

„Mess- und Schaltungstechnik“

Beachten Sie folgende Hinweise:

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (12 Aufgabenblätter)
- Es sind keine Hilfsmittel (z.B. Formelsammlung oder Taschenrechner) erlaubt. Smartwatches und Telefone sind im Rucksack oder in der Tasche zu verstauen.
- Verwenden Sie keinen Bleistift oder Rotstift.
- Benutzen Sie für eine neue Aufgabe ein neues Blatt.
- In den Aufgaben können 117 Punkte erreicht werden. Die Note 1,0 ist ab 96 Punkten erreicht.
- Die Zahlen vor den Unterpunkten geben die Teilpunkte der jeweiligen Teilaufgabe an.

Viel Erfolg!

Name, Vorname:

Masterlösung

Matrikelnummer:

\_\_\_\_\_

Unterschrift:

\_\_\_\_\_

Aufgabe	Punkte
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
Zusatzpkt.	
Summe	

Note	
------	--

### Aufgabe 1: (21 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 1.1 mit den idealen Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ , die jeweils ein  $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$  aufweisen. Weiterhin gelte:  $U_B = 20\text{ V}$ ,  $U_Z = 4,6\text{ V}$ ,  $C_1 = C_2 = C_3 \rightarrow \infty$ ,  $U_A \rightarrow \infty$  und  $B = \beta \rightarrow \infty$ .

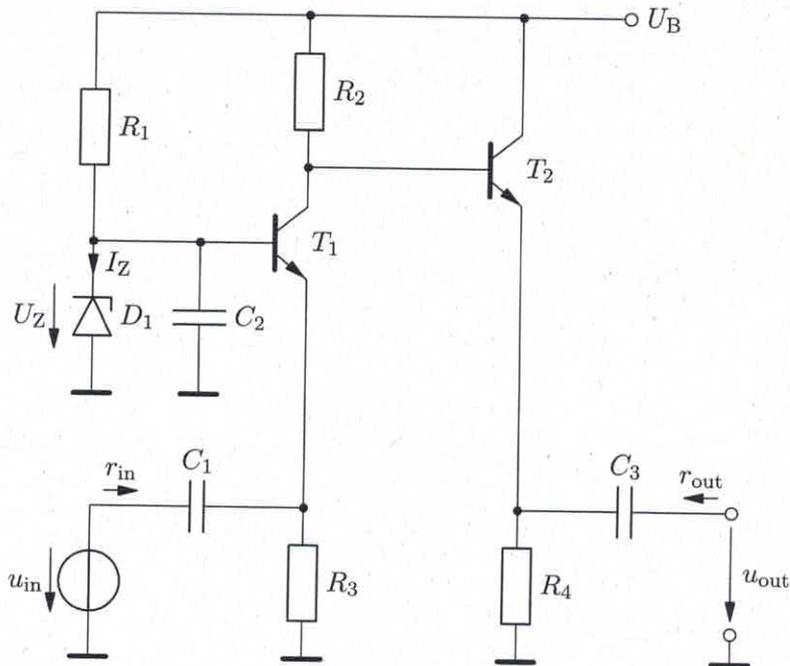


Abbildung 1.1

- 1 a) Bestimmen Sie  $R_1$  so, dass durch die Z-Diode  $D_1$  ein Strom von  $I_Z = 10\text{ mA}$  fließt.
- 6 b) Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  so, dass  $I_{C,1} = 2\text{ mA}$ ,  $U_{CE,1} = 8\text{ V}$  und  $I_{C,2} = 10\text{ mA}$  betragen.
- 4 c) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung aus Abbildung 1.1.
- 2 d) In welchen Schaltungsarten werden die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  betrieben?
- 2 e) Berechnen Sie die Gesamtverstärkung  $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$  der Schaltung.
- 3 f) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand  $r_{in}$  der Schaltung.
- 3 g) Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_{out}$  der Schaltung.

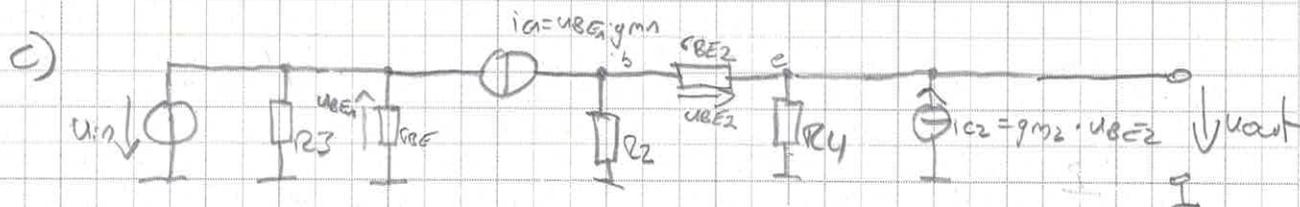
Aufgabe: 1

$$a) R_1 = \frac{U_B - U_Z}{I_Z} = \frac{20V - 4,6V}{10mA} = \underline{\underline{1,54k\Omega}}$$

$$b) R_3 = \frac{U_Z - U_{BE1}}{I_{C1}} = \frac{4,6V - 0,6V}{2mA} = \underline{\underline{2k\Omega}}$$

$$R_2 = \frac{U_B - U_{CE1} - U_{R3}}{I_{C1}} = \frac{20V - 8V - 4V}{2mA} = \underline{\underline{4k\Omega}}$$

$$R_4 = \frac{U_B - U_{R2} - U_{BE2}}{I_{C2}} = \frac{20V - 8V - 0,6V}{10mA} = \underline{\underline{1,14k\Omega}}$$



d)  $T_1$ : Basisschaltung  $T_2$ : Kollektorschaltung

$$e) v = v_1 \cdot v_2$$

$$v_1 = g_{m1} \cdot R_2 \quad ; \quad v_2 = 1$$

$$v = g_{m1} \cdot R_2$$

$$= \frac{I_{C1}}{U_T} \cdot R_2 = \frac{2mA \cdot 4k\Omega}{25mV} = \underline{\underline{320}}$$

$$f) r_{in} = R_3 \parallel \frac{1}{g_{m1}}$$

$$r_{in} = 2k\Omega \parallel 12,5\Omega$$

$$r_{in} \approx \underline{\underline{12,5\Omega}}$$

$$g) r_{out} = R_4 \parallel \frac{1}{g_{m2}} + \underbrace{R_2}_{\rightarrow \infty}$$

$$= R_4 \parallel \frac{1}{g_{m2}}$$

$$\approx \underline{\underline{2,5\Omega}}$$

## Aufgabe 2: (17 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung nach Abbildung 2.1a. Für die Transistoren gelte die Kennlinie nach Abbildung 2.1b sowie  $B = \beta \rightarrow \infty$  und  $U_{CE,sat} = 0\text{ V}$ . Weiterhin gelte:  $U_B = 5\text{ V}$ ,  $I_0 = 1\text{ mA}$ ,  $R_1 = 20\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 30\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = R_4 = 1,2\text{ k}\Omega$  und  $R_L = 1\text{ k}\Omega$ .

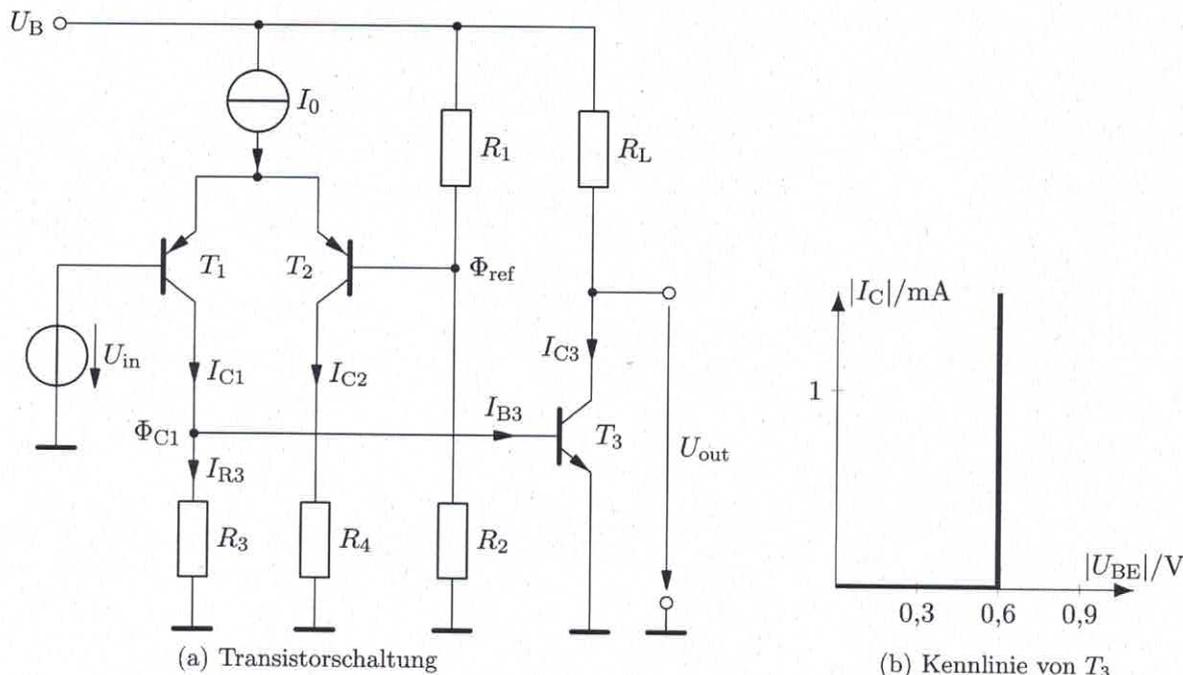


Abbildung 2.1

1 a) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{ref}$ .

Es gelte nun zunächst  $U_{in} = 4\text{ V}$ .

1 b) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C2}$ .

1 c) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C1}$ .

2 d) Bestimmen Sie die Ströme  $I_{R3}$  und  $I_{B3}$ .

1 e) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{C1}$ .

1 f) Bestimmen Sie  $U_{out}$ .

Es gelte nun  $U_{in} = 1\text{ V}$ .

1 g) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C2}$ .

1 h) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C1}$ .

2 i) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{C1}$ .

2 j) Bestimmen Sie die Ströme  $I_{R3}$  und  $I_{B3}$ .

2 k) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C3}$ .

1 l) Bestimmen Sie  $U_{out}$ .

1 m) In welchem Zustand befindet sich Transistor  $T_3$ ?

Aufgabe: 2

$$a) \phi_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_B = \frac{30k\Omega}{20k\Omega + 30k\Omega} \cdot 5V = \underline{\underline{3V}}$$

 $U_{in} = 4V$ 

$$b) I_{C2} = \underline{\underline{1mA}}$$

$$c) I_{C1} = \underline{\underline{0mA}}$$

$$d) I_{R3} = \underline{\underline{0mA}}, I_{B3} = \underline{\underline{0mA}}$$

$$e) \phi_{C1} = \underline{\underline{0V}}$$

$$f) U_{out} = \underline{\underline{5V}}$$

 $U_{in} = 1V$ 

$$g) I_{C2} = \underline{\underline{0mA}}$$

$$h) I_{C1} = \underline{\underline{1mA}}$$

$$i) \phi_{C1} = \underline{\underline{0.6V}}$$

$$j) I_{R3} = \frac{0.6V}{1.2k\Omega} = \underline{\underline{0.5mA}}; I_{B3} = \underline{\underline{0.5mA}}$$

$$k) I_{C3} = \frac{U_B - U_{CE,sat}}{R_L} = \frac{5V}{1k\Omega} = \underline{\underline{5mA}}$$

$$l) U_{out} = \underline{\underline{0V}}$$

### Aufgabe 3: (25 Punkte)

Für alle Schaltungen in dieser Aufgabe gelte: Der gegengekoppelte Operationsverstärker  $OP_1$  sei ideal, die Transistoren seien ideal mit  $B = \beta \rightarrow \infty$ ,  $U_A \rightarrow \infty$ . Weiterhin gelte:  $U_B = 5\text{ V}$ ,  $R_L = 1\text{ k}\Omega$ .

Betrachten Sie die Schaltung aus Abbildung 3.1.

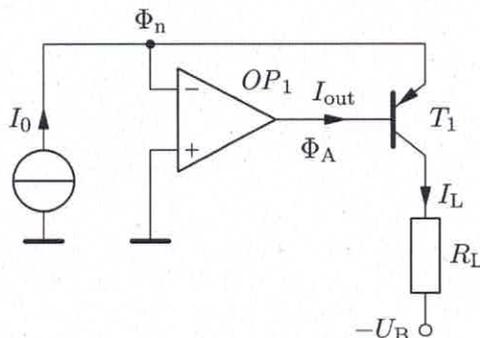


Abbildung 3.1

Zunächst gelte:  $I_0 = 0$ .

- 1 a) In welchem Zustand befindet sich der Transistor  $T_1$ ? Kreuzen Sie die richtige Antwort an:
- leitend       sperrend       gesättigt       überlastet

Nun sei  $I_0 = 2\text{ mA}$ .

- 2 b) Auf welchen Wert stellen sich die Potentiale  $\Phi_n$  und  $\Phi_A$  ein?  
*Hinweis: Treffen Sie für das Verhalten von  $T_1$  geeignete Annahmen.*
- 1 c) In welchem der oben genannten Zustände befindet sich nun der Transistor  $T_1$ ?
- 1 d) Bestimmen Sie  $I_{out}$  am Ausgang des Operationsverstärkers  $OP_1$ .
- 1 e) Wie groß ist der Strom  $I_L$ ?

Betrachten Sie jetzt die Schaltung aus Abbildung 3.2.

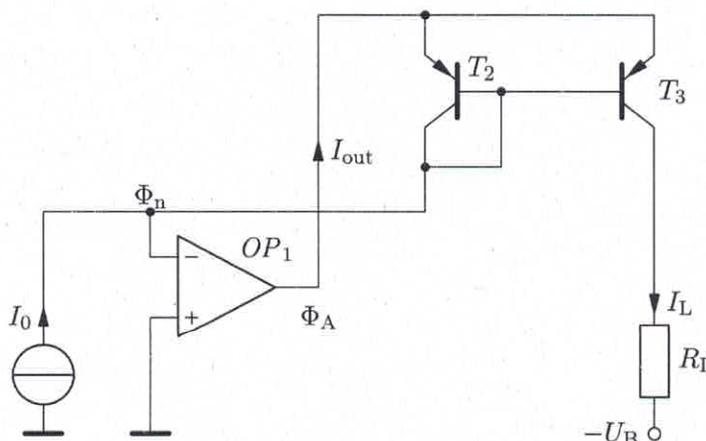


Abbildung 3.2

Jetzt sei  $I_0 = -2 \text{ mA}$ .

- 2 f) Auf welchen Wert stellen sich die Potentiale  $\Phi_n$  und  $\Phi_A$  ein?
- 1 g) In welchem der oben genannten Zustände befinden sich die Transistoren  $T_2$  und  $T_3$ ?
- 1 h) Bestimmen Sie  $I_{\text{out}}$  am Ausgang des Operationsverstärkers  $OP_1$ .
- 1 i) Wie groß ist der Strom  $I_L$ ?

Betrachten Sie nun die Gesamtschaltung aus Abbildung 3.3.

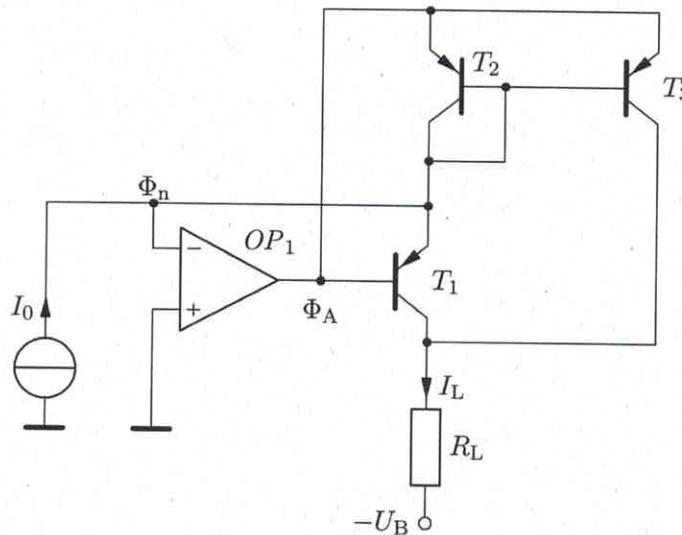


Abbildung 3.3

Jetzt sei  $I_0 = 2 \text{ mA}$ .

- 2 j) In welchem der oben genannten Zustände befinden sich die Transistoren  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$ ?
- 1 k) Bestimmen Sie die Kollektorströme  $I_{C1}$ ,  $I_{C2}$  und  $I_{C3}$ .
- 2 l) Wie groß ist der Strom  $I_L$ ? Wie groß sind die Potentiale  $\Phi_n$  und  $\Phi_A$ ?

Jetzt sei  $I_0 = -2 \text{ mA}$ .

- 2m) In welchem der oben genannten Zustände befinden sich die Transistoren  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$ ?
- 1n) Bestimmen Sie die Kollektorströme  $I_{C1}$ ,  $I_{C2}$  und  $I_{C3}$ .
- 2o) Wie groß ist der Strom  $I_L$ ? Wie groß sind die Potentiale  $\Phi_n$  und  $\Phi_A$ ?

Der Strom  $I_0$  weise nun den in Abbildung 3.4 gegebenen Verlauf auf.

- 4p) Tragen Sie den resultierenden Verlauf von  $I_L$  in das Diagramm aus Abbildung 3.4 ein. Welche Funktion hat die Schaltung?

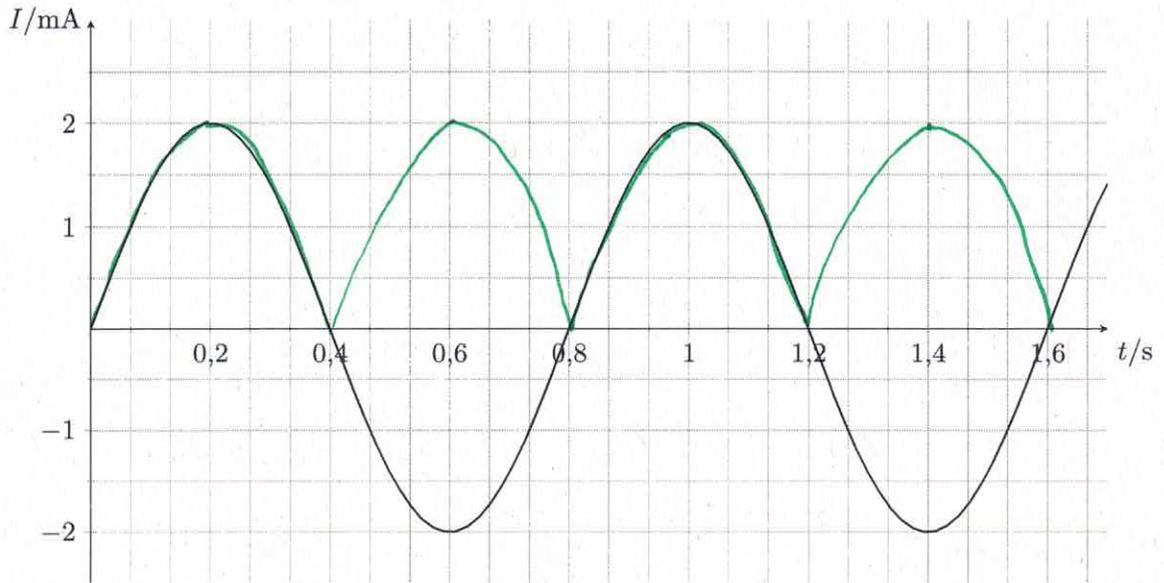


Abbildung 3.4: Diagramm Aufgabenteil 3 p)

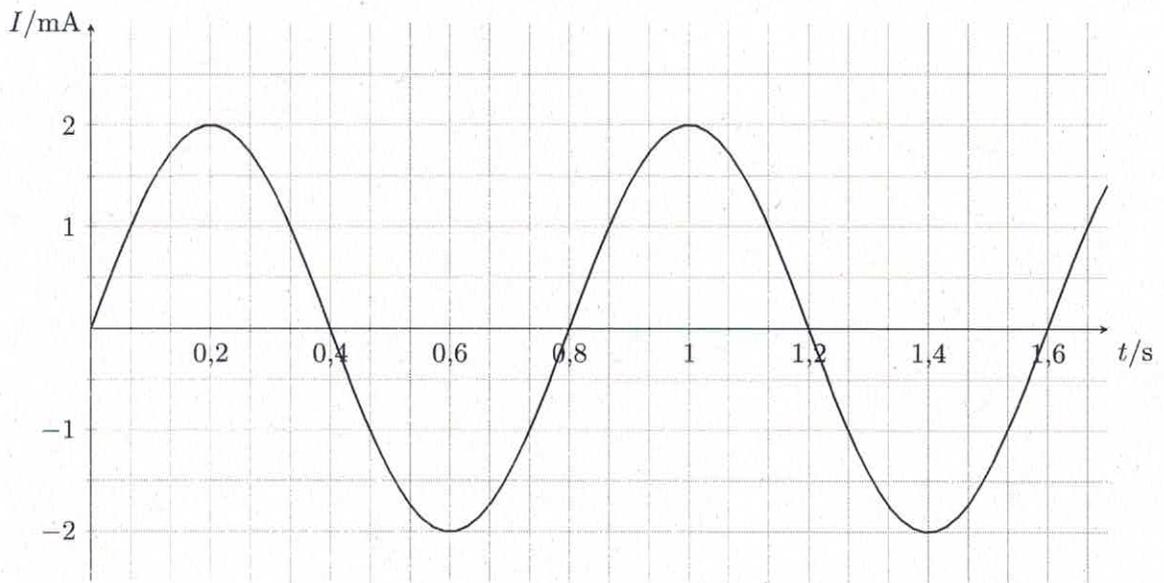


Abbildung 3.5: Reserve

Aufgabe: 3

1 a) Sperrend

Teil 1:  $I_0 = 2 \text{ mA}$

2 b)  $\phi_n = 0$ ,  $\phi_A = -U_{EB} = -0,6 \text{ V}$

1 c) leitend

1 d)  $I_{\text{out}} = 0$

1 e)  $I_L = I_0 = 2 \text{ mA}$

Teil 2:  $I_0 = -2 \text{ mA}$

2 f)  $\phi_n = 0 \text{ V}$ ;  $\phi_A = U_{EB2} = 0,6 \text{ V}$

1 g) T<sub>2</sub> leitet; T<sub>3</sub> leitet

1 h)  $I_{\text{out}} = -2I_0 = 4 \text{ mA}$

1 i)  $I_L = -I_0 = 2 \text{ mA}$

Teil 3:  $I_0 = 2 \text{ mA}$

2 j) T<sub>1</sub> leitet, T<sub>2</sub> und T<sub>3</sub> sperren

1 k)  $I_{C1} = 2 \text{ mA}$ ;  $I_{C2} = I_{C3} = 0$

2 l)  $I_L = 2 \text{ mA}$ ;  $\phi_n = 0 \text{ V}$ ;  $\phi_A = -U_{EB1} = -0,6 \text{ V}$

Teil 3:  $I_0 = -2 \text{ mA}$

2 m) T<sub>1</sub> sperrt, T<sub>2</sub> und T<sub>3</sub> leiten

1 n)  $I_{C1} = 0$ ;  $I_{C2} = I_{C3} = -I_0 = 2 \text{ mA}$

2 o)  $I_L = -I_0 = 2 \text{ mA}$ ;  $\phi_n = 0 \text{ V}$ ;  $\phi_A = 0,6 \text{ V}$

4 p) Stromgleichrichter

siehe Diagramm Sp

### Aufgabe 4: (15 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 4.1 mit einem idealen Operationsverstärker. Die beiden Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  sind vom gleichen Typ mit  $U_A \rightarrow \infty$ . Die Diode  $D_1$  ist eine Z-Diode mit  $U_Z = 6\text{ V}$ . Die Betriebsspannung  $U_B$  der Schaltung beträgt  $15\text{ V}$ . Für die Widerstände gelte:  $R_1 = 1,5\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1,5\text{ k}\Omega$ .

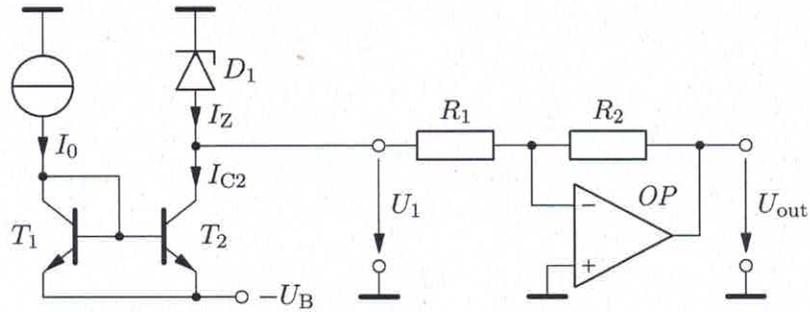


Abbildung 4.1: Schaltung

- 2 a) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  als Funktion von  $U_1$ .
- 1 b) Welche Schaltung bilden die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ ?
- 1 c) Bestimmen Sie den Kollektorstrom  $I_{C2} = f(I_0)$ . Es gelte:  $B = \beta \rightarrow \infty$ .
- 3 d) Bestimmen Sie den Strom  $I_0$ , bei dem die Diode  $D_1$  leitend wird.
- 3 e) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  in Abhängigkeit von  $I_0$ . Zeichnen Sie den Verlauf in das Diagramm in Abbildung 4.2 ein. Beschriften Sie hierzu auch die y-Achse.

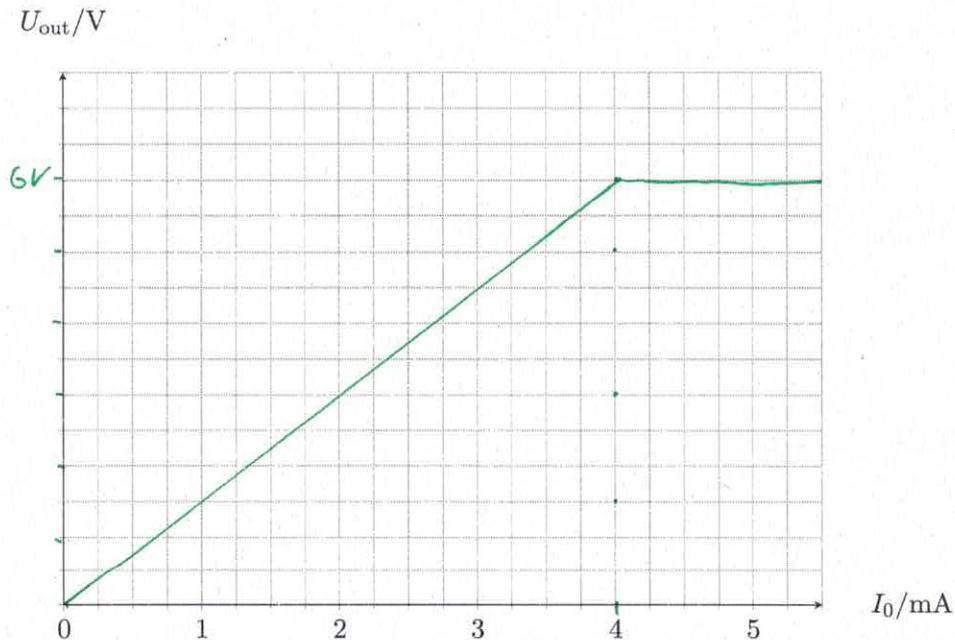


Abbildung 4.2: Diagramm Aufgabenteil 4 e)

Die Betriebstemperatur der Schaltung werde nun um 75 K erhöht.

- 2 f) Bestimmen Sie den Strom  $I_0$ , bei dem die Diode  $D_1$  nun leitend wird.  
*Hinweis: Verwenden Sie das Ihnen aus der Vorlesung bekannte Temperaturverhalten der Halbleiter-Bauelemente.*
- 3 g) Zeichnen Sie den neuen Verlauf der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  in das Diagramm in Abbildung 4.3 ein. Beschriften Sie hierzu auch die y-Achse.

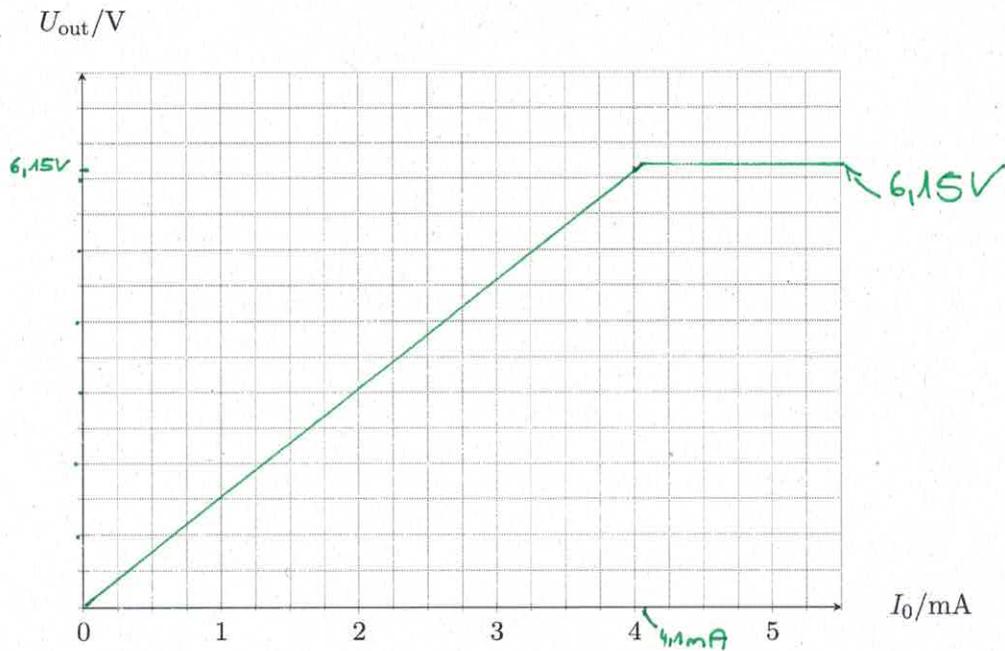


Abbildung 4.3: Diagramm Aufgabenteil 4 g)

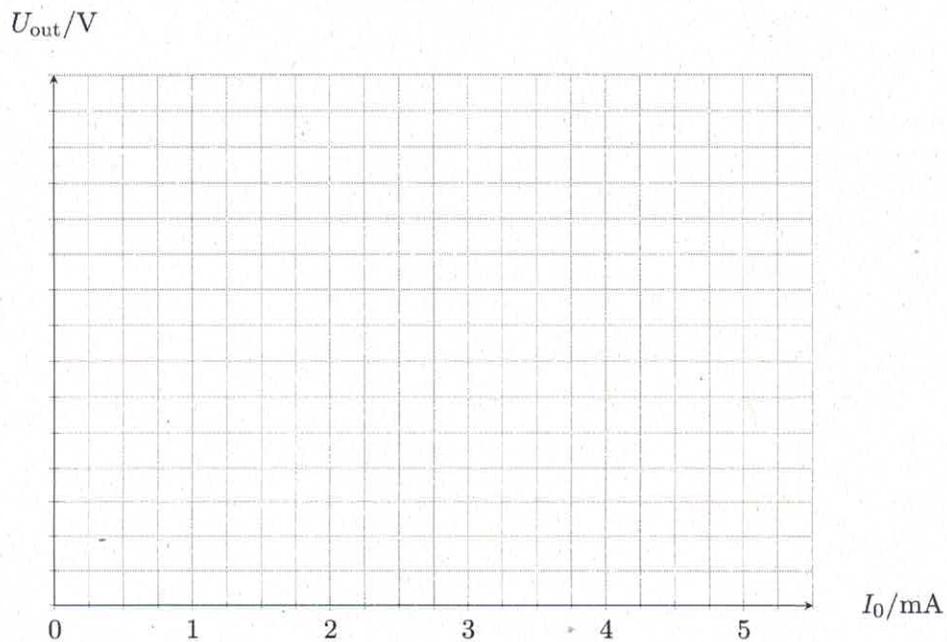


Abbildung 4.4: Reserve

Aufgabe: 4

$$a) \quad u_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_1 = \underline{\underline{-u_1}}$$

b) Stromspiegel

$$c) \quad I_{C2} = I_{C1} = \underline{\underline{I_0}}$$

$$d) \quad \text{D1 leitet ab } u_1 = u_2 = I_{C2} R_1$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{u_2}{R_1} = \frac{6V}{1,5k\Omega} = \underline{\underline{4mA}}$$

$$e) \quad \begin{cases} u_{out} = R_1 \cdot I_0 & ; I_0 \leq 4mA \\ u_{out} = 6V & ; I_0 > 4mA \end{cases}$$

siehe Diagramm 4e)

$$f) \quad \Delta u_2 = 2mV/K \cdot 75K = 0,15V$$

$$u_2 = 0,15V$$

$$I_0 = \frac{0,15}{1,5k\Omega} = 4,1mA$$

Hinweis:

$$\frac{du_2}{dT} > 0 \quad \text{für } u_2 \geq 5V$$

$$\text{Hier: } \frac{du_2}{dT} = 2mV/K$$

für eine 6V Diode.

$$g) \quad \begin{cases} u_{out} = R_1 \cdot I_0 & ; I_0 \leq 4,1mA \\ u_{out} = 6,1V & ; I_0 > 4,1mA \end{cases}$$

siehe Diagramm 4g

## Aufgabe 5: (18 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit zwei idealen, gegengekoppelten Operationsverstärkern.

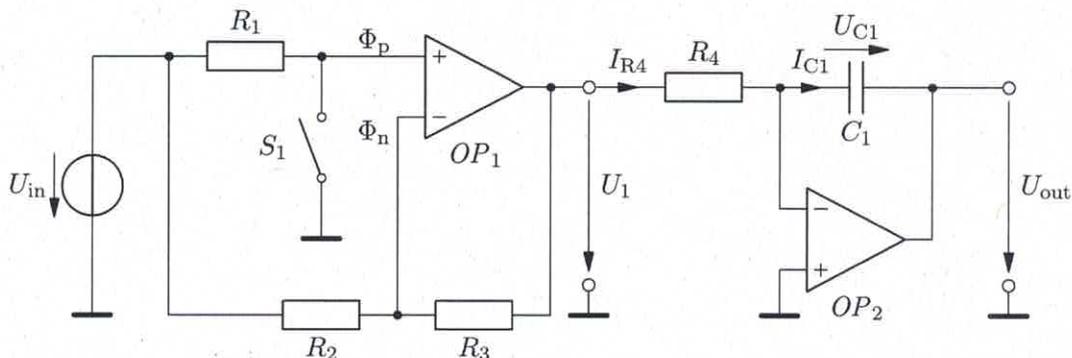


Abbildung 5.1

Zunächst sei der Schalter  $S_1$  geschlossen ( $S_1$  leitend).

- 2 a) Bestimmen Sie die Potentiale  $\Phi_p$  und  $\Phi_n$ .
- 2 b) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers  $OP_1$ :  $U_1 = f(U_{in}, R_1, R_2, R_3)$  zunächst allgemein.
- 1 c) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers  $OP_1$ :  $U_1 = f(U_{in}, R)$  für  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ .
- 1 d) Welche Funktion erfüllt diese Schaltung mit geschlossenem Schalter  $S_1$ ?

Jetzt sei der Schalter  $S_1$  geöffnet ( $S_1$  nicht leitend).

- 2 e) Bestimmen Sie die Potentiale  $\Phi_p$  und  $\Phi_n$ .
- 2 f) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers  $OP_1$ :  $U_1 = f(U_{in}, R_1, R_2, R_3)$  zunächst allgemein.
- 1 g) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers  $OP_1$ :  $U_1 = f(U_{in}, R)$  für  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ .
- 1 h) Welche Funktion erfüllt die Schaltung nun bei geöffnetem Schalter  $S_1$ ?

Es gelte nun  $U_{in} = 1 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$  und  $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ . Der Kondensator sei zum Zeitpunkt  $t = 0$  entladen.

Der Schalter  $S_1$  sei zunächst weiterhin geöffnet.

- 1 i) Bestimmen Sie den Strom  $I_{R4}$  durch den Widerstand  $R_4$ .
- 1 j) Bestimmen Sie den Strom  $I_{C1}$  durch den Kondensator  $C_1$ .
- 2 k) Bestimmen Sie Spannung die  $U_{C1}(t)$  über dem Kondensator  $C_1$  und die Ausgangsspannung  $U_{out}$  in Abhängigkeit der Zeit.

Der Schalter  $S_1$  werde nun gemäß Abbildung 5.2 geschaltet.

- 2 1) Zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  in das Diagramm in Abbildung 5.3. Beschriften Sie die vertikale Achse.

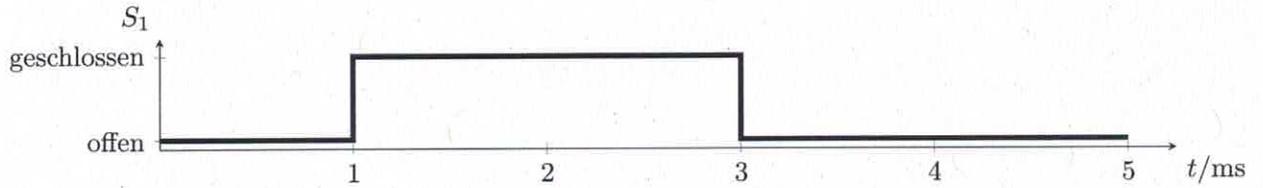


Abbildung 5.2: Verlauf von  $S_1$

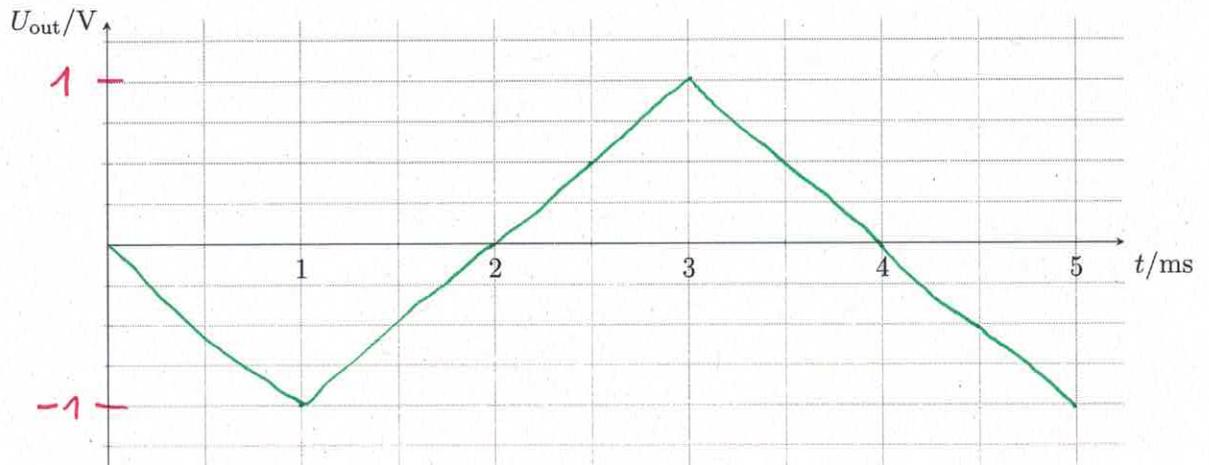


Abbildung 5.3: Diagramm Aufgabenteil 5 1)

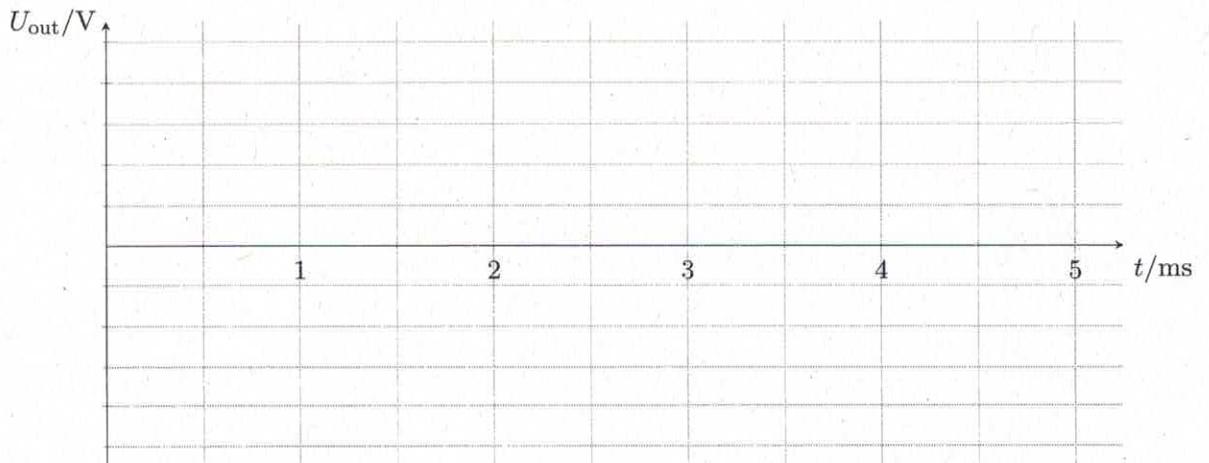


Abbildung 5.4: Reserve

Aufgabe: 5

$$a) \phi_p = 0V \quad \phi_n = 0V$$

$$b) u_{n+} = -u_{in} \frac{R_3}{R_2}$$

$$c) u_n = -u_{in}$$

d) invertierendes Verstärker

$$e) \phi_p = u_{in} \quad \phi_n = u_{in}$$

$$f) u_n = u_{in}$$

$$g) u_n = u_{in}$$

h) Spannungsfolger

$$i) I_{R_4} = \frac{u_{R_4}}{R_4} = \frac{1V}{1k\Omega} = 1mA$$

$$j) I_{R_4} = I_{C_1} = 1mA$$

$$k) \tau = RC \cdot C = 1ms$$

$$l) i_{C_1} = C_1 \frac{dU_{C_1}}{dt} \Rightarrow U_{C_1} = \int \frac{i_{C_1}}{C_1} dt$$

$$\stackrel{\text{da konst}}{\Rightarrow} \boxed{U_{C_1}(t) = -\frac{I_{C_1}}{C_1} t}$$

$$U_{out}(t) = -U_{C_1}(t)$$

## Aufgabe 6: (13 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 6.1 mit zwei idealen Operationsverstärkern.

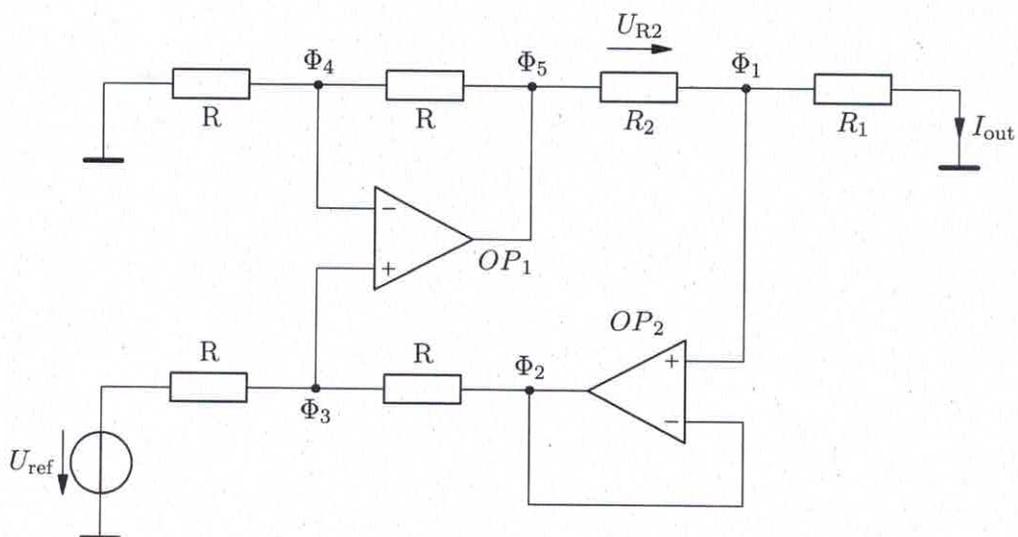


Abbildung 6.1

- 1 a) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_1 = f(R_1, I_{\text{out}})$ .
- 1 b) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_2 = f(R_1, I_{\text{out}})$ .
- 2 c) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_3 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{ref}})$ .
- 1 d) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_4 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{ref}})$ .
- 2 e) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_5 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{ref}})$ .
- 2 f) Wie groß ist die Spannung  $U_{R_2}$  über dem Widerstand  $R_2$ ?
- 1 g) Bestimmen Sie den Strom  $I_{\text{out}} = f(R, R_1, R_2, U_{\text{ref}})$ .

Es gelte nun  $R = 25 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,5 \text{ k}\Omega$  und  $U_{\text{ref}} = 2,5 \text{ V}$ .

- 1 h) Wie groß ist der Strom  $I_{\text{out}}$ ?
- 2 i) Welche Funktion hat die Schaltung?

Aufgabe: 6

$$a) \phi_1 = R_1 \cdot I_{out}$$

$$b) \phi_2 = \phi_1 = R_1 \cdot I_{out}$$

$$c) \phi_3 = \frac{U_{ref} + \phi_2}{2} = \frac{1}{2} (U_{ref} + R_1 I_{out})$$

$$d) \phi_4 = \phi_3 = \frac{1}{2} (U_{ref} + R_1 I_{out})$$

$$e) \phi_5 = 2 \cdot \phi_3 = U_{ref} + R_1 I_{out} \quad (\text{nicht inv. Verstärker})$$

$$f) U_{e2} = \phi_5 - \phi_1 = U_{ref}$$

$$g) I_{out} = \frac{U_{e2}}{R_2} = \frac{U_{ref}}{R_2}$$

$$h) I_{out} = \frac{2,5V}{2,5k\Omega} = 1mA$$

i) Spannungsgesteuerte Stromquelle

### Aufgabe 7: (8 Punkte)

Gegeben sei nun das Netzwerk aus Abbildung 7.1a. Der Strom  $I_0$  weise den in Abbildung 7.1b gegebenen Verlauf auf. Für den Kondensator gelte:  $C = 10 \mu\text{F}$ .

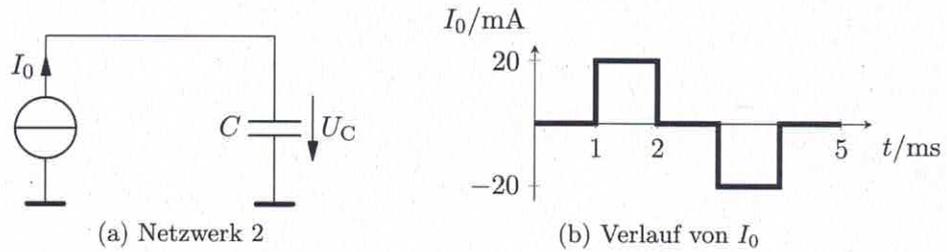


Abbildung 7.1

- 3 a) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung  $U_C$  in das Diagramm 7.2 mit  $U_C(t = 0) = 0$ . Beschriften Sie hierzu auch die y-Achse.

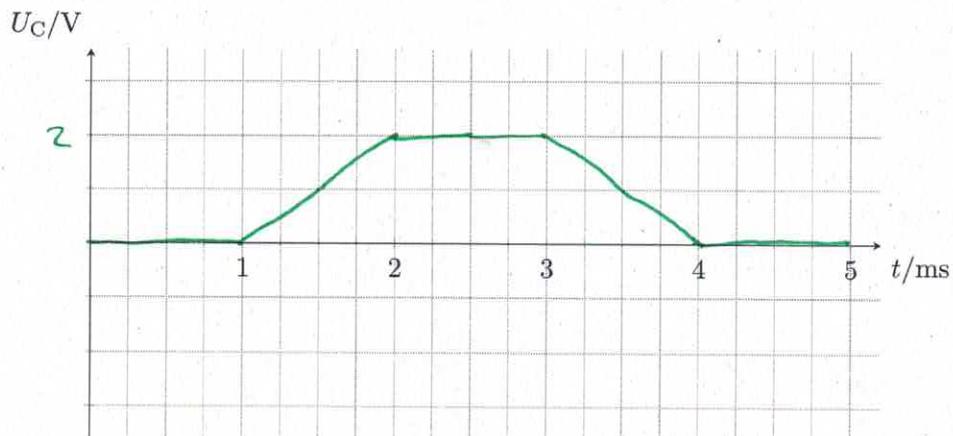


Abbildung 7.2: Diagramm Aufgabenteil 7 a)

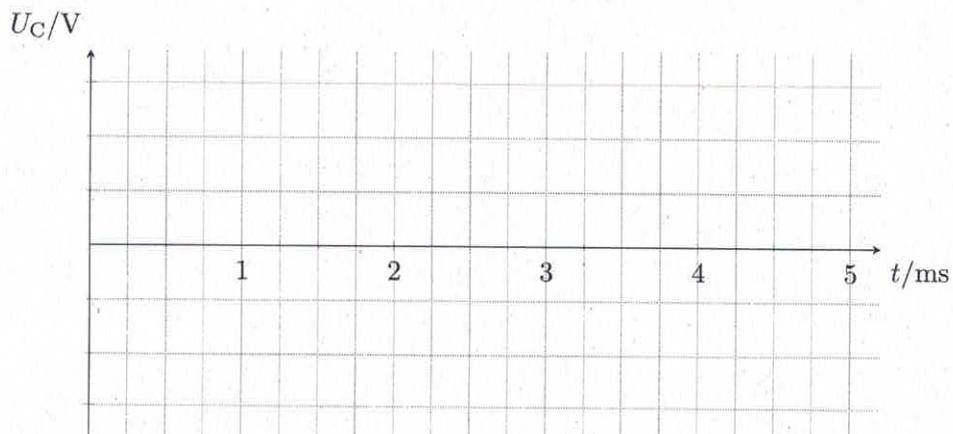


Abbildung 7.3: Reserve

Das Netzwerk aus Abbildung 7.1a wird nun durch eine ideale Z-Diode  $D_1$  erweitert (siehe Abbildung 7.4a). Der Strom  $I_0$  weise weiterhin den in Abbildung 7.1b gegebenen Verlauf auf. Für  $D_1$  gelte die Kennlinie nach 7.4b.

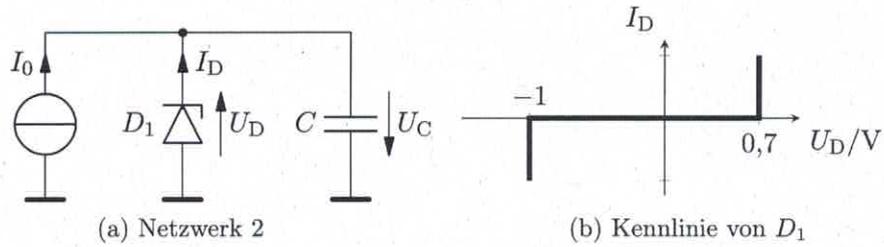


Abbildung 7.4

5 b) Zeichnen Sie nun den Verlauf der Spannung  $U_C$  in das Diagramm 7.5 mit  $U_C(t = 0) = 0$ . Beschriften Sie hierzu auch die y-Achse.



Abbildung 7.5: Diagramm Aufgabenteil 7 b)

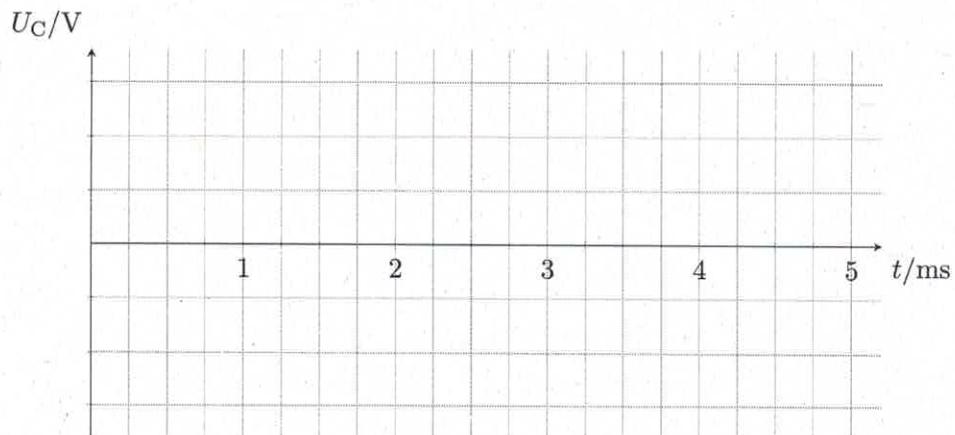


Abbildung 7.6: Reserve

Aufgabe: 7

$$a) \Delta u = \frac{I_0 \cdot \Delta t}{C} = \frac{20 \text{ mA} \cdot 1 \text{ ms}}{10 \mu\text{F}} = 2 \text{ V}$$

siehe Diagramm 7a)

b)  $u_C$  kann nicht größer als 1V und nicht kleiner als -0,7V werden.

siehe Diagramm 7b)