

„Mess- und Schaltungstechnik“

Beachten Sie folgende Hinweise:

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (13 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 121 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: _____

Matrikelnummer: _____

Unterschrift: _____

| Aufgabe | Punkte |
|-------------|--------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| Bonuspunkte | |
| Summe | |

| | |
|------|--|
| Note | |
|------|--|

Aufgabe 1: (14 Punkte)

Gegeben sei die Dioden-Schaltung aus Abbildung 1.1. Die Diode sei ideal bis auf eine Flussspannung $U_F = 1\text{ V}$.

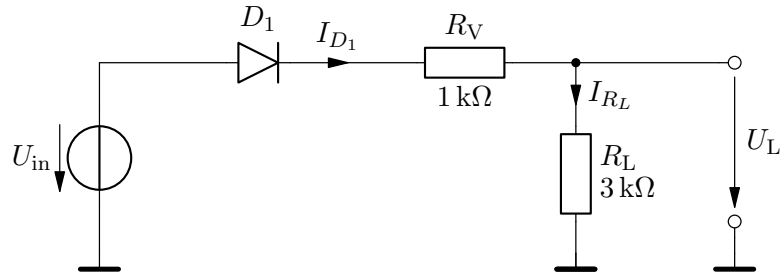


Abbildung 1.1

- 2 a) Geben Sie die Grenzspannung $U_{in,1}$ an, bei der die Diode D_1 leitend ($I_{D1} > 0$) wird.
- 1 b) Geben Sie I_{D1} als Funktion von U_{in} unter- und oberhalb der Grenzspannung $U_{in,1}$ an.
- 1 c) Geben Sie U_L als Funktion von U_{in} in allgemeiner Form an. *Hinweis: Machen Sie eine Fallunterscheidung für die unterschiedlichen Spannungsbereiche von U_{in} .*
- 3 d) Zeichnen Sie den Zusammenhang von U_L und U_{in} in das Diagramm 1.3 ein.

Betrachtet wird nun die Schaltung aus Abbildung 1.2. Die Schaltung wurde um eine Zenerdiode ergänzt. Die Diode D_2 habe eine Zenerspannung von $U_Z = 6\text{ V}$.

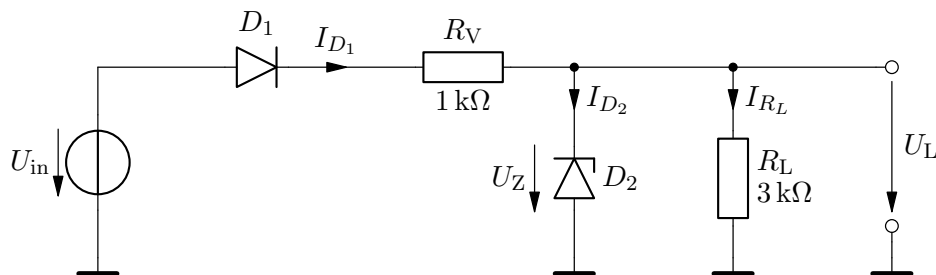


Abbildung 1.2

- 1 e) Bestimmen Sie den allgemeinen Zusammenhang zwischen I_{D1} , I_{D2} und I_{RL} .
- 2 f) Bei welcher Grenzspannung $U_{in,2}$ wird die Diode D_2 leitend? *Hinweis: Der Wert kann auch graphisch aus Diagramm 1.3 ermittelt werden.*
- 2 g) Geben Sie U_L als Funktion von U_{in} unter Berücksichtigung von D_2 und $U_{in,2}$ an. *Hinweis: Machen Sie wieder eine Fallunterscheidung.*
- 2 h) Zeichnen Sie den neuen Zusammenhang von U_L und U_{in} ebenfalls in das Diagramm 1.3 ein. Machen Sie erkennbar, welche Kurve zu Aufgabenteil d) und welche zu Aufgabenteil h) gehört.

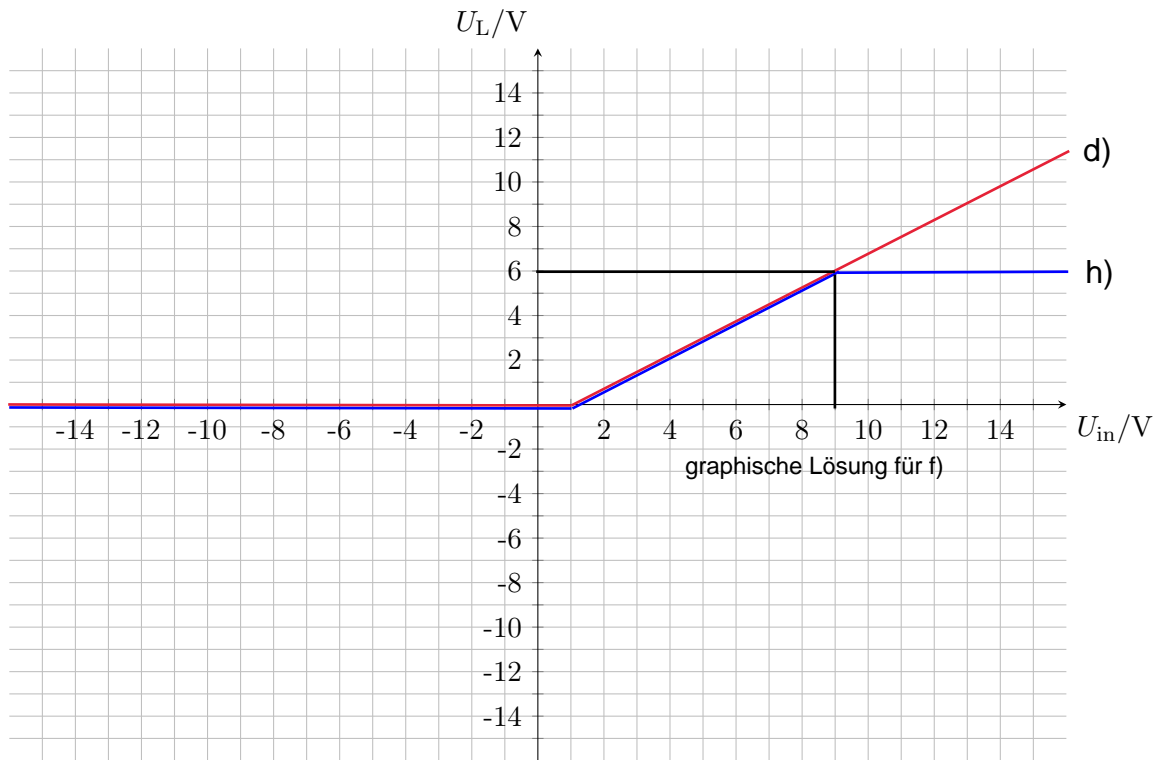


Abbildung 1.3: Diagramm für d) und h)

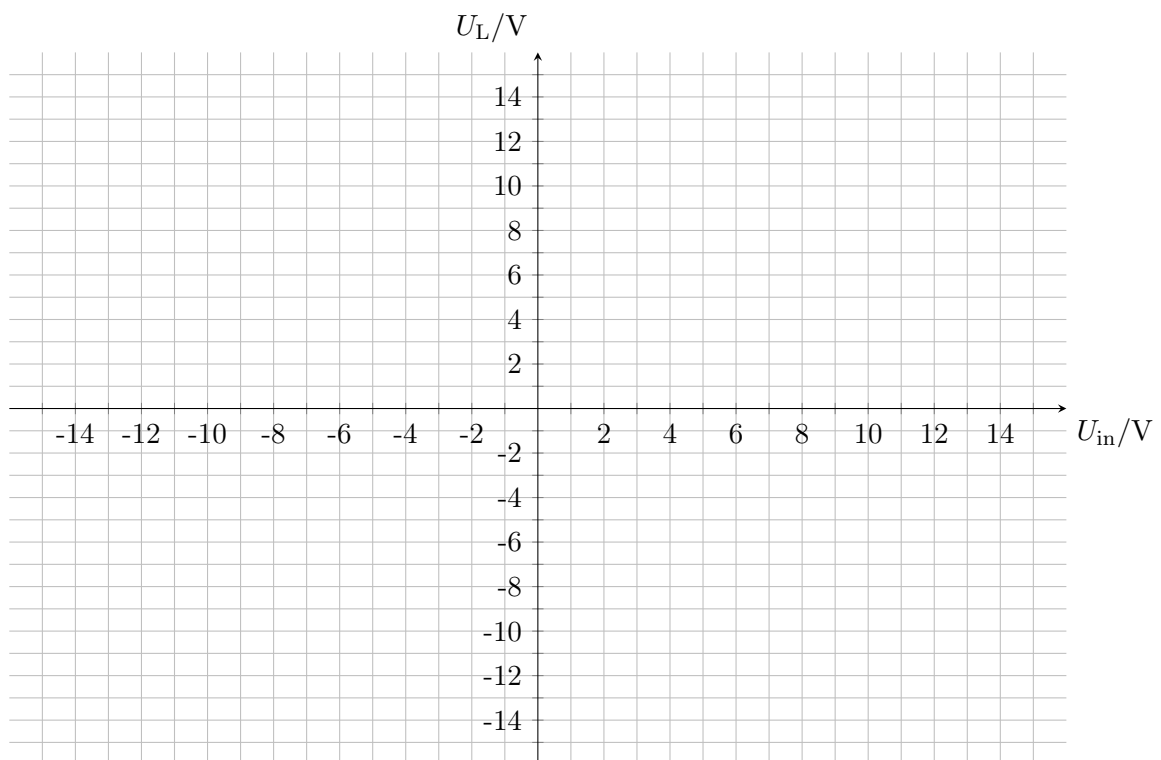


Abbildung 1.4: Diagramm für d) und h) (Reserve)

Aufgabe 1)

a) $U_{in,1} = 1V$

b) $I_{D1} = \frac{U_{in} - U_F}{R_V + R_L}$ für $U_{in} > 1V$

$I_{D1} = 0A$ für $U_{in} < 1V$

c) $U_L = I_{D1} \cdot R_L = \frac{U_{in} - U_F}{R_V + R_L} \cdot R_L = \frac{3}{4} \cdot (U_{in} - U_F)$ für $U_{in} > 1V$

$U_L = 0V$ für $U_{in} < 1V$

d) Siehe Abbildung 1.3)

e) $I_{D2} = I_{D1} - I_{RL}$

f) bei $U_L = 6V \Rightarrow I_{RL} = \frac{U_L}{R_L} = \frac{6V}{3k\Omega} = 2mA$

$I_{D2} = 0$ (grade leitend)

$\Rightarrow I_{D1} = I_{D2} + I_{RL} = 0mA + 2mA = 2mA$

$U_{RV} = I_{D1} \cdot R_V = 2mA \cdot 1k\Omega = 2V$

$U_{in} = U_L + U_{RV} + U_F = 6V + 2V + 1V = 9V$

oder graphisch ablesen bei $U_L = 6V \Rightarrow U_{in} = 9V$ (siehe Abbildung 1.3)

g) $U_L = 0V$ für $U_{in} < 1V$

$U_L = \frac{3}{4}(U_{in} - U_F)$ für $1V < U_{in} < 9V$

$U_L = 6V$ für $U_{in} > 9V$

Aufgabe 2: (16 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 2.1 mit dem Transistor T_1 . Für den Transistor gelte: $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$, $U_A \rightarrow \infty$ und $B = \beta \rightarrow \infty$. Die Betriebsspannung U_B beträgt 10 V . Weiterhin gelte für alle Kondensatoren: $C \rightarrow \infty$.

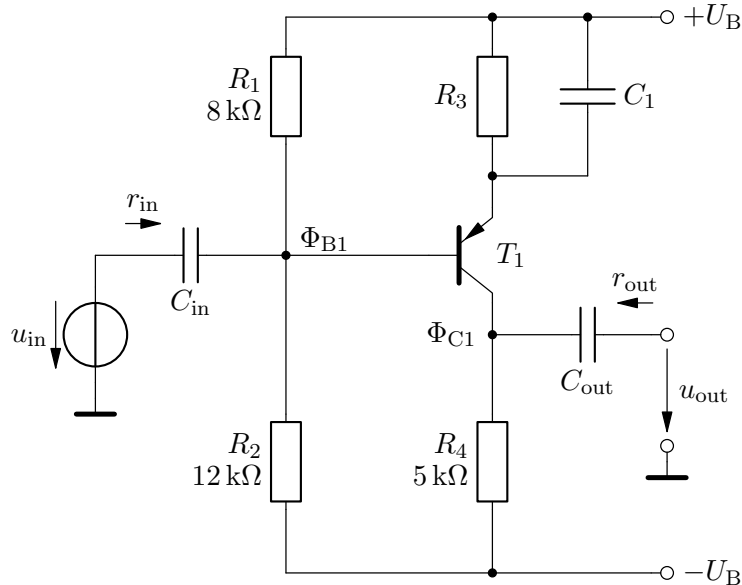


Abbildung 2.1

- 1 a) In welcher Grundschaltung wird Transistor T_1 betrieben?
- 1 b) Bestimmen Sie das Potential Φ_{B1} an der Basis von T_1 .
- 2 c) Berechnen Sie R_3 so, dass sich im Arbeitspunkt ein Strom von $I_C = 1\text{ mA}$ einstellt.
- 1 d) Bestimmen Sie das Potential Φ_{C1} am Kollektor von T_1 .
- 2 e) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$ der Schaltung.
- 2 f) Geben Sie r_{in} in allgemeiner Form und numerischer Abschätzung an.
- 2 g) Geben Sie r_{out} in allgemeiner Form und numerischer Abschätzung an.

Nun gelte für den Transistor T_1 das in Abbildung 4.2 gezeigte Ausgangskennlinienfeld.

- 2 h) Bestimmen Sie mit Hilfe der Ausgangskennlinien aus Abbildung 2.2 die Early-Spannung U_A von T_1 .
- 1 i) Berechnen Sie den Kleinsignalwiderstand r_{CE} des Transistors. *Hinweis: Verwenden Sie eine Ihnen aus der Vorlesung bekannte Näherung.*
- 2 j) Geben Sie r_{out} für das geänderte Verhalten des Transistors in allgemeiner Form und numerischer Abschätzung an.

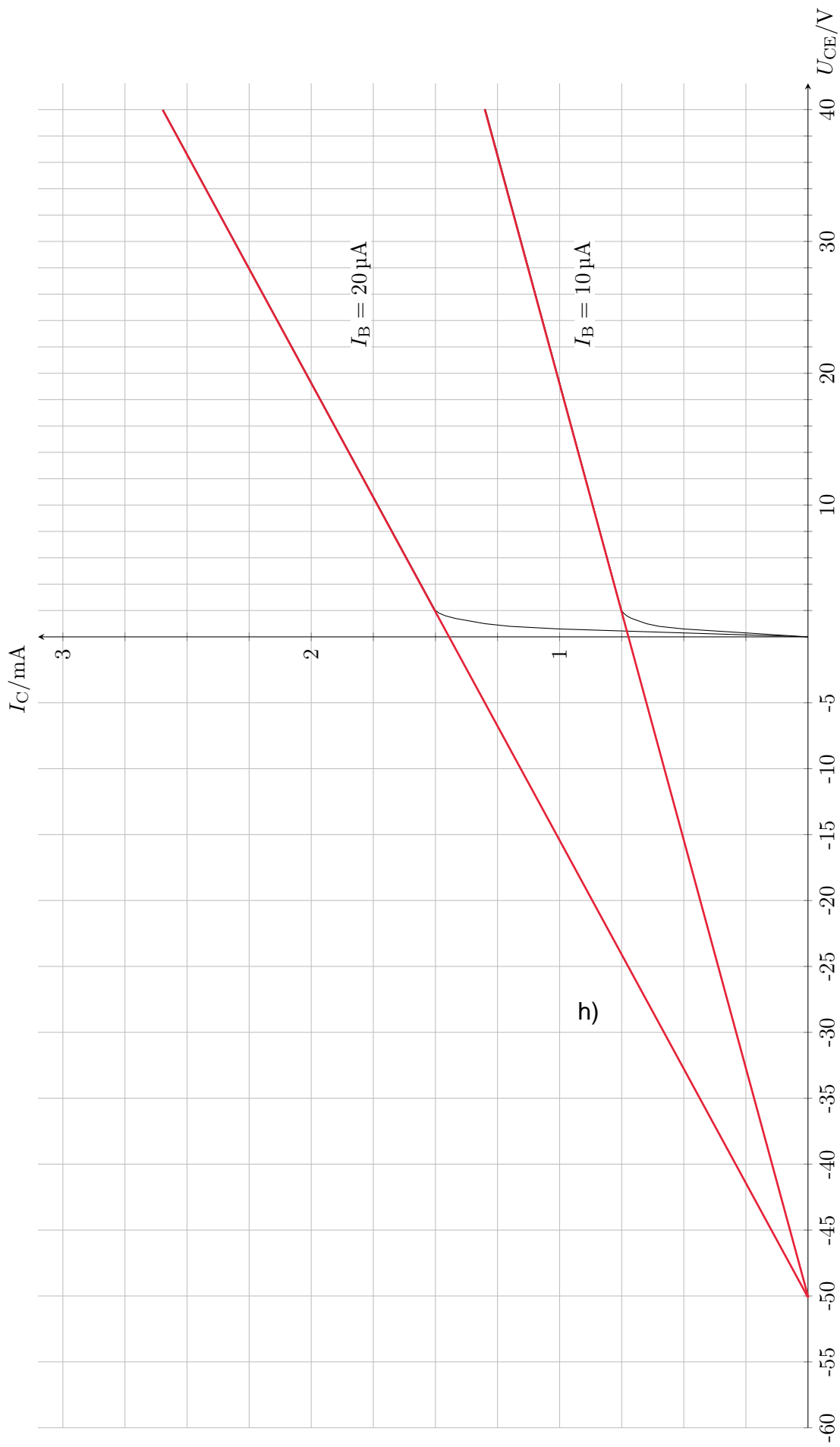


Abbildung 2.2: Ausgangskennlinienfeld von T_1

Aufgabe 2)

a) Emitterschaltung

b) $I_{B,T_1} = 0$ da $\beta \rightarrow \infty$

$$U_{R_1} = \frac{U_B - (-U_B)}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = \frac{20V}{20k\Omega} \cdot 8k\Omega = 8V$$

$$\phi_{B1} = U_B - U_{R_1} = 10V - 8V = 2V$$

c) $I_{R_3} = I_E = I_C = 1mA$
 $\beta \rightarrow \infty$

$$U_{R_3} = U_B - (\phi_{B1} + 0,6V) = 10V - (2V + 0,6V) = 7,4V$$

$$R_3 = \frac{U_{R_3}}{I_{R_3}} = \frac{7,4V}{1mA} = 7,4k\Omega$$

d) $\phi_{C1} = -U_B + U_{R_4} = -10V + 5k\Omega \cdot 1mA = -5V$

e) Emitterschaltung mit $R_E = 0$

$$v = -g_m \cdot R_C = -\frac{I_C}{U_T} \cdot R_C = -\frac{1mA}{25mV} \cdot 5k\Omega = -200$$

f) $r_{in} = R_1 \parallel R_2$ ($r_{BE} \rightarrow \infty$)
 $= 8k\Omega \parallel 12k\Omega \approx 5k\Omega$

g) $r_{out} = R_4 = 5k\Omega$

h) Schnittpunkt der Geraden siehe Abbildung 2.2) $\Rightarrow U_A = 50V$

i) $r_{CE} = \frac{U_A}{I_C} = \frac{50V}{1mA} = 50k\Omega$

j) $r_{out} = R_4 \parallel r_{CE}$ mit $R_4 \ll r_{CE} \Rightarrow r_{out} \approx 5k\Omega$

Aufgabe 3: (20 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1 mit idealen Transistoren ($B = \beta \rightarrow \infty$, $|U_{BE}| = 0,6 \text{ V}$). Es gelte $U_B = 15,6 \text{ V}$, $R_E = 500 \Omega$ und $R_L = 2 \text{ k}\Omega$.

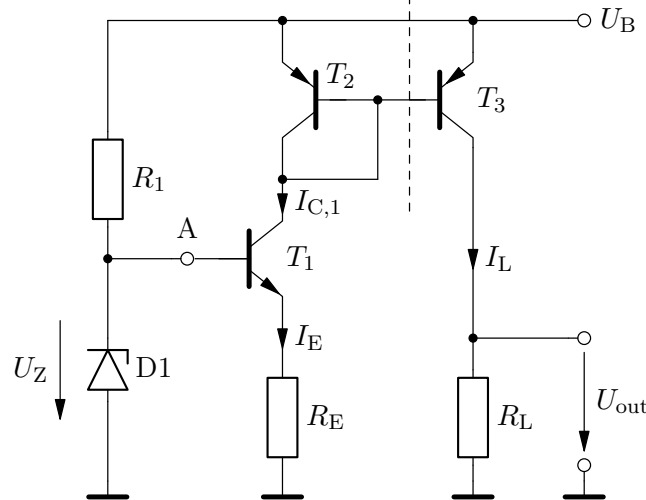


Abbildung 3.1: Z-Dioden-Schaltung

- 2 a) Geben Sie den Strom I_E als Funktion von U_Z an.
- 2 b) Durch den Widerstand R_E soll ein Strom von $I_E = 10 \text{ mA}$ fließen. Wählen Sie aus dem beigegeführten Datenblatt eine geeignete Zenerdiode aus, um dies zu erreichen, und begründen Sie ihre Wahl. *Anmerkung: Eine Rechnung ist als Begründung ausreichend.*
- 1 c) Wählen Sie aus den beiden im Datenblatt angegebenen Arbeitspunktströmen einen aus. Begründen Sie ihre Wahl. Bestimmen Sie den Widerstand R_1 so, dass der gewählte Arbeitspunktstrom durch die Z-Diode fließt.
- 1 d) Welche Schaltung bilden T_2 und T_3 ?
- 1 e) Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen $I_{C,1}$ und U_Z ($I_{C,1} = f(U_Z)$). Geben Sie $I_{C,1}$ zudem numerisch an. *Hinweis: Benutzen Sie Ihr Ergebnis aus Aufgabenteil a).*
- 1 f) Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen I_L und U_Z ($I_L = f(U_Z)$). Geben Sie I_L zudem numerisch an.
- 3 g) Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit $\frac{dI_L}{dT}$. *Hinweis: Verwenden Sie das beigegeführte Datenblatt und Ihnen aus der Vorlesung bekannte Werte.*

Im Folgenden betrachten wir Kleinsignalgrößen. U_B habe einen Kleinsignalanteil u_B .

- 3 h) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung links der gestrichelten Linie. *Hinweis: Wählen Sie für T_2 eine Ihnen aus der Vorlesung bekannte Ersatzschaltung.*
- 1 i) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand r_{in} an Punkt A in die Basis von T_1 .
- 1 j) Bestimmen Sie die Spannung u_Z als Funktion von u_B .
- 1 k) Bestimmen Sie den Strom $i_{C,1}$ als Funktion von u_Z .
- 2 l) Bestimmen Sie den Strom i_L als Funktion von u_B .
- 1 m) Bestimmen Sie die Stromänderung ΔI_L für eine Spannungsänderung $\Delta U_B = 100 \text{ mV}$.

Table 8. Characteristics per type; BZX84W-B2V4-Q to BZX84W-C24-Q

 $T_j = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

| BZX84W- | Sel | Working voltage V_Z (V) | | Differential resistance r_{dif} (Ω) | | Temperature coefficient S_Z (mV/K) | Diode capacit. C_d (pF) [1] | Non-repetitive peak reverse current I_{ZSM} (A) |
|---------|-----|---|-------|--|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| | | $I_Z = 5\text{ mA}$ Tol. $\pm 2\%$ (B) Tol. $\pm 5\%$ (C) | | $I_Z = 1\text{ mA}$ | $I_Z = 5\text{ mA}$ | $I_Z = 5\text{ mA}$ | | $t_p = 100\text{ }\mu\text{s};$ $T_{amb} = 25\text{ °C}$ |
| | | Min | Max | Max | Max | Typ | | Max |
| 2V4-Q | B | 2.35 | 2.45 | 600 | 100 | -1.6 | 450 | 6 |
| | C | 2.20 | 2.60 | | | | | |
| 2V7-Q | B | 2.65 | 2.75 | 600 | 100 | -2.0 | 450 | 6 |
| | C | 2.50 | 2.90 | | | | | |
| 3V0-Q | B | 2.94 | 3.06 | 600 | 95 | -2.1 | 450 | 6 |
| | C | 2.80 | 3.20 | | | | | |
| 3V3-Q | B | 3.23 | 3.37 | 600 | 95 | -2.4 | 450 | 6 |
| | C | 3.10 | 3.50 | | | | | |
| 3V6-Q | B | 3.53 | 3.67 | 600 | 90 | -2.4 | 450 | 6 |
| | C | 3.40 | 3.80 | | | | | |
| 3V9-Q | B | 3.82 | 3.98 | 600 | 90 | -2.5 | 450 | 6 |
| | C | 3.70 | 4.10 | | | | | |
| 4V3-Q | B | 4.21 | 4.39 | 600 | 90 | -2.5 | 450 | 6 |
| | C | 4.00 | 4.60 | | | | | |
| 4V7-Q | B | 4.61 | 4.79 | 500 | 80 | -1.4 | 300 | 6 |
| | C | 4.40 | 5.00 | | | | | |
| 5V1-Q | B | 5.00 | 5.20 | 480 | 60 | -0.8 | 300 | 6 |
| | C | 4.80 | 5.40 | | | | | |
| 5V6-Q | B | 5.49 | 5.71 | 400 | 40 | 1.2 | 300 | 6 |
| | C | 5.20 | 6.00 | | | | | |
| 6V2-Q | B | 6.08 | 6.32 | 150 | 10 | 2.3 | 200 | 6 |
| | C | 5.80 | 6.60 | | | | | |
| 6V8-Q | B | 6.66 | 6.94 | 80 | 15 | 3.0 | 200 | 6 |
| | C | 6.40 | 7.20 | | | | | |
| 7V5-Q | B | 7.35 | 7.65 | 80 | 15 | 4.0 | 150 | 4 |
| | C | 7.00 | 7.90 | | | | | |
| 8V2-Q | B | 8.04 | 8.36 | 80 | 15 | 4.6 | 150 | 4 |
| | C | 7.70 | 8.70 | | | | | |
| 9V1-Q | B | 8.92 | 9.28 | 100 | 15 | 5.5 | 150 | 3 |
| | C | 8.50 | 9.60 | | | | | |
| 10-Q | B | 9.80 | 10.20 | 150 | 20 | 6.4 | 90 | 3 |
| | C | 9.40 | 10.60 | | | | | |
| 11-Q | B | 10.80 | 11.20 | 150 | 20 | 7.4 | 85 | 2.5 |
| | C | 10.40 | 11.60 | | | | | |
| 12-Q | B | 11.80 | 12.20 | 150 | 25 | 8.4 | 85 | 2.5 |
| | C | 11.40 | 12.70 | | | | | |

Aufgabe 3)

a)
$$I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E}$$

b)
$$U_Z = I_E \cdot R_E + U_{BE} = 10 \text{ mA} \cdot 500 \Omega + 0,6 \text{ V} = 5,6 \text{ V}$$

⇒ aus Datenblatt: BZX84W-5V6-Q

c)
$$I_Z = 5 \text{ mA}, \text{ da } r_{d1} \text{ am kleinsten ist } \Rightarrow r_Z = 40 \Omega$$

$$R_1 = \frac{U_B - U_Z}{I_Z} = \frac{15,6 \text{ V} - 5,6 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

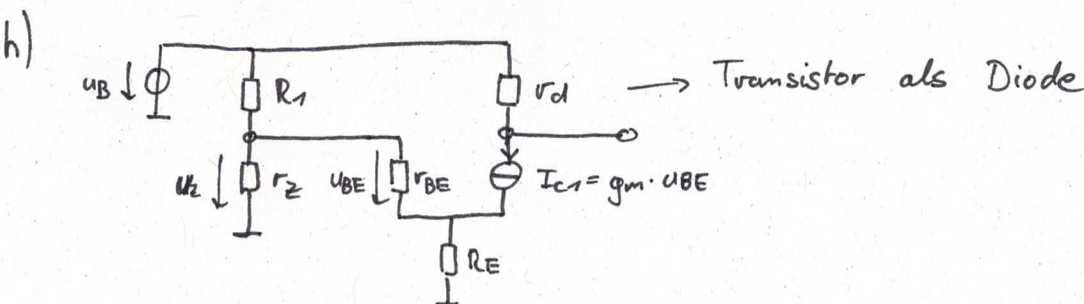
d) Stromspiegel

e)
$$I_{C1} \Big|_{B \rightarrow \infty} = I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} = 10 \text{ mA}$$

f)
$$I_L = I_{C1} \text{ da Stromspiegel und } B \rightarrow \infty$$

$$= \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} = 10 \text{ mA}$$

g)
$$\frac{dI_L}{dT} = \frac{1}{R_E} \left(\frac{dU_Z}{dT} - \frac{dU_{BE}}{dT} \right) = \frac{1}{R_E} \left(1,2 \frac{\text{mV}}{\text{K}} - (-2 \frac{\text{mV}}{\text{K}}) \right) = \frac{3,2 \frac{\text{mV}}{\text{K}}}{500 \Omega} = 6,4 \frac{\text{mA}}{\text{K}}$$



i)
$$r_{in} = r_{BE} + \beta \cdot R_E = \infty$$

j)
$$U_Z = U_B \cdot \frac{r_Z}{R_1 + r_Z}$$

k)
$$i_{C1} = U_Z \cdot g_m' \quad \text{mit } g_m' = \frac{1}{R_E}$$

$$= \frac{U_Z}{R_E}$$

l)
$$i_L = i_{C1} = \frac{U_Z}{R_E} = U_B \cdot \frac{r_Z}{R_1 + r_Z} \cdot \frac{1}{R_E} =$$

m)
$$U_B = 100 \text{ mV} \Rightarrow \Delta I_L = i_L = 100 \text{ mV} \cdot \frac{40 \Omega}{2 \text{ k}\Omega + 40 \Omega} \cdot \frac{1}{500 \Omega} = 4 \text{ }\mu\text{A}$$

Aufgabe 4: (26 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 4.1. Für alle Transistoren gelte $B = \beta \rightarrow \infty$, $|U_{BE}| = 0,6 \text{ V}$ und $U_A \rightarrow \infty$. Die Spannungsquelle u_{in} ist eine Kleinsignalspannungsquelle. Weiterhin gelte: $U_B = 5 \text{ V}$, $U_T = 26 \text{ mV}$.

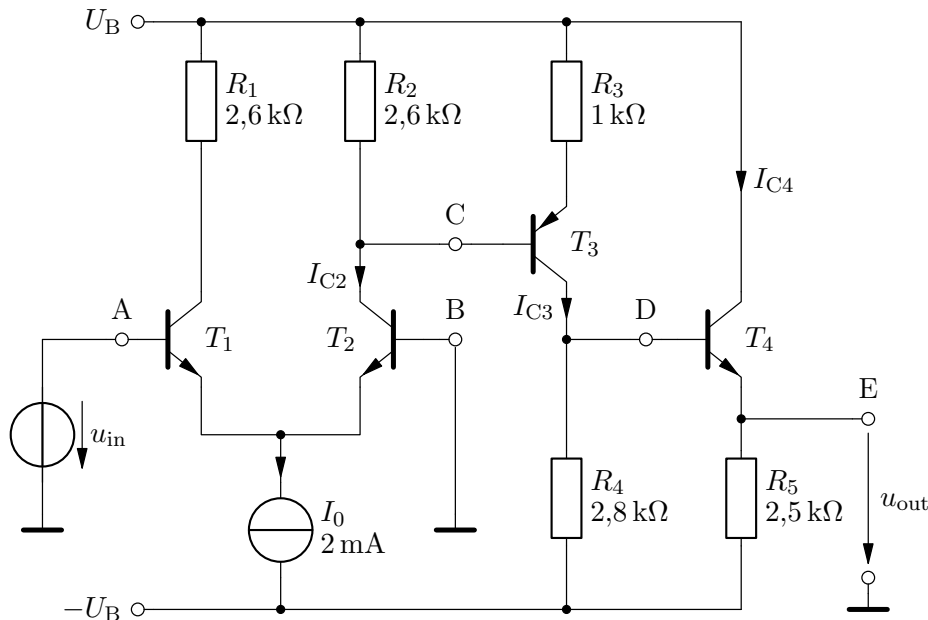


Abbildung 4.1: Transistorschaltung

- 1 a) Welche Schaltung bilden T_1 und T_2 ?
- 2 b) Wie groß ist der Strom I_{C2} im Arbeitspunkt und welches Potential Φ_C stellt sich am Punkt C ein?
- 2 c) Wie groß ist der Strom I_{C3} und welches Potential Φ_D stellt sich am Punkt D ein?
- 2 d) Welches Potential Φ_E stellt sich am Punkt E ein und wie groß ist der Strom I_{C4} ?
- 2 e) In welchen Grundschaltungen werden T_3 und T_4 betrieben?
- 1 f) Berechnen Sie den Eingangswiderstand an Punkt C in die Basis von T_3 .
- 2 g) Berechnen Sie die Verstärkung v_{AC} der Schaltung von Punkt A zu Punkt C.
Hinweise: Nutzen Sie einen Ihnen aus der Vorlesung bekannten Zusammenhang.
- 1 h) Berechnen Sie den Eingangswiderstand an Punkt D in die Basis von T_4 .
- 2 i) Berechnen Sie die Verstärkung v_{CD} der Schaltung von Punkt C zu Punkt D. *Hinweise: Nutzen Sie eine Ihnen aus der Vorlesung bekannte Vereinfachung.*
- 1 j) Bestimmen Sie die Verstärkung v_{DE} der Schaltung von Punkt D zu Punkt E. *Hinweise: Nutzen Sie eine Ihnen aus der Vorlesung bekannte Vereinfachung.*
- 1 k) Bestimmen Sie nun die Gesamtverstärkung $v_0 = \frac{u_{out}}{u_{in}}$ der Schaltung.
- 1 l) Welchen Zweck erfüllt T_4 in der Schaltung?

Die Schaltung aus Abbildung 4.1 wird nun um die Widerstände $R_6 = 1\text{ k}\Omega$ und $R_7 = 2\text{ k}\Omega$ ergänzt und ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

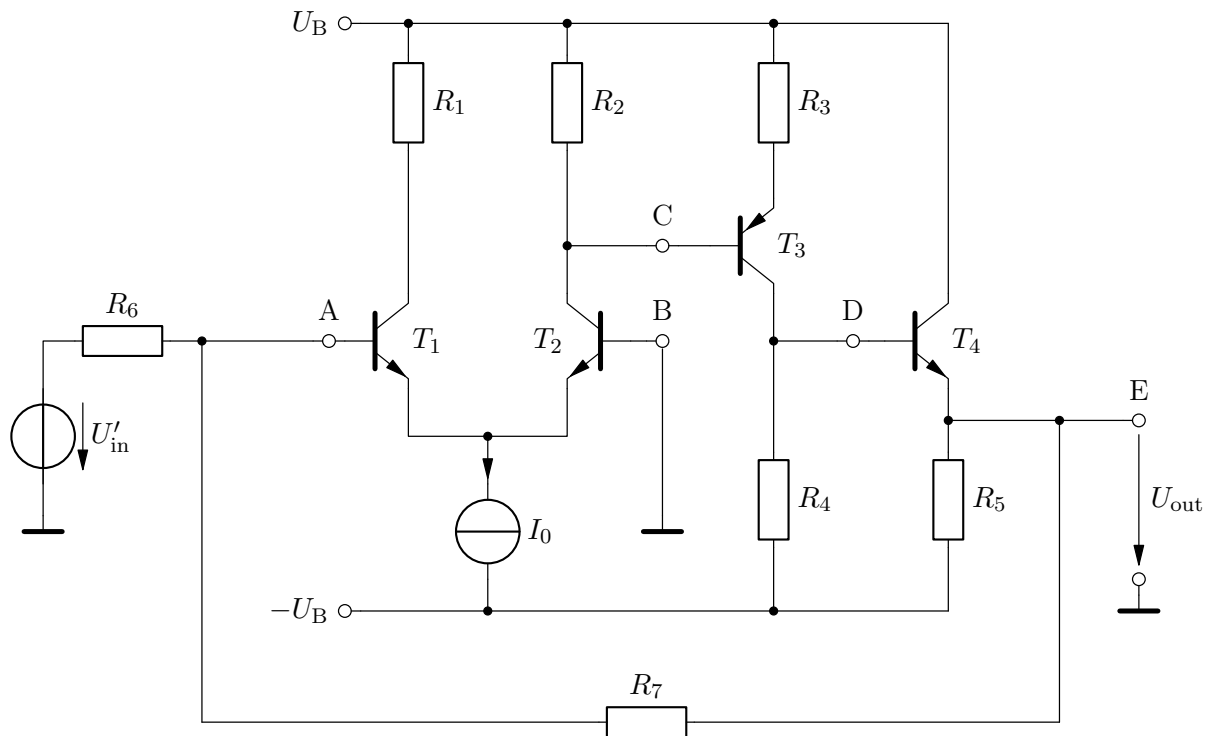


Abbildung 4.2: Transistorschaltung

- 3m) Zeichnen Sie die Schaltung neu, indem Sie die Schaltung aus Abbildung 4.1 durch einen Operationsverstärker ersetzen. Ordnen Sie den drei Anschlüssen des OPs jeweils einen der Punkte A-E aus der Schaltung zu.
- 2n) Berechnen Sie die Verstärkung $v = \frac{U_{out}}{U'_{in}}$ der Schaltung. *Hinweis: Nehmen Sie für den OP $v_0 \rightarrow \infty$ an.*

Aufgabe 4)

a) Differenzverstärker

b) $I_{C2} = \frac{I_0}{2} = 1 \text{ mA}$, da $U_D = 0 \text{ V}$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_{C2} = 2,6 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 2,6 \text{ V}$$

$$\phi_C = U_B - U_{R2} = 5 \text{ V} - 2,6 \text{ V} = 2,4 \text{ V}$$

c) $I_{C3} = I_{E3}$, da $\beta \rightarrow \infty$

$$I_{E3} = \frac{U_B - (\phi_C + U_{BE})}{R_3} = \frac{5 \text{ V} - 2,4 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$\phi_D = -U_B + R_4 \cdot I_{C3} = -5 \text{ V} + 2,8 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ mA} = -5 \text{ V} + 5,6 \text{ V} = 0,6 \text{ V}$$

d) $\phi_E = \phi_D - U_{BE} = 0,6 \text{ V} - 0,6 \text{ V} = 0 \text{ V}$

$$I_{C4} = I_{E4} = \frac{\phi_E - (-U_B)}{2,5 \text{ k}\Omega} = \frac{5 \text{ V}}{2,5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

e) T_3 : Emitterschaltung, T_4 : Kollektorschaltung

f) $r_{in,C} = \infty$ da $\beta \rightarrow \infty$

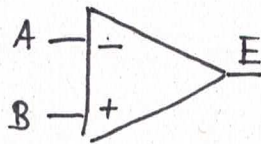
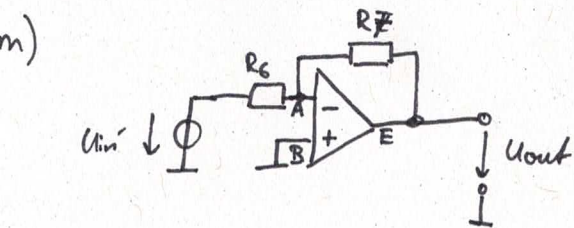
g) $V_{AC} = \frac{1}{2} g_m \cdot R_C$ (Differenzverstärker) $v_{ac} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_C}{U_T} \cdot 2,6 \text{ k}\Omega = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} \cdot 2,6 \text{ k}\Omega = 50$

h) $r_{in,D} = \infty$ da $\beta \rightarrow \infty$

i) $V_{CD} = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{2,8 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = -2,8$ (Emitterschaltung)

j) $V_{DE} = 1$ (Kollektorschaltung)

k) $V_0 = V_{AC} \cdot V_{CD} \cdot V_{DE} = 50 \cdot (-2,8) \cdot 1 = -140$



n) $v = -\frac{R_7}{R_6} = -\frac{2 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = -2$ (invertierender Verstärker)

Aufgabe 5: (15 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit einem idealen, gegengekoppelten Operationsverstärker, der mit $U_B = \pm 5\text{ V}$ versorgt wird. Weiterhin gelte: $U_{\text{in}}(0 \leq t \leq 1\text{ ms}) = 5\text{ V}$ und $U_{C_1}(t = 0) = 0\text{ V}$.

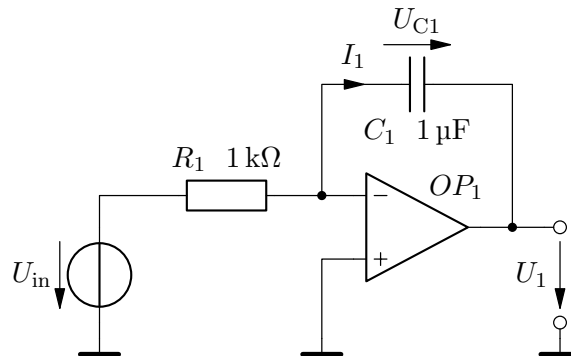


Abbildung 5.1

Betrachten Sie die Schaltung aus Abbildung 5.1.

- 1 a) Um was für eine Schaltung handelt es sich?
- 2 b) Bestimmen Sie den Strom I_1 für $0 \leq t \leq 1\text{ ms}$.
- 3 c) Bestimmen Sie die Spannung am Kondensator C_1 zum Zeitpunkt $t = 1\text{ ms}$.
- 1 d) Bestimmen Sie die Spannung U_1 zum Zeitpunkt $t = 1\text{ ms}$.
- 1 e) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung $U_1 = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 5.3 für den Zeitraum $0\text{ ms} \leq t \leq 1\text{ ms}$ ein. Die Eingangsspannung U_{in} ist in gestrichelter Form vorgezeichnet.

Die Spannung U_{in} wird nun bei $t = 1\text{ ms}$ auf -5 V umgeschaltet und folgt anschließend dem in Abbildung 5.3 dargestellten Verlauf.

- 2 f) Zeichnen Sie den weiteren Verlauf der Spannung $U_1 = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 5.3 für den Zeitraum $1\text{ ms} \leq t \leq 10\text{ ms}$ ein.

Nun wird die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit dem idealen Operationsverstärker OP_2 erweitert, welcher ebenfalls mit $U_B = \pm 5\text{ V}$ versorgt wird. Die Sensorspannung U_{Sensor} beträgt 3 V .

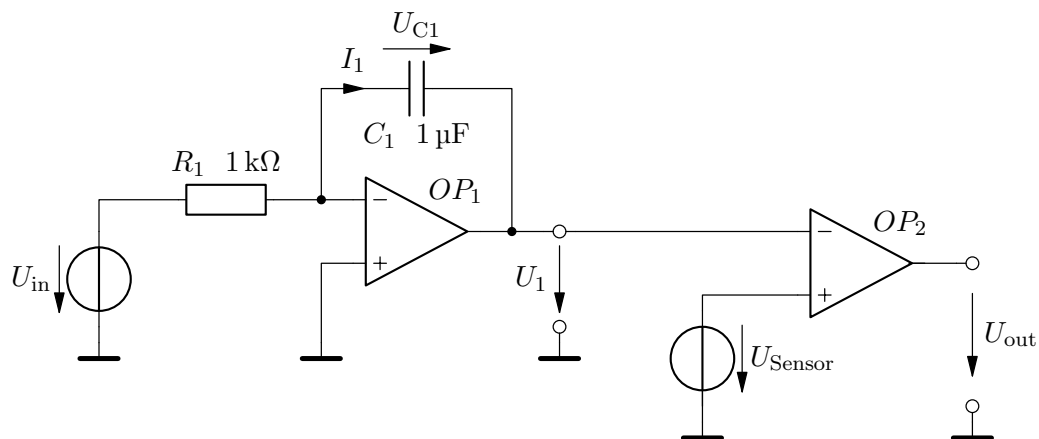


Abbildung 5.2

- 4 g) Zeichnen Sie die Sensorspannung $U_{\text{Sensor}} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 5.3 ein und bestimmen Sie anschließend den Verlauf von $U_{\text{out}} = f(t)$. Zeichnen Sie $U_{\text{out}} = f(t)$ für den Zeitraum $0 \text{ ms} \leq t \leq 10 \text{ ms}$ in das Diagramm aus Abbildung 5.4 ein.
- 1 h) Beschreiben Sie, wie sich die Ausgangsspannung U_{out} verhält, wenn sich die Sensorspannung U_{Sensor} verändert.

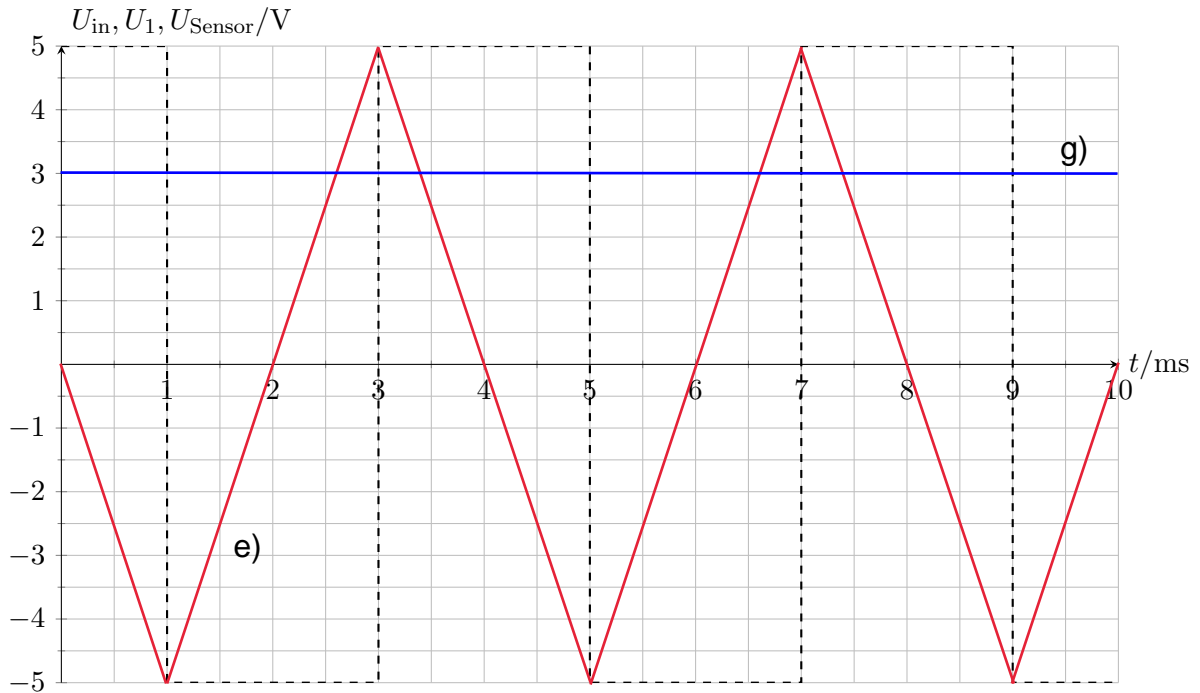


Abbildung 5.3: Diagramm Aufgabe f)

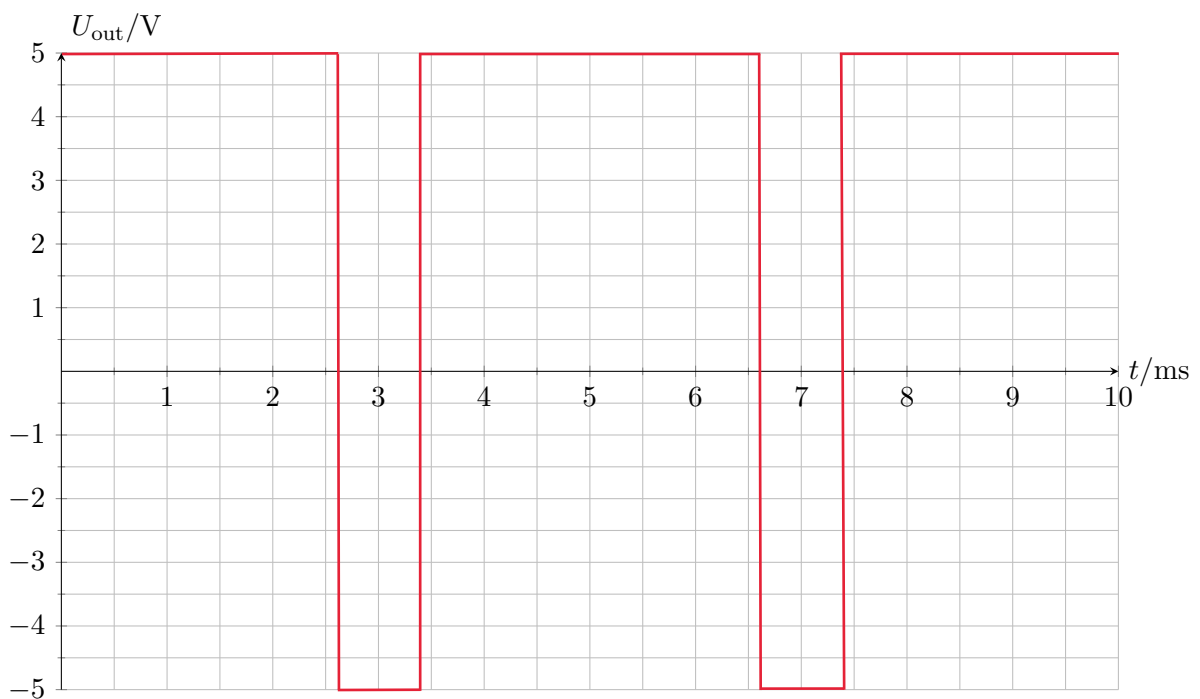


Abbildung 5.4: Diagramm Aufgabe g)

Aufgabe 5)

a) (invertierender) Integrator

b) $U_{in} = 5V$ für $0 \leq t \leq 1ms$

$$I_1 = \frac{U_{in}}{R_1} = \frac{5V}{1k\Omega} = 5mA$$

$$\begin{aligned} c) U_{C1} &= \frac{Q}{C_1} = \frac{1}{C_1} \cdot \int_0^{1ms} I_1(t) dt = \frac{1}{C_1} \cdot [I_1 \cdot t]_0^{1ms} + U_{C1}(t=0) \\ &= \frac{1}{1\mu F} \cdot 5mA \cdot 1ms + 0V = 5V \end{aligned}$$

$$d) U_1 = -U_{C1} = -5V$$

e) } siehe Abbildung 5.3)

f)

g) siehe Abbildung 5.4) $U_{out} = 5V$ für $U_1 > U_{sensor}$
 $U_{out} = -5V$ für $U_1 < U_{sensor}$

h) Pulsbreite d verändert sich

Aufgabe 6: (13 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 6.1 mit einem idealen Operationsverstärker.

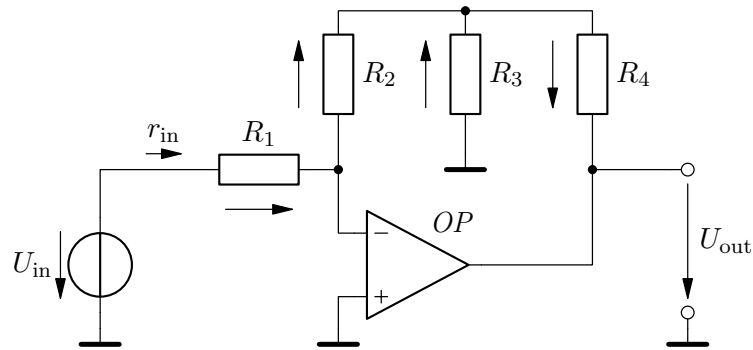


Abbildung 6.1

Beachten Sie beim Lösen der Aufgaben die in Abbildung 6.1 eingezeichneten Spannungspfeile.

- 1 a) Bestimmen Sie den Strom durch R_1 als Funktion von U_{in} .
- 2 b) Bestimmen Sie den Strom durch R_2 und die Spannung über R_2 .
- 2 c) Bestimmen Sie die Spannung über R_3 und den Strom durch R_3 .
- 2 d) Bestimmen Sie den Strom durch R_4 und die Spannung über R_4 .
- 2 e) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_{out} als Funktion von U_{in} .

Im Folgenden gilt für die Widerstände: $R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$.

- 1 f) Wie groß ist die Spannungsverstärkung $v = \frac{U_{out}}{U_{in}}$ dieser Schaltung?
- 1 g) Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung r_{in} ?
- 2 h) Entwerfen Sie eine einfachere Schaltung mit einem OP und gleichem Eingangswiderstand, die dieselbe Aufgabe erfüllt.

Aufgabe 6)

a) $I_{R1} = \frac{U_{in}}{R_1}$

b) $I_{R2} = I_{R1} = \frac{U_{in}}{R_1}$, $U_{R2} = I_{R2} \cdot R_2 = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1}$

c) $U_{R3} = U_{R2} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1}$, $I_{R3} = \frac{U_{R3}}{R_3} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_3}$

d) $I_{R4} = I_{R3} + I_{R2} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_3} + U_{in} \cdot \frac{1}{R_1}$

$U_{R4} = R_4 \cdot I_{R4} = U_{in} \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_3} + U_{in} \cdot \frac{R_4}{R_1}$

e) $U_{out} = 0_n - U_{R2} - U_{R4}$ oder $U_{out} = U_{R3} - U_{R4}$

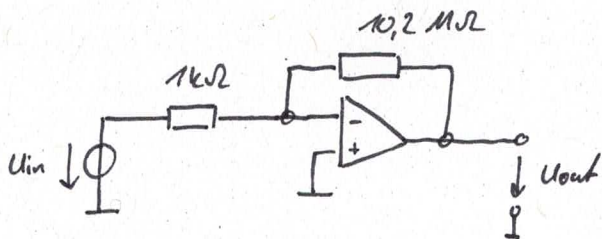
$= - U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1} - U_{in} \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_3} - U_{in} \cdot \frac{R_4}{R_1}$

f) $R_1 = R_3 = 1k\Omega$, $R_2 = R_4 = 100k\Omega$

$U_{out} = - U_{in} \cdot 100 - U_{in} \cdot 10.000 - U_{in} \cdot 100 = - U_{in} \cdot 10.200$

$v = \frac{U_{out}}{U_{in}} = - 10.200$

g) $r_{in} = R_1 = 1k\Omega$



invertierender Verstärker

Aufgabe 7: (17 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 7.1 mit einem idealen, gegengekoppelten Operationsverstärker und idealen Transistoren ($B = \beta \rightarrow \infty$, $|U_{BE}| = 0,7 \text{ V}$). Die gesamte Schaltung wird mit $U_B = 10 \text{ V}$ betrieben. Weiterhin gelte: $R = R_1 = R_2 = R_3$.

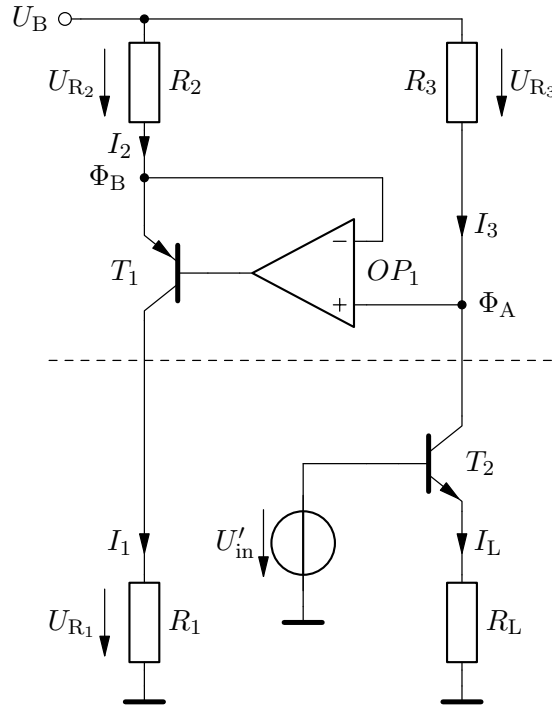


Abbildung 7.1

- 1 a) Bestimmen Sie den Strom I_L in allgemeiner Form als Funktion $I_L = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 1 b) Bestimmen Sie den Strom I_3 in allgemeiner Form als Funktion $I_3 = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 1 c) Bestimmen Sie das Potential Φ_A in allgemeiner Form als Funktion $\Phi_A = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 1 d) Bestimmen Sie das Potential Φ_B in allgemeiner Form als Funktion $\Phi_B = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 2 e) Bestimmen Sie den Strom I_2 in allgemeiner Form einmal als Funktion $I_2 = f(I_3, R, R_L)$ und einmal als Funktion $I_2 = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 1 f) Bestimmen Sie den Strom I_1 in allgemeiner Form als Funktion $I_1 = f(U'_{in}, R, R_L)$.
- 1 g) Welche Funktion hat die Teilschaltung oberhalb der gestrichelten Linie?
- 2 h) Bestimmen Sie die Spannung U_{R_1} in allgemeiner Form als Funktion $U_{R_1} = f(I_L, R, R_L)$.

Betrachten Sie nun die Schaltung aus Abbildung 7.2, in der die Spannungsquelle U'_{in} durch einen Operationsverstärker mit neuer Eingangsspannung U_{in} ersetzt wurde.

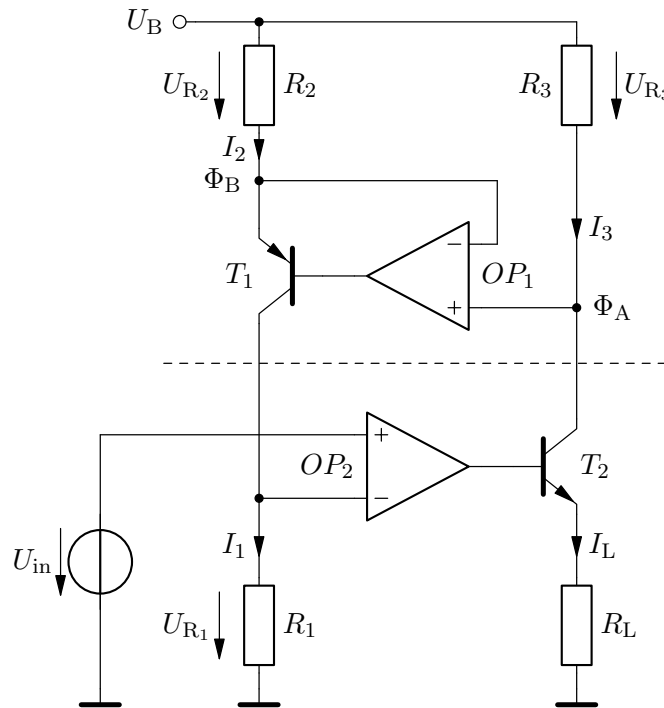


Abbildung 7.2

- 1 i) Bestimmen Sie die Spannung U_{R_1} in allgemeiner Form als Funktion $U_{R_1} = f(U_{in}, R, R_L)$.
Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass der Operationsverstärker OP_2 gegengekoppelt ist.
- 1 j) Bestimmen Sie den Strom I_L in allgemeiner Form als Funktion $I_L = f(U_{in}, R, R_L)$.
Hinweis: Nutzen sie ihr Ergebnis aus Aufgabenteil h) und i).
- 1 k) Der Widerstand R_L wird nun verdoppelt. Wie verhält sich der Strom I_L ?
- 2 l) Welche Funktion hat die Gesamtschaltung?
- 2 m) Legen Sie die Widerstände nun so aus, dass bei gleichem U_{in} der doppelte Strom durch R_L fließt.

Aufgabe 7)

a) $I_L = \frac{U_{in}' - U_{BE}}{R_L}$

b) $I_3 = I_L$ da Op ideal und $\beta \rightarrow \infty$
 $= \frac{U_{in}' - U_{BE}}{R_L}$

c) $\phi_A = U_B - U_{R3} = U_B - (U_{in}' - U_{BE}) \cdot \frac{R}{R_L}$

d) $\phi_B = \phi_A = U_B - (U_{in}' - U_{BE}) \cdot \frac{R}{R_L}$ da Op gegengekoppelt

e) $I_2 = I_3$ mit $U_{R2} = U_{R3}$ und $R_2 = R_3$

$$I_2 = \frac{U_{in}' - U_{BE}}{R_L}$$

f) $I_1 = I_2$ da Op ideal und $\beta \rightarrow \infty$
 $= \frac{U_{in}' - U_{BE}}{R_L}$

g) Stromspiegel

h) $U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = (U_{in}' - U_{BE}) \cdot \frac{R}{R_L} = I_L \cdot R$

i) $U_{R1} = U_{in}$ da Op gegengekoppelt

j) $U_{in} = I_L \cdot R \Leftrightarrow I_L = \frac{U_{in}}{R}$

k) I_L bleibt gleich. Kein Einfluss von R_L

l) Spannungsgesteuerte Stromquelle

m) $R_1 = \frac{1}{2}R$ $R_2 = R_3 = R$ (nur eine Möglichkeit)