rightarrow U_{AB,LL} = 12$  V

Spannungsteiler-Regel:  $U_{AB,LL} = U \cdot \frac{R}{R + R} = U \cdot \frac{1}{2} = 12$  V

$$U = 2 \cdot 12 \text{ V} = 24 \text{ V}$$

## b) Ströme und Spannungen

Aus SSK im Kurzschluss-Punkt:  $U_{AB,KS} = 0 \text{ V} \rightarrow I_{AB,KS} = 4 \text{ A}$

Der Kurzschluss-Strom errechnet sich:

$$I_{AB,KS} = \underbrace{\frac{U}{R + \frac{R \cdot R}{R + R}}}_{\text{Gesamtwiderstand}} \cdot \underbrace{\frac{R}{R + R}}_{\text{Stromteiler-Regel}} = \frac{U}{R + \frac{1}{2} \cdot R} \cdot \frac{1}{2} = \frac{U}{3 \cdot R} = 4 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{3 \cdot I_{AB,KS}} = \frac{24 \text{ V}}{3 \cdot 4 \text{ A}} = 2 \Omega$$

## Aufgabe 1.3 7 Punkte

### a) Ströme und Leistungen bei $R_L = R$

Gesamtwiderstand:

$$R_{\text{ges}} = R + \frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} = R + \frac{2 \cdot R^2}{3 \cdot R} = R + \frac{2}{3} \cdot R = \frac{5}{3} \cdot R = \frac{5}{3} \cdot 2 \Omega = 3,33 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{24 \text{ V}}{3,33 \Omega} = 7,2 \text{ A}$$

Hier werden  $I_2$  und  $I_3$  mit der Stromteiler-Regel berechnet:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{R + R_L}{R + R + R_L} = I_1 \cdot \frac{2 \cdot R}{3 \cdot R} = I_1 \cdot \frac{2}{3} = 7,2 \text{ A} \cdot \frac{2}{3} = 4,8 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 \cdot \frac{R}{R + R + R_L} = I_1 \cdot \frac{R}{3 \cdot R} = I_1 \cdot \frac{1}{3} = 7,2 \text{ A} \cdot \frac{1}{3} = 2,4 \text{ A}$$

**Probe (nicht verlangt):**  $I_1 = I_2 + I_3 = 4,8 \text{ A} + 2,4 \text{ A} = 7,2 \text{ A}$  stimmt!!

## b) Von der Quelle in 1 h gelieferte Energie

$$W_q = U \cdot I_1 \cdot t = 24 \text{ V} \cdot 7,2 \text{ A} \cdot 3.600 \text{ s} = 622.080 \text{ Ws} = 622,08 \text{ kJ}$$

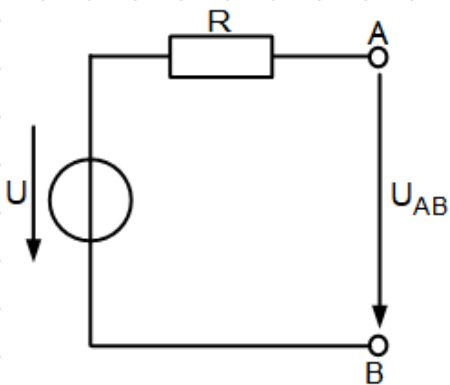
c) Die in 1 h in Wärme umgewandelte elektrische Energie in  $R_L$ 

$$W_L = R_L \cdot I_3^2 \cdot t = 2 \Omega \cdot (2,4 \text{ A})^2 \cdot 3.600 \text{ s} = 41.472 \text{ Ws} = 41,472 \text{ kJ}$$

## Aufgabe 1.4

4 Punkte

## a) Ersatzspannungsquelle

b) Quellspannung  $U_q$  und Innenwiderstand  $R_i$ 

Aus SSK:  $U_q = U_{AB,LL} = 12 \text{ V}$

$$I_{KS} = \frac{U_q}{R_i} = 4 \text{ A} \quad R_i = \frac{U_q}{I_{KS}} = \frac{12 \text{ V}}{4 \text{ A}} = 3 \Omega$$

**Oder:**  $R_i = R + \frac{R \cdot R}{R + R} = 2 \Omega + \frac{2 \Omega \cdot 2 \Omega}{2 \Omega + 2 \Omega} = 3 \Omega$

**Aufgabe 2**      **20 Punkte**
**Aufgabe 2.1**      **1 Punkt**

a) Im Gegensatz zum Ohmwiderrstand ist der Kondensator ein Energiespeicher.

Das Grundgesetz lautet  $i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$

**Aufgabe 2.2**      **3 Punkte**

a) Beide Schalter sind offen:

| Größe                     | Begründung                                                                   |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $u_C(t) = 0 \text{ V}$    | C ist ungeladen.                                                             |
| $i_C(t) = 0 \text{ A}$    | Offener Stromkreis.                                                          |
| $i_2(t) = 0 \text{ A}$    | Kein geschlossener Stromkreis.                                               |
| $u_{R2}(t) = 0 \text{ V}$ | Strom durch $R_2$ ist null $\rightarrow$ OG $\rightarrow$ Spannung ist null. |
| $i(t) = 0 \text{ A}$      | Kein geschlossener Stromkreis.                                               |
| $u_{AB}(t) = U$           | MR und kein Spannungsabfall an $R_1$ weil Strom null ist.                    |

**Aufgabe 2.3**      **4 Punkte**

a) Schalter  $S_1$  wird geschlossen ( $S_2$  bleibt offen)

Es findet kein Ausgleichsvorgang statt, da bei der Schalthandlung kein Energiespeicher beteiligt ist (Strom und Spannung an R darf / kann springen).

b)

| Größe                                       | Begründung                                      |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| $u_C(t) = 0 \text{ V}$                      | C ist ungeladen.                                |
| $i_C(t) = 0 \text{ A}$                      | $S_2$ offen $\rightarrow$ offener Stromkreis.   |
| $i(t) = \frac{U}{R_1 + R_2}$                | Eine Masche.                                    |
| $i_2(t) = i(t) = \frac{U}{R_1 + R_2}$       | Eine Masche bzw. „formal“ mit Knotenregel (KR). |
| $u_{R2}(t) = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ | OG oder Spannungsteiler-Regel.                  |
| $u_{AB}(t) = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ | MR.                                             |

### Aufgabe 2.4 8 Punkte

- a) Es kommt zu einem Ausgleichsvorgang (Einschwingvorgang), weil bei der Schalthandlung ein Energiespeicher beteiligt ist. Hier wird der ungeladene Kondensator zugeschaltet. Die Energiekennzeichnende Größe (hier die Kondensatorspannung) muss stetig verlaufen und kann / darf nicht springen.

### b) Unmittelbar (unendlich kurz) nach dem Schließen von $S_2$

| Größe                                  | Begründung                                                  |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $u_C(t_1) = 0 \text{ V}$               | Spannung muss stetig verlaufen, kann / darf nicht springen. |
| $u_{R2}(t_1) = u_C(t_1) = 0 \text{ V}$ | MR                                                          |

|                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $i_2(t_1) = 0 \text{ A}$            | OG mit $u_{R2}(t_1) = 0 \text{ V}$ .  |
| $i(t_1) = \frac{U}{R_1}$            | MR, OG mit $u_C(t_1) = 0 \text{ V}$ . |
| $i_C(t_1) = i(t_1) = \frac{U}{R_1}$ | KR mit $i_2(t_1) = 0 \text{ A}$ .     |
| $u_{AB}(t_1) = 0 \text{ V}$         | MR.                                   |

**c)  $S_1$  und  $S_2$  sind lange geschlossen (unendlich lange)**

| Größe                                                       | Begründung                                          |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $i_C(t_2) = 0 \text{ A}$                                    | Kondensator voll $\rightarrow$ stationärer Zustand. |
| $i(t_2) = \frac{U}{R_1 + R_2}$                              | MR, KR und OG.                                      |
| $i_2(t_2) = i(t_2) = \frac{U}{R_1 + R_2}$                   | KR mit $i_C(t_2) = 0 \text{ A}$ .                   |
| $u_{R2}(t_2) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$               | OG.                                                 |
| $u_C(t_2) = u_{R2}(t_2) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$    | MR.                                                 |
| $u_{AB}(t_2) = u_{R2}(t_2) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ | MR.                                                 |

## Aufgabe 2.5

4 Punkte

a)  $S_1$  wird geöffnet,  $S_2$  bleibt geschlossen

| Größe                                                      | Begründung                             |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| $u_C(t_3) = u_C(t_2) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$      | Spannung darf / kann nicht springen.   |
| $u_{R2}(t_3) = u_C(t_3) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$   | MR.                                    |
| $i_2(t_3) = \frac{u_{R2}(t_3)}{R_2} = \frac{U}{R_1 + R_2}$ | KR mit $i_C(t_2) = 0$ A.               |
| $i(t_3) = 0$ A                                             | Kein geschlossener Stromkreis.         |
| $i_C(t_3) = -i_2(t_3) = -\frac{U}{R_1 + R_2}$              | Formal KR.                             |
| $u_{AB}(t_2) = U$                                          | MR, OG kein Spannungsabfall an $R_1$ . |

b) Der Kondensator wird kontinuierlich über  $R_2$  entladen. In  $R_2$  wird die anfangs gespeicherte Energie in Wärme umgewandelt und an die Umgebung abgegeben.

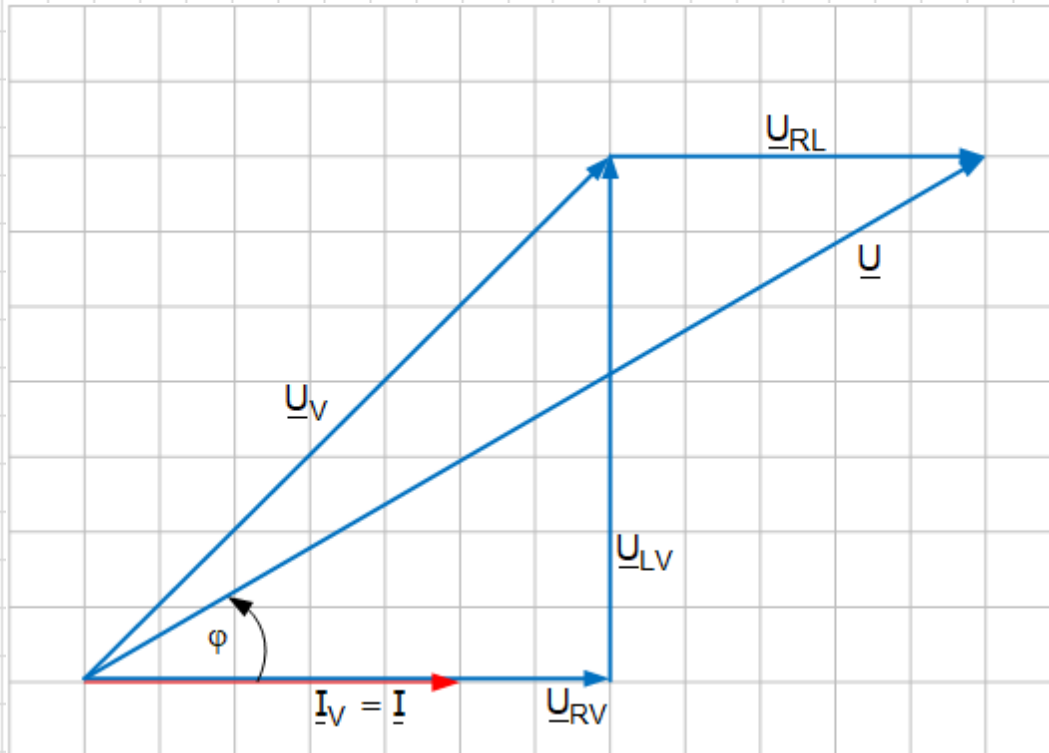
## Aufgabe 3

20 Punkte

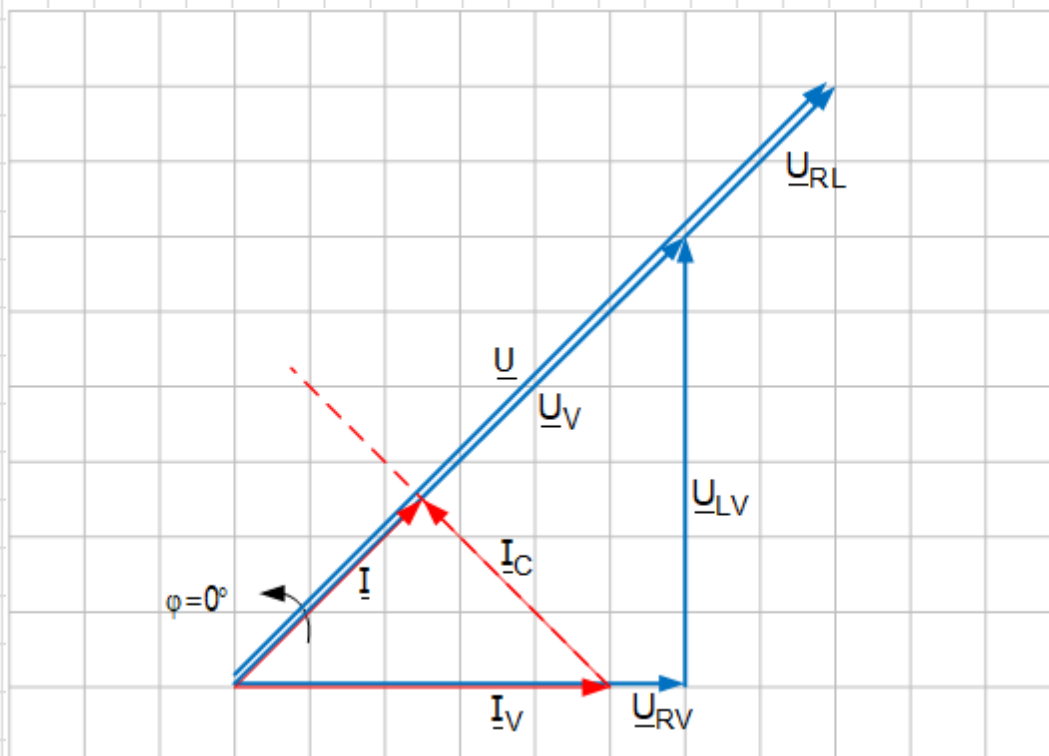
## Aufgabe 3.1

6 Punkte

## a) Zeigerdiagramm (qualitativ) ohne Blindleistungskompensation



## b) Zeigerdiagramm (qualitativ) mit vollständiger Blindleistungskompensation



## Aufgabe 3.2

8 Punkte

a) Ersatzimpedanz  $\underline{Z}$ .

$$\underline{Z} = R_L + R_V + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_V$$

$$\underline{Z} = 2 \, \Omega + 20 \, \Omega + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \, \text{s}^{-1} \cdot 31,84 \, \text{mH} = (22 + j \cdot 10) \, \Omega$$

## b) Ströme und Spannungen.

Es gelten auch die kartesischen Formen!!

$$\underline{Z} = (22 + j \cdot 10) \, \Omega = \sqrt{(22 \, \Omega)^2 + (10 \, \Omega)^2} \cdot e^{j \cdot \arctan\left(\frac{10 \, \Omega}{22 \, \Omega}\right)}$$

$$\underline{Z} = 24,17 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 24,44^\circ}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_V = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{400 \, \text{V}}{24,17 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 24,44^\circ}} = \frac{400 \, \text{V}}{24,17 \, \Omega} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ} = 16,55 \, \text{A} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ}$$

$$\underline{U}_{RL} = R_L \cdot \underline{I} = 2 \, \Omega \cdot 16,55 \, \text{A} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ} = 33,1 \, \text{V} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ}$$

$$\underline{U}_{RL} = (30,1 - j \cdot 13,7) \, \text{V}$$

$$\underline{U}_{RV} = R_V \cdot \underline{I} = 20 \, \Omega \cdot 16,55 \, \text{A} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ} = 331 \, \text{V} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ}$$

$$\underline{U}_{RV} = (301,3 - j \cdot 137) \, \text{V}$$

$$\underline{U}_{LV} = j \cdot X_V \cdot \underline{I} = j \cdot 10 \, \Omega \cdot 16,55 \, \text{A} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ} = 165,5 \, \text{V} \cdot e^{j \cdot 65,56^\circ}$$

$$\underline{U}_{LV} = (68,5 + j \cdot 150,7) \, \text{V}$$

$$\underline{U}_V = \underline{Z}_V \cdot \underline{I} = (22 + j \cdot 10) \Omega \cdot 16,55 \text{ A} \cdot e^{-j \cdot 24,44^\circ}$$

$$\underline{U}_V = 369,73 \text{ V} \cdot e^{j \cdot 2,13^\circ}$$

$$\underline{U}_V = (369,9 + j \cdot 13,7) \text{ V}$$

### c) Verluste in $R_L$ .

$$P_{RL} = R_L \cdot I^2 = 2 \Omega \cdot (16,55 \text{ A})^2 \approx 548 \text{ W}$$

### d) Verbraucher Wirk- und Blindleistung

$$P_V = R_V \cdot I^2 = 20 \Omega \cdot (16,55 \text{ A})^2 \approx 5.478 \text{ W}$$

$$Q_V = X_V \cdot I^2 = 10 \Omega \cdot (16,55 \text{ A})^2 \approx 2.739 \text{ var}$$

## Aufgabe 3.3 6 Punkte

### a) Kapazität des Kondensators.

$$X_C = \frac{R_V^2 + X_V^2}{X_V} = \frac{(20 \Omega)^2 + (10 \Omega)^2}{10 \Omega} = 50 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 50 \Omega} = 63,7 \mu\text{F}$$

### b) Strom $\underline{I}$ und Effektivwert $I$ .

$$\underline{Z} = R_L + \frac{-j \cdot X_C \cdot \underline{Z}_V}{-j \cdot X_C + \underline{Z}_V} = 2 \Omega + \frac{-j \cdot 50 \Omega \cdot (20 + j \cdot 10) \Omega}{-j \cdot 50 \Omega + (20 + j \cdot 10) \Omega} \stackrel{\text{GTR}}{=} 27 \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{400 \text{ V}}{27 \Omega} = 14,82 \text{ A}$$

$$P_{RL} = R_L \cdot I^2 = 2 \Omega \cdot (14,82 \text{ A})^2 \approx 439 \text{ W}$$

Die Leitungsverluste sind kleiner geworden, weil der Effektivwert des Leitungsstromes durch die Blindstromkompensation kleiner geworden ist!

**Aufgabe 4****20 Punkte****Aufgabe 4.1****6 Punkte****a)  $U_{CE,AP}$ .**

Dadurch ergibt sich für das sinusförmige Signal die maximale Aussteuerbarkeit.

**b) Gleichanteile**

$$I_{C,AP} = \frac{U_{Bat} - U_{CE,AP}}{R_C} = \frac{0,5 \cdot U_{Bat}}{R_C} = \frac{6 \text{ V}}{120 \Omega} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{\beta} = \frac{50 \text{ mA}}{250} = 0,2 \text{ mA} = 200 \mu\text{A}$$

$$U_{BE,AP} = R_{BE} \cdot I_{B,AP} + U_{BE0} = 200 \Omega \cdot 200 \mu\text{A} + 0,6 \text{ V} = 0,64 \text{ V}$$

**c)  $R_1$  und  $R_2$ .**

$$I_{2,AP} = 10 \cdot I_{B,AP} = 10 \cdot 0,2 \text{ mA} = 2 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{U_{E,AP}}{I_{2,AP}} = \frac{0,64 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 320 \Omega$$

$$I_{1,AP} = I_{B,AP} + I_{2,AP} = 0,2 \text{ mA} + 2 \text{ mA} = 2,2 \text{ mA}$$

$$R_1 = \frac{U_{Bat} - U_{BE,AP}}{I_{1,AP}} = \frac{12 \text{ V} - 0,64 \text{ V}}{2,2 \text{ mA}} = 5.164 \Omega$$

**d) Transistor-Verlustleistung.**

Ohne Verluste im Basis-Emitter-Kreis:

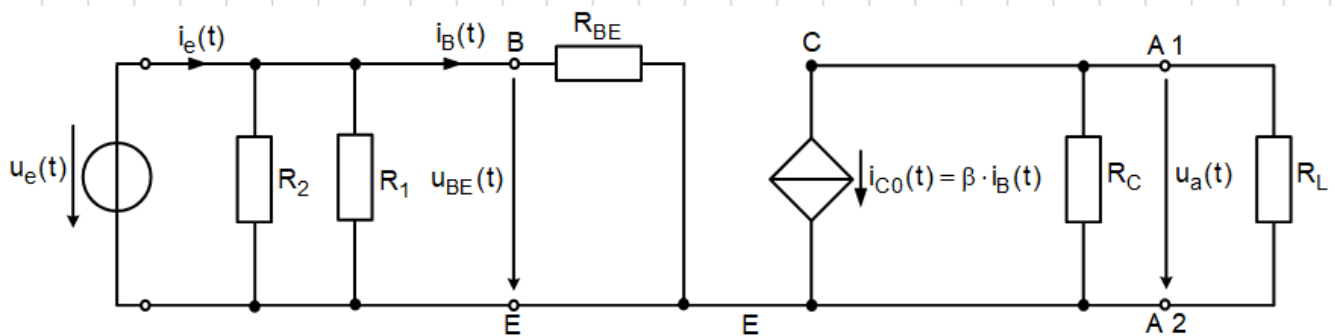
$$P_{T,AP} = U_{CE,AP} \cdot I_{C,AP} = 6 \text{ V} \cdot 50 \text{ mA} = 300 \text{ mW}$$

Mit den Verlusten im Basis-Emitter-Kreis (**nicht verlangt**):

$$P_{T,AP,2} = P_{T,AP} + U_{BE,AP} \cdot I_{B,AP} = 300 \text{ mW} + 0,64 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ mA} = 300,128 \text{ mW}$$

**Aufgabe 4.2****14 Punkte****a) Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$ .** $C_1$ : Einkoppeln des Eingangssignals und Abblocken der Batteriespannung. $C_2$ : Herausfiltern (unterdrücken) des Gleichspannungsanteils in  $u_{CE}$ .**b) Vereinfachung:**

$$X_C = \lim_{C \rightarrow \infty} \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 0 \, \Omega \text{ d. h. Wechsignale kommen „ungehindert“ durch.}$$

**c) Wechselstrom-Ersatzschaltbild****d) Amplitude und Effektivwert**

Aus der gegebenen Zeitfunktion:  $\hat{u}_e = 10 \text{ mV}$   $f_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{1 \text{ ms}} = 1 \text{ kHz}$

Für sinusförmige Größen gilt:  $U_e = \frac{\hat{u}_e}{\sqrt{2}} = \frac{10 \text{ mV}}{\sqrt{2}} = 7,071 \text{ mV}$

**e) Dachwerte der Ströme**

$$\hat{i}_B = \frac{\hat{u}_e}{R_{BE}} = \frac{10 \text{ mV}}{200 \, \Omega} = 50 \, \mu\text{A} \rightarrow \hat{i}_{C0} = \beta \cdot \hat{i}_B = 250 \cdot 50 \, \mu\text{A} = 12,5 \text{ mA}$$

$$\hat{i}_e = \frac{\hat{u}_e}{R_1} + \frac{\hat{u}_e}{R_2} + \frac{\hat{u}_e}{R_{BE}} = \frac{10 \text{ mV}}{5.164 \, \Omega} + \frac{10 \text{ mV}}{320 \, \Omega} + \frac{10 \text{ mV}}{200 \, \Omega} = 83,19 \, \mu\text{A}$$

**f) Ausgangsspannungsamplitude und Spannungsverstärkung**

$$\hat{u}_a = \hat{i}_{C0} \cdot \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = 12,5 \text{ mA} \cdot \frac{120 \Omega \cdot 120 \Omega}{120 \Omega + 120 \Omega} = 12,5 \text{ mA} \cdot 60 \Omega = 0,75 \text{ V}$$

$$v_U = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_a} = \frac{0,75 \text{ V}}{10 \text{ mV}} = 75$$

**g) Leistungen und Leistungsverstärkung**

$$P_e = U_e \cdot I_e = \frac{\hat{u}_e}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{i}_e}{\sqrt{2}} = \frac{10 \text{ mV}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{83,19 \mu\text{A}}{\sqrt{2}} = 0,4159 \mu\text{W}$$

$$P_L = \frac{U_L^2}{R_L} = \left( \frac{\hat{u}_a}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_L} = \left( \frac{0,75 \text{ V}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{120 \Omega} = 2.343,75 \mu\text{W}$$

$$v_L = \frac{P_L}{P_e} = \frac{2.343,75 \mu\text{W}}{0,4159 \mu\text{W}} \approx 5.635$$

**Aufgabe 5****20 Punkte****Aufgabe 5.1****7 Punkte****a)  $U_{e1}$** 

Spannungsteiler-Regel anwendbar, da in den OP kein Strom fließt (ideal).

$$U_e = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ V} \cdot \frac{1.000 \, \Omega}{1.000 \, \Omega + 1.000 \, \Omega} = 5 \text{ V}$$

**b) Temperaturabhängiger Widerstand.**

$$R_4(50^\circ\text{C}) = 1.000 \, \Omega \cdot \left(1 + \frac{50^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}}\right) = 1.200 \, \Omega$$

$$R_4(80^\circ\text{C}) = 1.000 \, \Omega \cdot \left(1 + \frac{80^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}}\right) = 1.320 \, \Omega$$

$$R_4(90^\circ\text{C}) = 1.000 \, \Omega \cdot \left(1 + \frac{90^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}}\right) = 1.360 \, \Omega$$

Es handelt sich um einen Kaltleiter, weil mit abnehmender Temperatur der Widerstand kleiner wird ( $\vartheta$  kleiner  $\rightarrow$  Widerstand kleiner).

**c) OP 1 - Grundsaltung.**

Es handelt sich um einen nicht-invertierenden Verstärker.

**d) Nichtinvertierender Verstärker.**

$$U_{a1}(\vartheta) = U_{e1} \cdot \left(1 + \frac{R_4(\vartheta)}{R_3}\right)$$

**e) Widerstand  $R_3$ .**

$$U_{a1}(\vartheta = 50^\circ\text{C}) \stackrel{!}{=} 11 \text{ V} = U_{e1} \cdot \left(1 + \frac{R_4(\vartheta = 50^\circ\text{C})}{R_3}\right)$$

$$11 \text{ V} = 5 \text{ V} \cdot \left(1 + \frac{1.200 \, \Omega}{R_3}\right) \quad \rightarrow \quad R_3 = \frac{1.200 \, \Omega}{\frac{11 \text{ V}}{5 \text{ V}} - 1} = 1.000 \, \Omega$$

**Aufgabe 5.2**      **11 Punkte**
**a) OP-Grundsaltungen.**

Beides Mal Komparatoren (OP-Schaltung ohne Rückkopplung).

Die Ausgangsspannungen können nur die Werte + 15 V oder – 15 V annehmen.

**b) Zweck der Referenzspannungen.**

Über die Referenzspannungen können die Umschaltunkte der Komparatoren eingestellt werden d. h wann die Ausgangsspannungen von + 15 V auf - 15 V bzw. - 15 V auf + 15 V springen.

**c) Komparator mit OP 2**

$$U_{d2}(\vartheta) = U_{a1}(\vartheta) - U_{ref,1}$$

Umschaltpunkt des Komparators (OP 2):

$$U_{d2}(\vartheta) = 0 \Leftrightarrow U_{a1}(\vartheta) = U_{ref,1} = 11,8 \text{ V}$$

$$U_{a1}(\vartheta) \stackrel{!}{=} 11,8 \text{ V} = 5 \text{ V} \cdot \left( 1 + \frac{R_4(\vartheta)}{1.000 \Omega} \right)$$

$$R_4(\vartheta) = \left( \frac{11,8 \text{ V}}{5 \text{ V}} - 1 \right) \cdot 1.000 \Omega = 1.360 \Omega = R_4(\vartheta = 90^\circ \text{C}) \leftarrow \text{siehe oben!}$$

Umschaltpunkt liegt bei:  $\vartheta = 90^\circ \text{C}$

Für  $\vartheta > 90^\circ \text{C} \rightarrow R_4 > 1.360 \Omega \rightarrow U_{a1} > 11,8 \text{ V} \rightarrow U_{d2} > 0 \text{ V} \rightarrow U_{a2} = + 15 \text{ V}$

**Somit: LED 1 leuchtet für  $\vartheta > 90^\circ \text{C}$ .**

**d) Komparator mit OP 3**

$$U_{d3}(\vartheta) = U_{ref,2} - U_{a1}(\vartheta)$$

Umschaltpunkt des Komparators (OP 3):  $U_{a1}(\vartheta) = U_{ref,2} = 11,6 \text{ V}$

$$U_{a1}(\vartheta) \stackrel{!}{=} 11,6 \text{ V} = 5 \text{ V} \cdot \left( 1 + \frac{R_4(\vartheta)}{1.000 \Omega} \right)$$

$$R_4(\vartheta) = \left( \frac{11,6 \text{ V}}{5 \text{ V}} - 1 \right) \cdot 1.000 \Omega = 1.320 \Omega = R_4(\vartheta = 80^\circ \text{C}) \leftarrow \text{siehe oben!}$$

Umschaltpunkt liegt bei:  $\vartheta = 80^\circ \text{C}$

Für  $\vartheta > 80^\circ \text{C} \rightarrow R_4 > 1.320 \Omega \rightarrow U_{a1} > 11,6 \text{ V} \rightarrow U_{d3} < 0 \text{ V} \rightarrow U_{a3} = -15 \text{ V}$

$\rightarrow$  LED 2 leuchtet nicht.  $\rightarrow$  **Somit: LED 2 leuchtet für  $\vartheta < 80^\circ \text{C}$ .**

**Tabelle ist nicht verlangt!!**

|                | $\vartheta < 80^\circ \text{C}$ | $80^\circ \text{C} < \vartheta < 90^\circ \text{C}$ | $\vartheta > 90^\circ \text{C}$ |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| LED 1 leuchtet | nein                            | nein                                                | ja                              |
| LED 2 leuchtet | ja                              | nein                                                | nein                            |

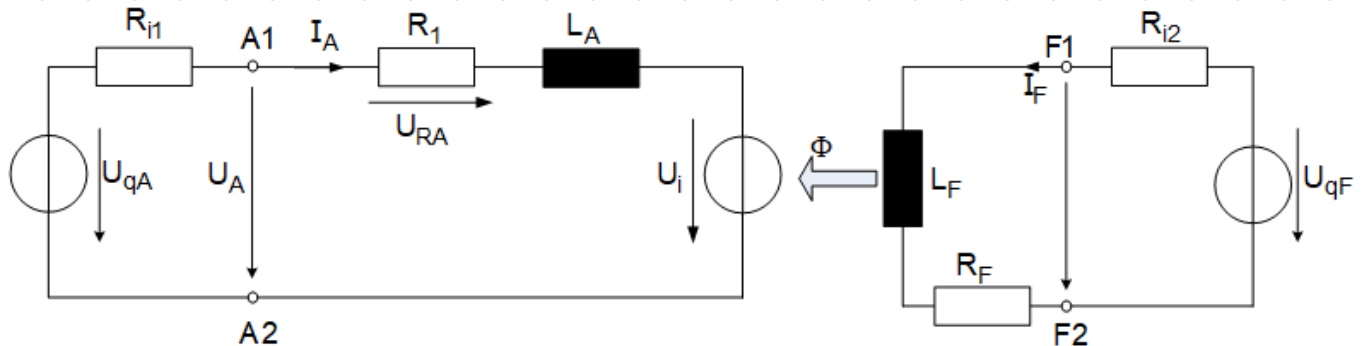
### Aufgabe 5.3 2 Punkte

#### a) Vorwiderstände der LED.

Zur Arbeitspunkteinstellung (d. h. zur Einstellung und damit Begrenzung des Stromes im Durchlassbereich).

#### b) Wert für $R_V$ .

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

**Aufgabe 6****20 Punkte****Aufgabe 6.1****5 Punkte****a) Ersatzschaltbild****b) Induktivitäten**

Stationäre Verhältnisse → Gleichgrößen → keine Spannungsabfälle an L.

**Aufgabe 6.2 – Maschinendaten****5 Punkte****a) Aus den Daten im AP 1**

$$(c \cdot \Phi) = \frac{U_{i,AP1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{AP1}} = \frac{260 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2.250 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s}}} = 1,1035 \text{ Vs}$$

Zuerst  $I_{A,AP1}$  berechnen:  $I_{A,AP1} = \frac{P_{\text{mech},AP1}}{U_{i,AP1}} = \frac{11.700 \text{ W}}{260 \text{ V}} = 45 \text{ A}$

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

$$U_{qA,AP1} = U_{A,AP1} + R_{i1} \cdot I_{A,AP1} = 296 \text{ V} + 0,2 \Omega \cdot 45 \text{ A} = 305 \text{ V}$$

$$U_{qF} = (R_{i2} + R_F) \cdot I_F = (0,2 \Omega + 40 \Omega) \cdot 6 \text{ A} = 241,2 \text{ V}$$

**Aufgabe 6.3 – Nennbetrieb**    **10 Punkte**

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

Aus der Leistungsbilanz folgt für die an der Welle abgegebene mechanische Leistung:

$$P_{\text{mech},N} = U_{qA,N} \cdot I_{A,N} - (R_{i1} + R_A) \cdot I_{A,N}^2$$

$$P_{\text{mech},N} = 380 \text{ V} \cdot 52 \text{ A} - (0,2 \Omega + 0,8 \Omega) \cdot (52 \text{ A})^2 = 17.056 \text{ W} \approx 17 \text{ kW}$$

$$U_{i,N} = \frac{P_{\text{mech},N}}{I_{A,N}} = \frac{17.056 \text{ W}}{52 \text{ A}} = 328 \text{ V}$$

$$U_{A,N} = U_{i,N} + R_A \cdot I_{A,N} = 328 \text{ V} + 0,8 \Omega \cdot 52 \text{ A} = 369,6 \text{ V} \approx 370 \text{ V}$$

$$n_N = \frac{P_{\text{mech},N}}{2 \cdot \pi \cdot M_N} = \frac{17.056 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 57,38 \text{ Nm}} = 47,308 \text{ s}^{-1}$$

$$n_N = 47,308 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 2.838,48 \text{ min}^{-1} \approx 2.838 \text{ min}^{-1}$$

$$\eta_N = \frac{P_{\text{mech},N}}{P_{\text{mech},N} + R_A \cdot I_{A,N}^2 + R_F \cdot I_F^2}$$

$$\eta_N = \frac{17.056 \text{ W}}{17.056 \text{ W} + 0,8 \Omega \cdot (52 \text{ A})^2 + 40 \Omega \cdot (6 \text{ A})^2} \approx 82,6 \%$$