

**„Mess- und Schaltungstechnik“**

---

**Beachten Sie folgende Hinweise:**

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (10 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 120 Punkte erreicht werden. Die Note 1,0 ist ab 100 Punkten erreicht.
- Die Zahlen vor den Unterpunkten geben die Teilpunkte der jeweiligen Teilaufgabe an.

**Viel Erfolg!**

Name, Vorname: Musterlösung

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Aufgabe	Punkte
1	22
2	22
3	20
4	35
5	21
Bonuspunkte	10
Summe	130

Note	
------	--

## Aufgabe 1: (22 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 1.1. Die Transistoren  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  und  $T_4$  haben eine Stromverstärkung  $B = \beta \rightarrow \infty$ . Weiterhin gelte für alle Transistoren  $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$  und  $U_A \rightarrow \infty$ . Die Versorgungsspannung beträgt  $U_B = 10,6\text{ V}$  und die Temperaturspannung  $U_T = 25\text{ mV}$ . Für die Kondensatoren und Widerstände gelten folgende Werte:  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 \rightarrow \infty$ ,  $R_1 = R_2 = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 470\ \Omega$ ,  $R_4 = R_5 = R_6 = 250\ \Omega$ .

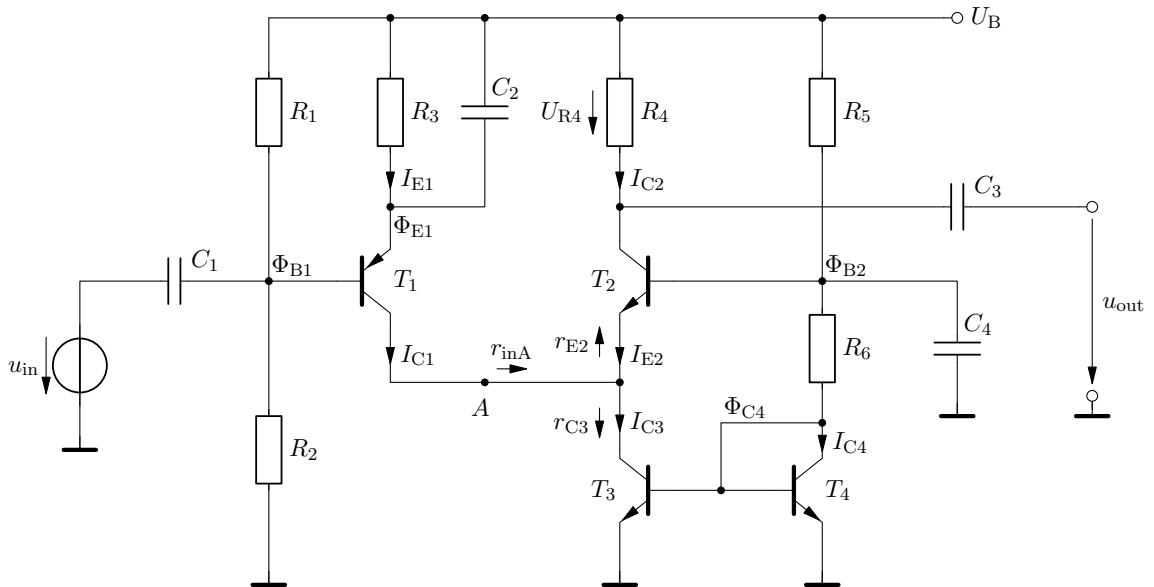


Abbildung 1.1

- 3 a) Berechnen Sie das Potential  $\Phi_{B1}$  und bestimmen Sie anschließend das Potential  $\Phi_{E1}$ .
- 2 b) Berechnen Sie den Strom  $I_{E1}$  und bestimmen Sie anschließend den Strom  $I_{C1}$ .
- 2 c) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{C4}$  und anschließend das Potential  $\Phi_{B2}$ .
- 2 d) Berechnen Sie den Strom  $I_{C4}$  und bestimmen Sie anschließend den Strom  $I_{C3}$ .
- 2 e) Bestimmen Sie die Ströme  $I_{E2}$  und  $I_{C2}$ .
- 2 f) In welchen Grundschaltungen sind die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  verschaltet?

Nun gelte  $B = \beta = 100$ .

- 3 g) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand  $r_{C3}$  in den Kollektor von  $T_3$  und geben Sie eine Formel für den Eingangswiderstand  $r_{E2}$  in den Emitter von  $T_2$  an.
- 2 h) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand  $r_{inA}$  der Teilschaltung ab Knoten A in allgemeiner und numerischer Form.
- 4 i) Bestimmen Sie die Spannungsverstärkung  $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$  der Schaltung.  
*Hinweis: Bestimmen Sie zunächst die Formel für die Spannungsverstärkung vom Eingang zum Knoten A und die Formel für die Spannungsverstärkung vom Knoten A zum Ausgang.*

# Aufgabe 1

a)  $\phi_{B1} = \frac{U_B}{2} = 5,3V$

$\phi_{E1} = \phi_{B1} - U_{BE} = 5,9V$

b)  $I_{E1} = \frac{U_B - \phi_{E1}}{R_3} = \frac{4,7V}{470\Omega} = 10mA$

$I_{C1} = I_{E1} = 10mA$

c)  $\phi_{C4} = 0,6V$

$\phi_{B2} = \frac{U_B - \phi_{C4}}{2} + \phi_{C4} = 5,6V$

d)  $I_{C4} = \frac{\phi_{B2} - \phi_{C4}}{R_6} = \frac{5V}{250\Omega} = 20mA$

$I_{C3} = I_{C4} = 20mA$

e)  $I_{E2} = I_{C3} - I_{C1} = 10mA$

$I_{C2} = I_{E2} = 10mA$

f)  $T_1$ : Emitterschaltung

Alternative Antwort:

$T_2$ : Basisschaltung

Kathodeschaltung

g)  $r_{c3} = r_{cE} \rightarrow \infty$

$r_{E2} = \frac{r_{BE2}}{\beta} = \frac{\beta}{g_{m2}} \cdot \frac{1}{\beta} = \frac{1}{g_{m2}}$

h)  $r_{inA} = r_{E2} = \frac{1}{g_{m2}} = \frac{U_T}{I_{C2}} = \frac{25mV}{10mA} = 2,5\Omega$

i)  $V_1 = -\frac{R_c}{\frac{1}{g_{m1}} + R_E} \stackrel{R_E=0}{=} -R_c \cdot g_{m1} \stackrel{R_c=r_{inA}}{=} -\frac{g_{m1}}{g_{m2}}$

$V_2 = g_{m2} \cdot R_4$

$V = V_1 \cdot V_2 = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \cdot g_{m2} \cdot R_4 = -g_{m1} \cdot R_4 = -\frac{I_{C1}}{U_T} \cdot R_4$

$= -\frac{10mA}{25mV} \cdot 250\Omega = -100$

## Aufgabe 2: (22 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 2.1 mit den idealen Transistoren  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$  ( $B = \beta \rightarrow \infty$ ,  $U_A \rightarrow \infty$ ,  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ ), der Zenerdiode  $D_Z$  ( $U_Z = 5,6 \text{ V}$ ,  $r_z = 10 \Omega$ ) und den Widerständen  $R_1 = 82 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 60 \Omega$ . Die Betriebsspannung betrage  $U_B = 15 \text{ V}$ .

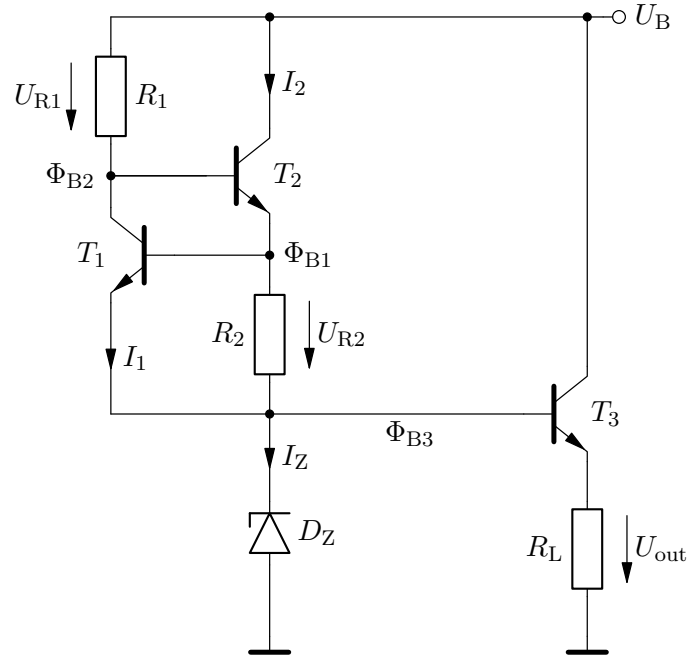


Abbildung 2.1

- 1 a) Wie groß ist die Spannung  $U_{R2}$ ?
- 2 b) Berechnen Sie den Strom  $I_2$ .
- 1 c) Wie groß ist das Potential  $\Phi_{B3}$ ?
- 2 d) Wie groß sind die Potentiale  $\Phi_{B1}$  und  $\Phi_{B2}$ ?
- 3 e) Berechnen Sie die Spannung  $U_{R1}$  und den Strom  $I_1$ .
- 2 f) Berechnen Sie die Spannung  $U_{\text{out}}$ .
- 4 g) Bestimmen Sie die Abhängigkeit des Stroms  $I_Z$  von der Betriebsspannung  $U_B$ :  $\frac{\partial I_Z}{\partial U_B}$  in allgemeiner Form.
- 2 h) Bestimmen Sie allgemein und numerisch den Durchgriff der Betriebsspannung  $\frac{\partial U_{\text{out}}}{\partial U_B}$ .
- 5 i) Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit  $\frac{\partial U_{\text{out}}}{\partial T}$  der Schaltung. Verwenden Sie dabei die aus der Vorlesung bekannten Werte für  $\frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$  und  $\frac{\partial U_Z}{\partial T}$ . Vernachlässigen Sie den Einfluss von  $I_1$ .

## Aufgabe 2

a)

$$U_{R2} = U_{BE} = 0,6V$$

b)

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{0,6V}{60\Omega} = 10mA$$

c)

$$\phi_{B3} = U_2 = 5,6V$$

d)

$$\phi_{B1} = \phi_{B3} + U_{BE} = 6,2V$$

$$\phi_{B2} = \phi_{B1} + U_{BE} = 6,8V$$

e)

$$U_{R1} = U_B - \phi_{B2} = 8,2V$$

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{8,2V}{82k\Omega} = 0,1mA$$

f)

$$U_{out} = \phi_{B3} - U_{BE} = 5V$$

g)

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} + \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U_{BE}}{R_2} + \frac{U_B - (U_2 + 2U_{BE})}{R_1}$$

$$\frac{\partial I_2}{\partial U_B} = \frac{1}{R_1}$$

h)

$$\frac{\partial U_{out}}{\partial U_B} = \frac{\partial \phi_{B3}}{\partial U_B} - \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_B}$$

$$= \frac{\partial I_2}{\partial U_B} \cdot r_2 - \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_B}$$

$$= \frac{r_2}{R_1} + 0$$

$$= \frac{10\Omega}{82k\Omega} \rightarrow 0$$

i)

$$\frac{\partial U_{out}}{\partial T} = \frac{\partial \phi_{B3}}{\partial T} - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$$

$$= \frac{\partial U_2}{\partial T} + \frac{\partial I_2}{\partial T} \cdot r_2 - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$$

$$= \frac{\partial U_2}{\partial T} + \frac{\partial (I_1 + I_2)}{\partial T} \cdot r_2 - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$$

$$= \frac{\partial U_2}{\partial T} + \frac{\partial I_2}{\partial T} \cdot r_2 - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$$

$$= \frac{\partial U_2}{\partial T} + \frac{\partial U_{BE}}{\partial T} \cdot \frac{r_2}{R_2} - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T}$$

$$= \frac{\partial U_2}{\partial T} + \frac{\partial U_{BE}}{\partial T} \left( \frac{r_2}{R_2} - 1 \right)$$

$$= 1mV/K - 2mV/K \left( \frac{10\Omega}{60\Omega} - 1 \right)$$

$$= \frac{8}{3} mV/K$$

### Aufgabe 3: (20 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1 mit einem idealen Operationsverstärker, der mit einer Betriebsspannung von  $U_B = \pm 5\text{ V}$  versorgt wird. Weiterhin gelte:  $U_{\text{in}} = 1\text{ V}$ .

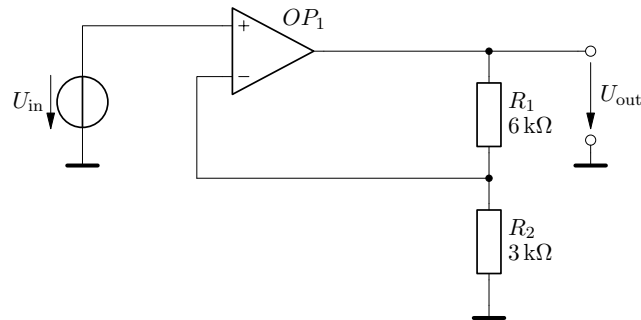


Abbildung 3.1

3 a) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  und die Verstärkung  $v = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}}$  in allgemeiner und numerischer Form.

1 b) Um welche Operationsverstärkerschaltung handelt es sich?

Nun sei  $U_{\text{in}}$  eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 10 Hz und einer Amplitude von 1 V. *Hinweis: In den Diagrammen wurde als Orientierung ein Sinussignal vorgezeichnet.*

4 c) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung  $U_{\text{out}} = f(t)$  in das Diagramm aus Abbildung 3.3. Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.

Die Schaltung wird durch zwei Dioden erweitert (siehe Abbildung 3.2). Die Dioden seien, bis auf eine Flussspannung von  $U_F = 0,7\text{ V}$ , ebenfalls ideal.  $U_{\text{in}}$  bleibt unverändert. *Hinweis: Überlegen Sie für die folgenden Aufgaben, ob der Operationsverstärker gegengekoppelt ist.*

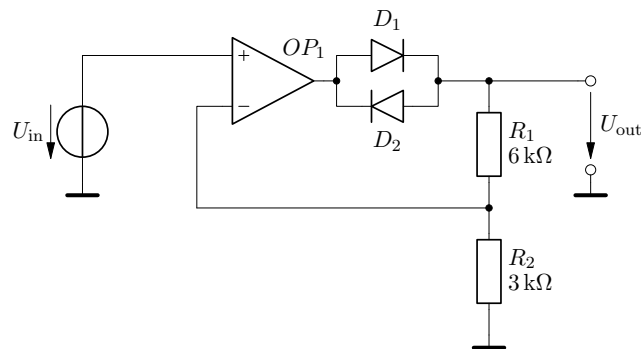


Abbildung 3.2

4 d) Zeichnen Sie nun erneut den Verlauf der Spannung  $U_{\text{out}} = f(t)$  in das Diagramm aus Abbildung 3.4. Kennzeichnen Sie im Diagramm zudem den jeweiligen Leitzustand der Dioden.

3 e) Zeichnen Sie die Spannung am Ausgang des Operationsverstärkers  $U_{\text{OP}} = f(t)$  in das Diagramm aus Abbildung 3.5.

5 f) Durch einen Fehler in der Produktion ist Diode  $D_2$  defekt und leitet keinen Strom mehr. Die Diode  $D_1$  funktioniert weiterhin einwandfrei. Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung  $U_{\text{out}} = f(t)$  und  $U_{\text{OP}} = f(t)$  in das Diagramm aus Abbildung 3.6.

### Aufgabe 3

a)

$$U_{out} = U_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$v = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$= 1 + \frac{6k\Omega}{3k\Omega} = 3$$

b)

Nicht-invertierender Verstärker

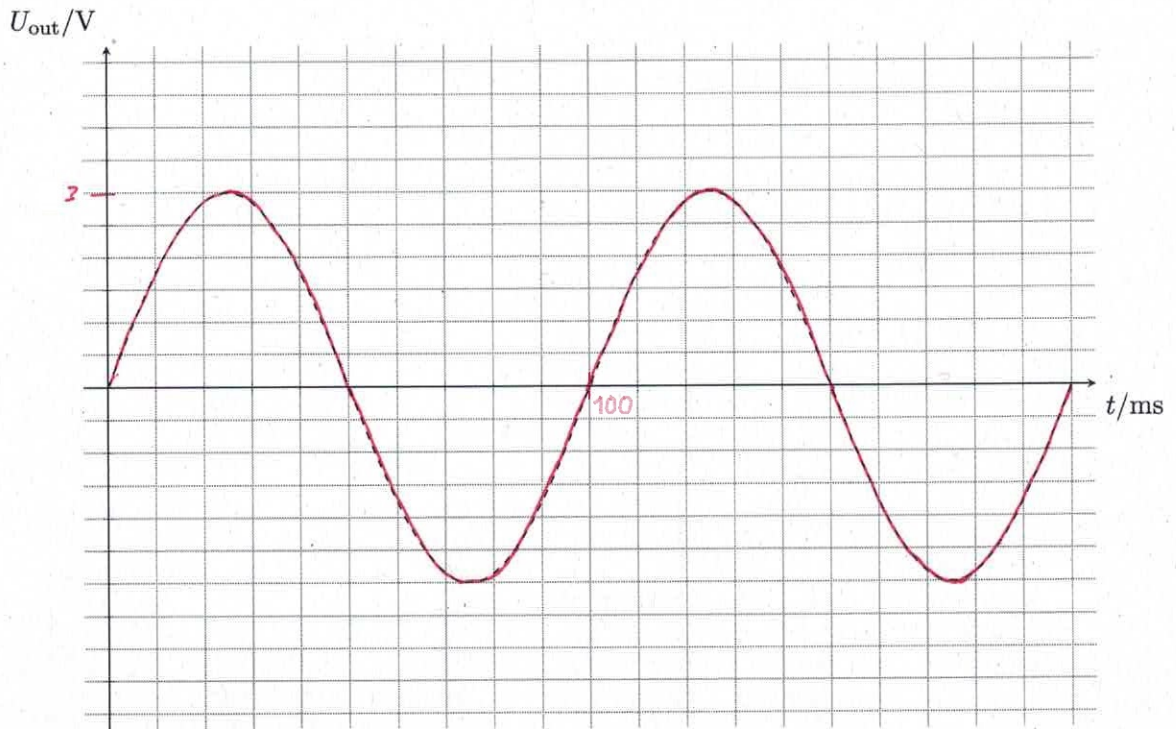


Abbildung 4.3: Diagramm für c)

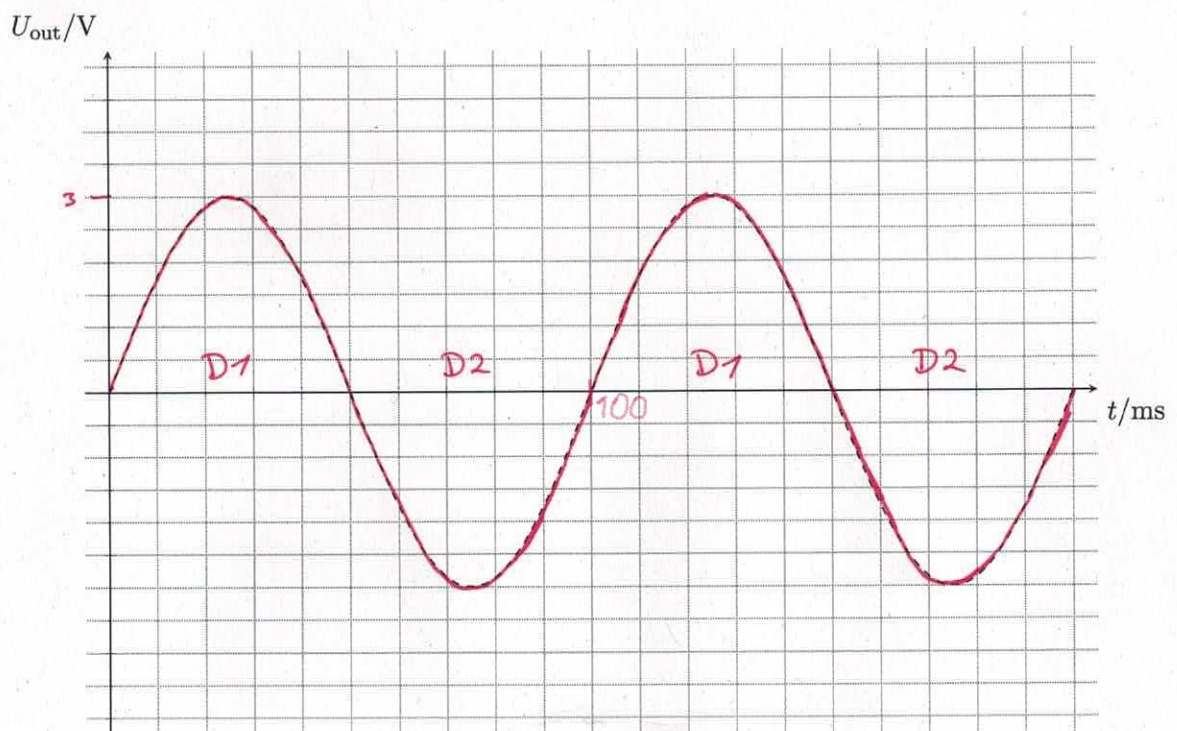


Abbildung 4.4: Diagramm für d)



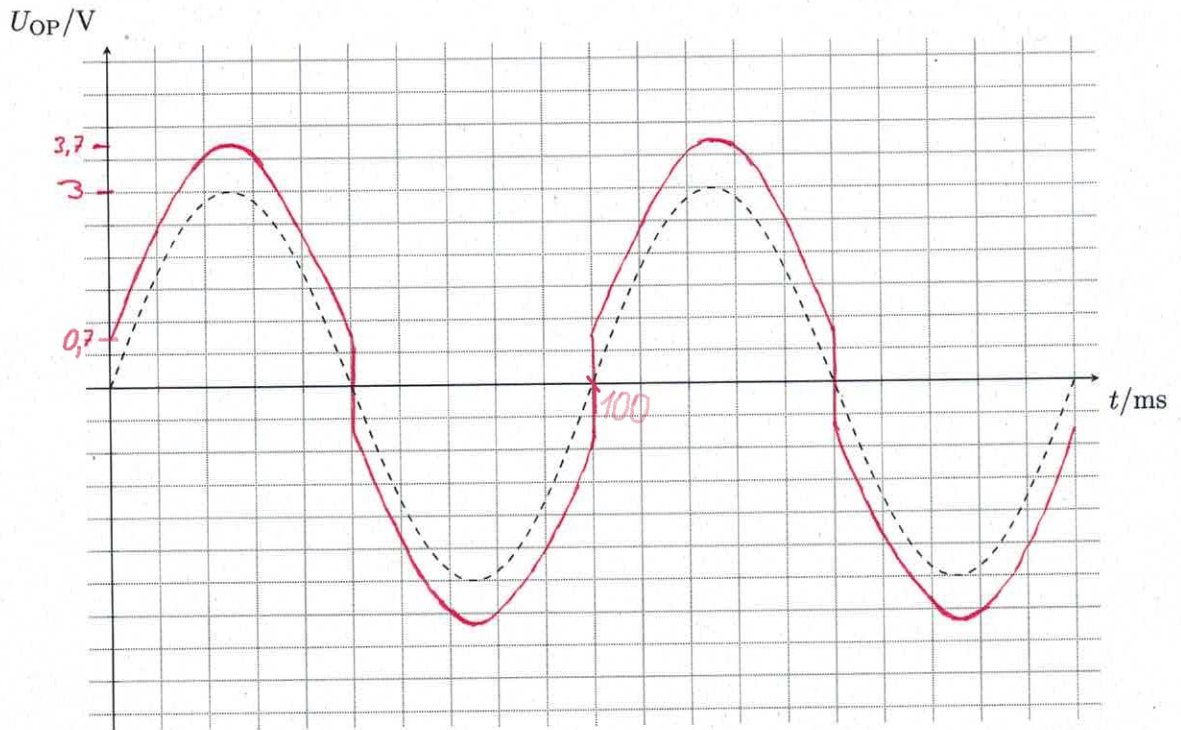


Abbildung 4.5: Diagramm für e)

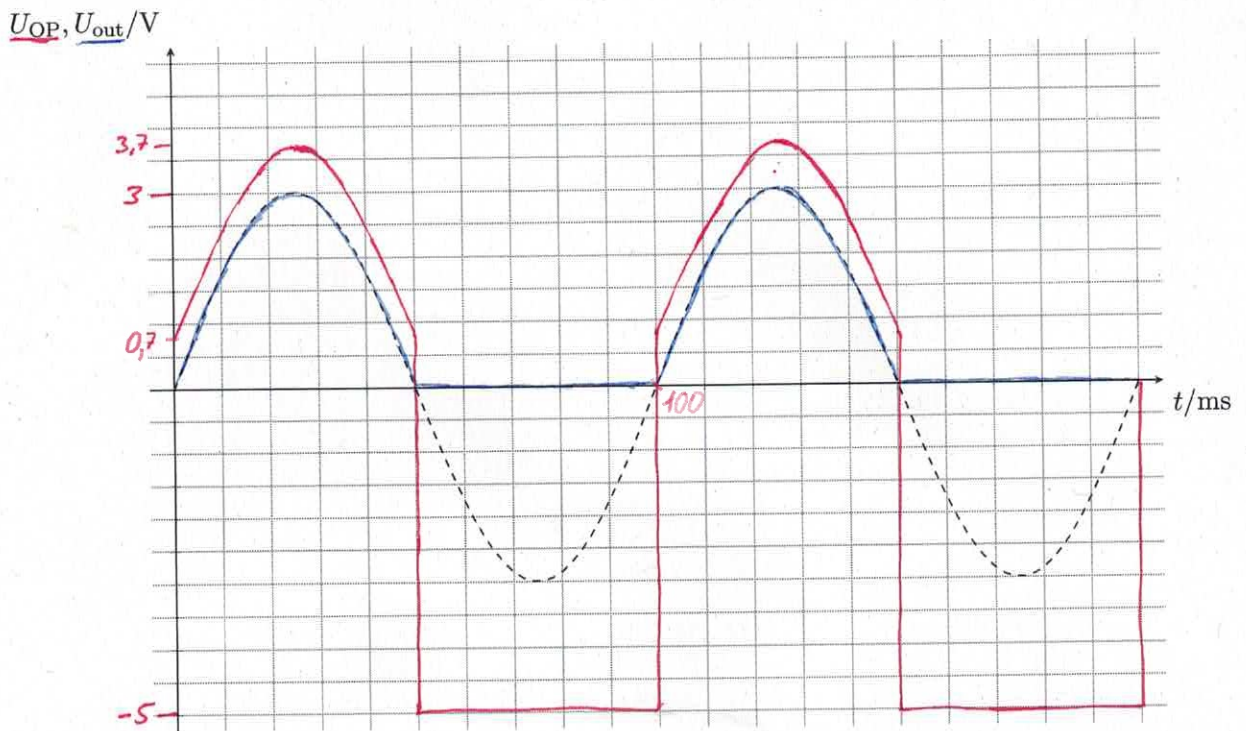


Abbildung 4.6: Diagramm für f)

### Aufgabe 4: (35 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 4.1 mit idealen Operationsverstärkern und idealen Transistoren. Die Versorgungsspannung der Schaltung beträgt  $U_B = 10\text{ V}$ . Die Eingangsspannung  $U_{in}$  hat den Verlauf aus Abbildung 4.2. Der Kondensator  $C$  ist zunächst entladen. Des Weiteren gilt:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ .

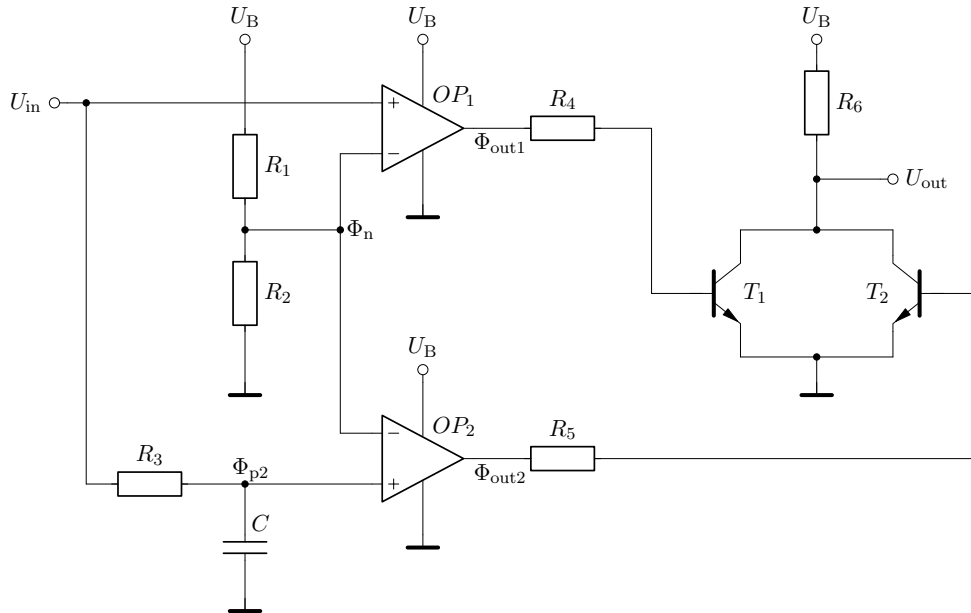


Abbildung 4.1

1 a) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_n$ .

Für die weitere Berechnung wird zunächst der Zeitraum  $t < 0$  betrachtet.

1 b) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{out1}$ .

2 c) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{p2}$ . Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf hiervon für  $t < 0$  in das Diagramm aus Abbildung 4.3.

1 d) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{out2}$ .

2 e) Wie verhalten sich die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ ?

2 f) Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf der Ausgangsspannung  $U_{out}$  für  $t < 0$  in das Diagramm aus Abbildung 4.4.

Nun wird der Zeitraum  $0 \leq t < t_2$  betrachtet.

1 g) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{out1}$ .

4 h) Geben Sie eine Formel für die Berechnung des Potentials  $\Phi_{p2}$  an. Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf hiervon für  $0 \leq t < t_2$  in das Diagramm aus Abbildung 4.3.  
Nehmen Sie hierfür an:  $e^{-\frac{t_1}{R \cdot C}} = 1/2$

2 i) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{out2}$  für  $0 < t < t_1$  und  $t_1 < t < t_2$ ?

2 j) Wie verhalten sich die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ ?

- 2k) Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  für  $0 \leq t < t_2$  in das Diagramm aus Abbildung 4.4.

Nun wird der Zeitraum  $t \geq t_2$  betrachtet.

- 1 l) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{\text{out1}}$ .
- 4n) Geben Sie eine Formel für die Berechnung des Potentials  $\Phi_{\text{p2}}$  an. Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf hiervon für  $t \geq t_2$  in das Diagramm aus Abbildung 4.3.  
*Nehmen Sie hierfür an:  $e^{-\frac{t_3-t_2}{R \cdot C}} = 1/2$*
- 2n) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_{\text{out2}}$  für  $t_2 < t < t_3$  und  $t > t_3$ ?
- 2o) Wie verhalten sich die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ ?
- 2p) Zeichnen Sie den quantitativen Verlauf der Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  für  $t \geq t_2$  in das Diagramm aus Abbildung 4.4.

Betrachten Sie nun den gesamten Zeitverlauf.

- 2q) Welchen Einfluss hat eine Verringerung des Widerstandswertes von  $R_3$  auf die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$ ?
- 2r) Welche Funktion erfüllt die Schaltung?

## Aufgabe 4

a)  $\phi_n = \frac{U_B}{2} = 5V$

b)  $\phi_{out1} = 0V$

c)  $\phi_{p2} = 0V$

d)  $\phi_{out2} = 0V$

e) Beide Transistoren sperren

f)  $\phi_{out1} = 10V$

h)  $\phi_{p2} = U_{in} (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$

i)  $\phi_{out2} = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < t_1 \\ 10V, & t_1 \leq t < t_2 \end{cases}$

j)  $T_1$  leitet,  $T_2$  sperrt bis  $t_1$  und leitet dann (wenn  $\phi_{p2} > 5V$ )

k)  $\phi_{out1} = 0V$

m)  $\phi_{p2} = U_{in,max} e^{-\frac{(t-t_2)}{RC}}$

n)  $\phi_{out2} = \begin{cases} 10V, & t_2 \leq t < t_3 \\ 0, & t > t_3 \end{cases}$

o)  $T_1$  sperrt,  $T_2$  leitet bis  $t_3$  und sperrt dann (wenn  $\phi_{p2} < 5V$ )

q)  $R_3 \downarrow \Rightarrow RC \downarrow \Rightarrow$  Verschiebung der positiven Flanke nach links

r) Invertierung und Verzögerung der negativen Flanke des Signals

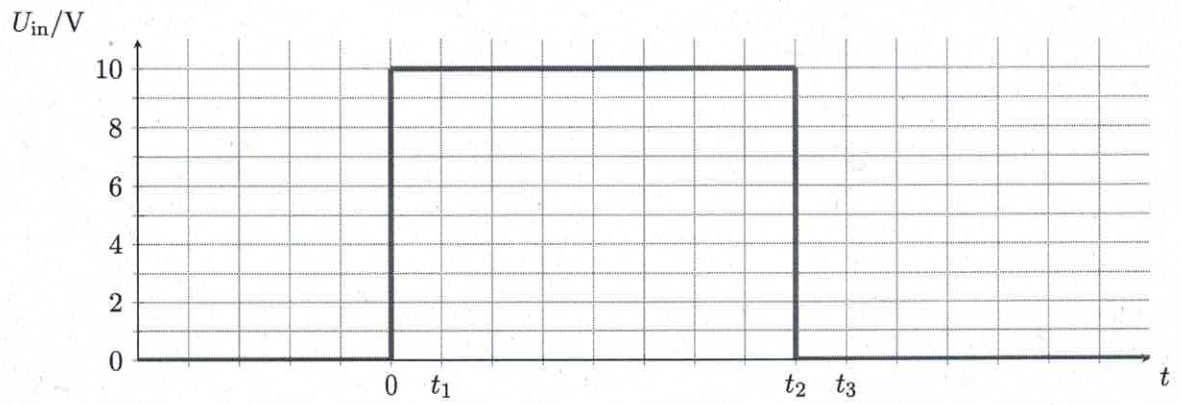


Abbildung 6.2: Verlauf von  $U_{in}$

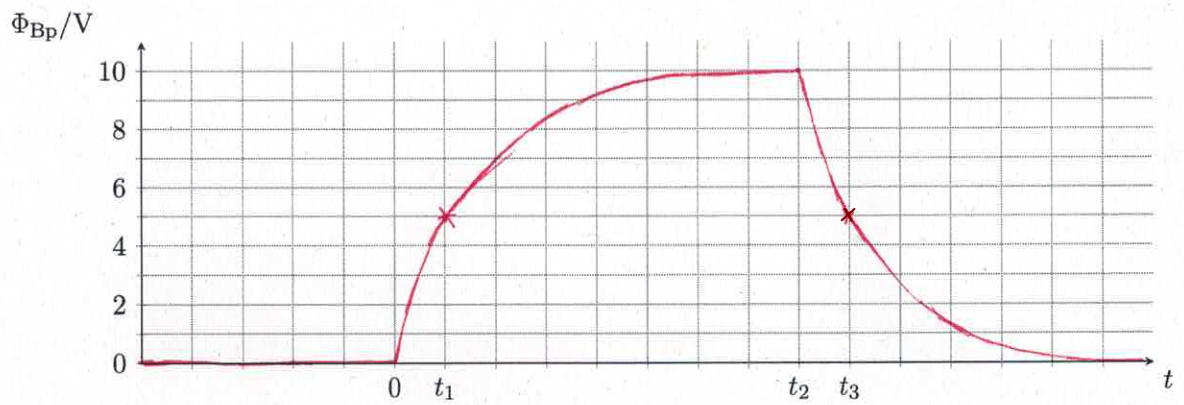


Abbildung 6.3: Diagramm für  $\Phi_{Bp}$

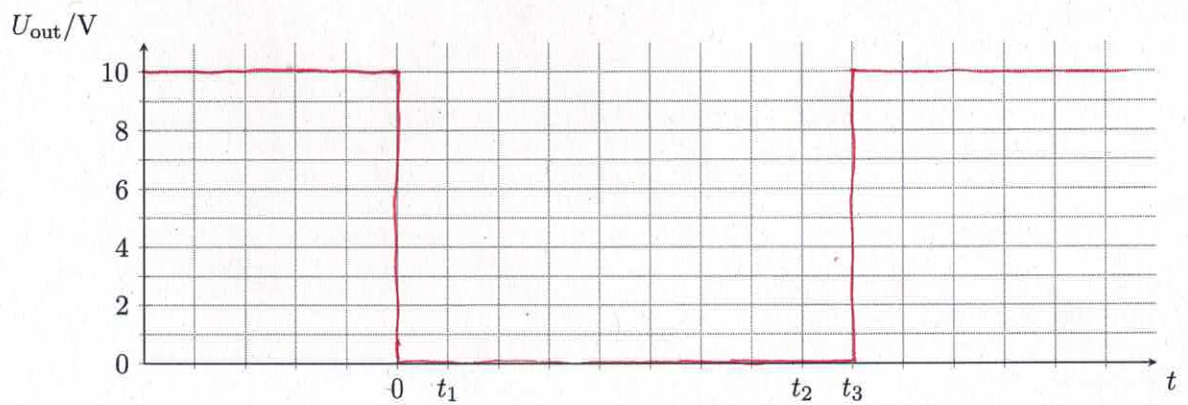


Abbildung 6.4: Diagramm für  $U_{out}$

### Aufgabe 5: (21 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit einem idealen Transistor ( $B = \beta \rightarrow \infty$ ,  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ ). Weiterhin gelte:  $R_2 = 2,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 500 \Omega$ ,  $R_L = 1 \text{ M}\Omega$  und  $C_{in} = C_{out} \rightarrow \infty$ .

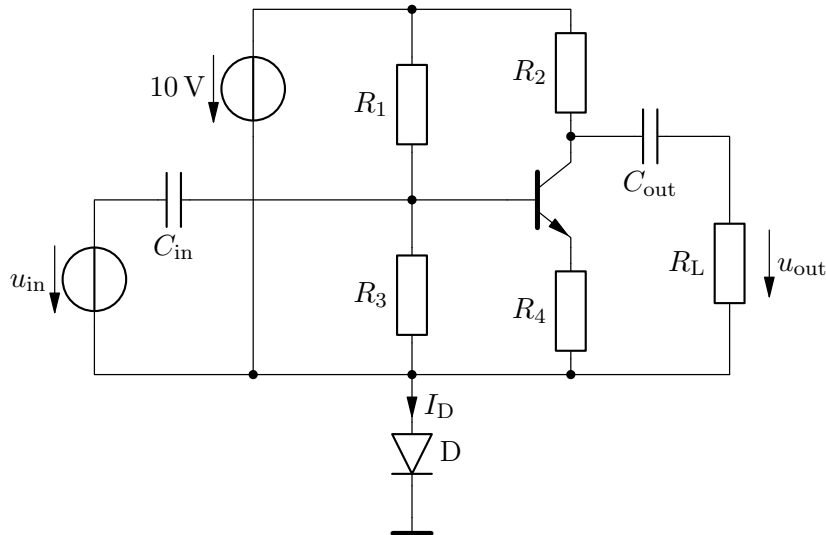


Abbildung 5.1

- 3 a) Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_1$  und  $R_3$  so, dass durch den Transistor ein Kollektorstrom von  $I_C = 2 \text{ mA}$  fließt.
- 3 b) In welcher Grundschaltungsart wird der Transistor betrieben?
- 3 c) Berechnen Sie die Gesamtverstärkung  $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$  der Schaltung. *Hinweis: Benutzen Sie eine Ihnen aus der Vorlesung bekannte Näherung.*
- 3 d) Bestimmen Sie den Strom  $I_D$ . Begründen Sie Ihre Antwort.

Betrachten Sie nun die Schaltung aus Abbildung 5.2.

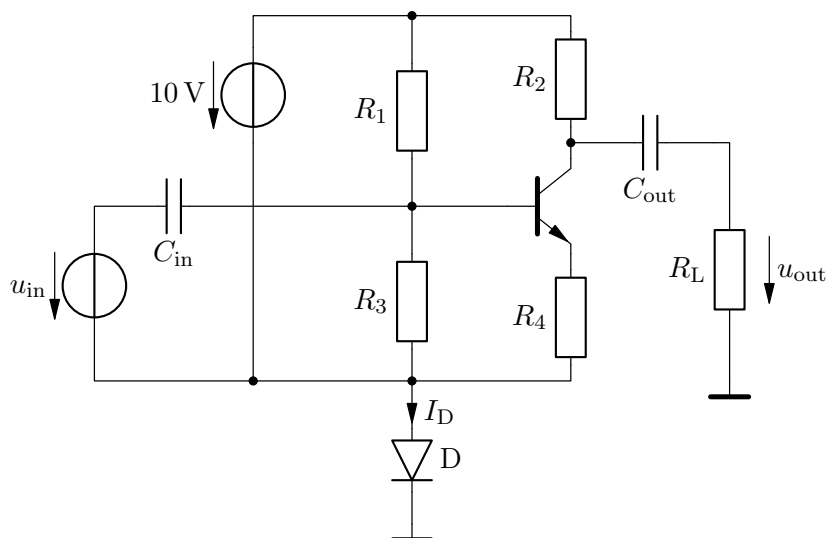


Abbildung 5.2

- 5 e) Bestimmen Sie die Gesamtverstärkung  $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$  der Schaltung. Begründen Sie Ihre Antwort.

Betrachten Sie nun die Schaltung aus Abbildung 5.3.

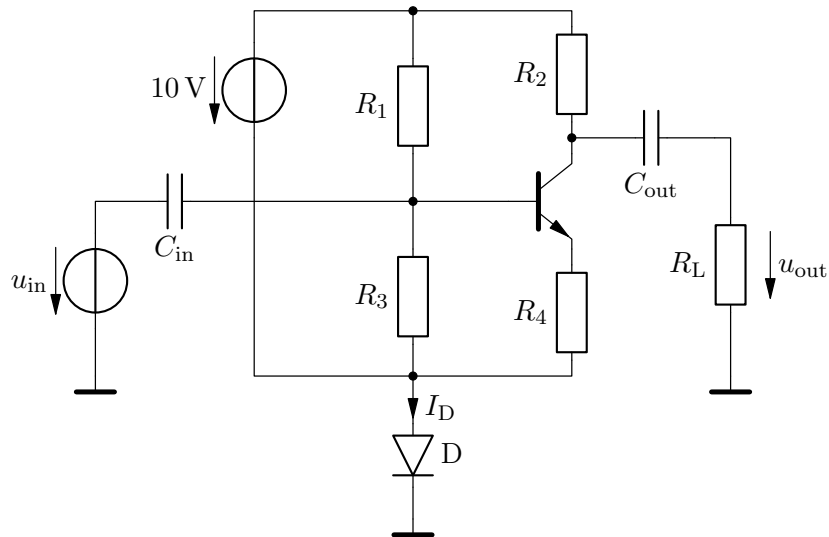


Abbildung 5.3

- 5 f) Bestimmen Sie die Gesamtverstärkung  $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$  der Schaltung. Begründen Sie Ihre Antwort.

## Aufgabe 5

a)

$$U_{R3} = I_C \cdot R_4 + U_{BE} = 2 \text{ mA} \cdot 500 \Omega + 0,6 \text{ V} = 1,6 \text{ V}$$

$$\Rightarrow R_3 = 1,6 \text{ k}\Omega \quad R_1 = 8,4 \text{ k}\Omega$$

b)

Emitterschaltung

c)

$$V = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{R_2}{R_4} = -\frac{2,5 \text{ k}\Omega}{500 \Omega} = -5$$

d)

$I_D = 0$ , Strom fließt im Kreis, Nur ein Massepotential

e)

$$V = 0, \text{ Weiterhin: } I_D = 0 \Rightarrow I_{RL} = 0$$

f)

$$v = 1$$

• Fester Potentialbezug von Basis und Kollektor des Transistors

• Diode weiterhin nicht leitend