

„Mess- und Schaltungstechnik“

Beachten Sie folgende Hinweise:

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (9 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 119 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: Musterlösung, Max

Matrikelnummer: 111 11 11

Unterschrift: 

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

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

Aufgabe 1: (17 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 1.1 mit den idealen Transistoren T_1 bis T_3 . Nehmen Sie an, dass $|U_{BE}|$ aller Transistoren $0,6\text{ V}$ und die Stromverstärkung $B = \beta \rightarrow \infty$ beträgt.

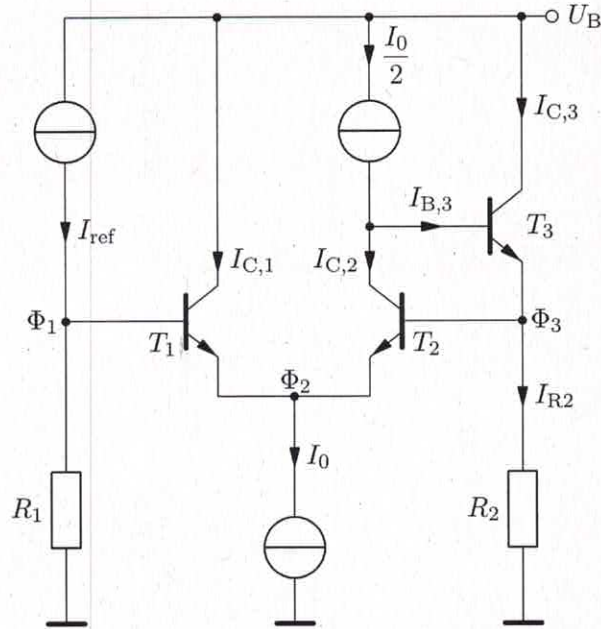


Abbildung 1.1

- 1 a) Bestimmen Sie das Potential Φ_1 als Funktion von I_{ref} und R_1 .
- 1 b) Wie groß ist der Basisstrom $I_{B,3}$ von Transistor T_3 ?
- 2 c) Bestimmen Sie die Kollektorströme $I_{C,2}$ und $I_{C,1}$.
- 1 d) Welches Potential Φ_2 stellt sich an den Emitteranschlüssen von T_1 und T_2 ein?
- 1 e) Bestimmen Sie das Potential Φ_3 .
- 2 f) Geben Sie den Strom I_{R2} als Funktion von I_{ref} , R_1 und R_2 an.
- 1 g) Bestimmen Sie den Strom $I_{C,3}$.
- 2 h) Welche Funktion erfüllt die Schaltung in Bezug auf I_{ref} und $I_{C,3}$ für den Fall, dass $R_1 = R_2$ gilt?
- 3 i) Zeichnen Sie eine zu Unterpunkt h) äquivalente Schaltung, welche nur zwei Transistoren benötigt.
- 3 j) Bestimmen Sie die Verlustleistung der Schaltung nach Abbildung 1.1 als Funktion von U_B , I_0 und I_{ref} . Weiterhin gelte: $R_1 = R_2$.

Aufgabe 1:

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

b) $I_{B3} = 0$

c) $I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_0}{2}$

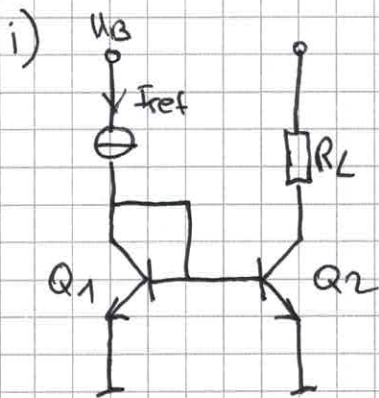
d) $\phi_2 = \phi_1 - U_{BE1}$

e) $\phi_3 = \phi_1 = I_{ref} \cdot R_1$

f) $I_{R2} = I_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}$

g) $I_{C3} = I_{R2} = I_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}$

h) Stromspiegel



j) $P_V = (I_0 + 2 \cdot I_{ref}) \cdot U_B$

Aufgabe 2: (20 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 2.1 mit den idealen Transistoren T_1 und T_2 . Für die Schaltung gelte: $U_B = 20\text{ V}$, $U_{BE} = 0,6\text{ V}$, $B = \beta \rightarrow \infty$, $C_1 = C_2 = C_3 \rightarrow \infty$, $R_L \rightarrow \infty$, $R_1 = 16,4\text{ k}\Omega$ und $R_2 = 3,6\text{ k}\Omega$.

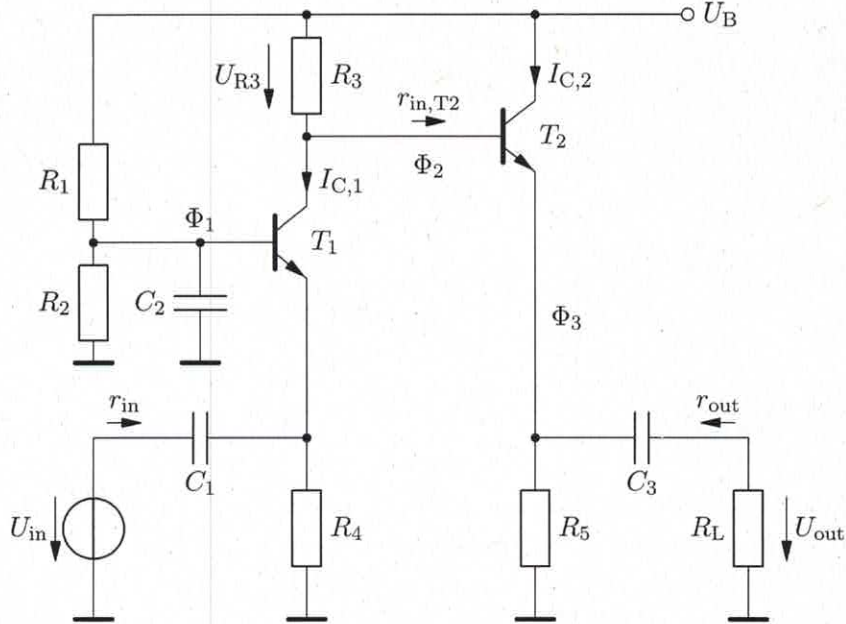


Abbildung 2.1

- 2 a) Berechnen Sie den Widerstand R_4 für einen Kollektorstrom $I_{C,1} = 500\ \mu\text{A}$.
- 1 b) Berechnen Sie den Widerstand R_3 für eine Spannung $U_{R3} = 10\text{ V}$.
- 2 c) Berechnen Sie den Widerstand R_5 für einen Kollektorstrom $I_{C,2} = 500\ \mu\text{A}$.

Nun gelte für die Transistoren $B = \beta = 200$.

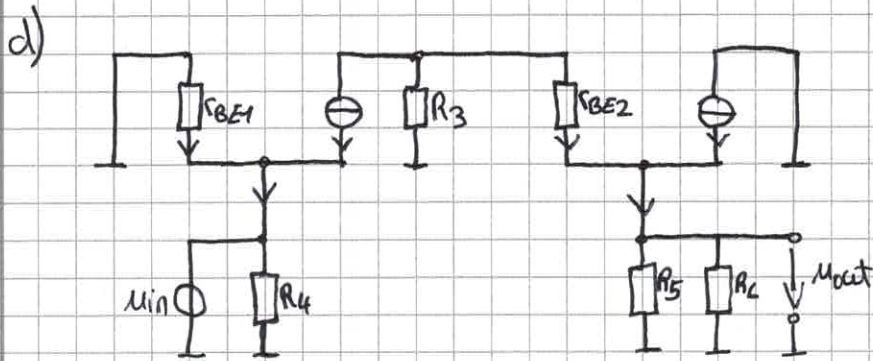
- 3 d) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung aus Abbildung 2.1.
- 2 e) In welchen Schaltungsarten werden die Transistoren T_1 und T_2 betrieben?
- 2 f) Berechnen Sie den Eingangswiderstand $r_{in,T2}$ allgemein als Funktion von R_5 und R_L und geben Sie ihn als Zahlenwert (Näherung) an.
- 1 g) Bestimmen Sie die Kleinsignalverstärkung $v_{T2} = \frac{d\Phi_3}{d\Phi_2}$ der Verstärkerstufe, gebildet aus T_2 . (Näherung)
- 3 h) Berechnen Sie die Gesamtverstärkung $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$ der Schaltung.
- 2 i) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand r_{in} der Schaltung.
- 2 j) Berechnen Sie den Ausgangswiderstand r_{out} der Schaltung.

Aufgabe 2:

$$a) R_4 = \frac{U_{R2} - U_{BE1}}{I_{C1}} = \frac{3V}{500\mu A} = 6k\Omega$$

$$b) R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{C1}} = \frac{10V}{500\mu A} = 20k\Omega$$

$$c) R_5 = \frac{10V - 0,6V}{0,5mA} = 18,8k\Omega$$



e) T_1 : Basisschaltung

T_2 : Kollektorschaltung

$$f) r_{in,T2} = r_{BE2} + \beta \cdot (R_5 \parallel R_L)$$

$$= r_{BE2} + \beta \cdot R_5 \quad \text{da } R_L \rightarrow \infty$$

$$= 200 \cdot \frac{25mV}{0,5mA} + 200 \cdot 18,8k\Omega$$

$$= 3,77M\Omega$$

$$g) v_{T2} = 1$$

$$h) v_{T1} = g_m \cdot R_c$$

$$= g_{m1} \cdot r_{in,T2} \parallel R_3$$

$$= \frac{0,5mA}{25mV} \cdot 20k\Omega$$

$$= 400$$

$$v_{ges} = v_{T1} \cdot v_{T2}$$

$$= 400 \cdot 1$$

$$= 400$$

$$i) r_{in} = \frac{1}{g_{m1}} \parallel R_4$$

$$= \frac{25mV}{0,5mA} \parallel 6k\Omega$$

$$\approx 50\Omega$$

$$j) r_{out} = R_5 \parallel \left(\frac{1}{g_{m2}} + \frac{R_3}{\beta} \right)$$

$$= 18,8k\Omega \parallel 150\Omega$$

$$\approx 150\Omega$$

Aufgabe 3: (16 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1 mit zwei idealen gegengekoppelten Operationsverstärkern.

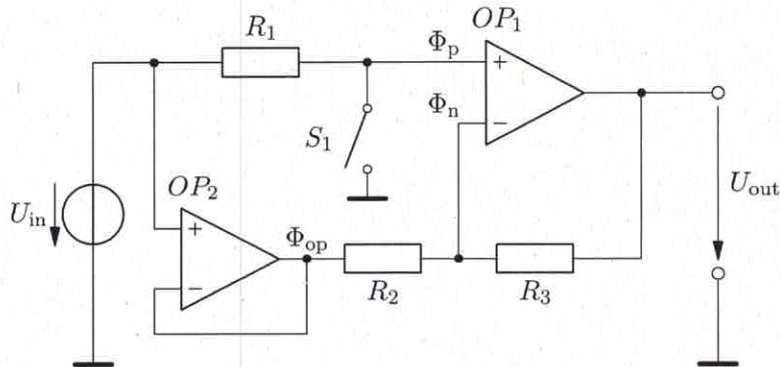


Abbildung 3.1

- 1 a) Bestimmen Sie das Potential Φ_{op} am Ausgang des Operationsverstärkers OP_2 .
Hinweis: Das Potential ist unabhängig vom Zustand des Schalters S_1 .

Nun sei der Schalter S_1 geschlossen (S_1 leitend).

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

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

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

Beim Aufbau der Schaltung stellen Sie fest, dass Sie nur vier Widerstände mit den Werten $1\text{ k}\Omega$, $3\text{ k}\Omega$, $4\text{ k}\Omega$ und $12\text{ k}\Omega$ zur Verfügung haben.

- 3 j) Wie sollten die Widerstände in die Schaltung eingebaut werden, damit das Schaltungsverhalten unverändert bleibt? *Hinweis: Verwenden Sie alle vier Widerstände!*

Aufgabe 3:

1 a) $\phi_{op} = U_{in}$

2 b) $\phi_p = 0V$ $\phi_n = 0V$

2 c) $U_{out} = -U_{in} \cdot \frac{R_3}{R_2}$

1 d) $U_{out} = -U_{in}$

1 e) Invertierender Verstärker

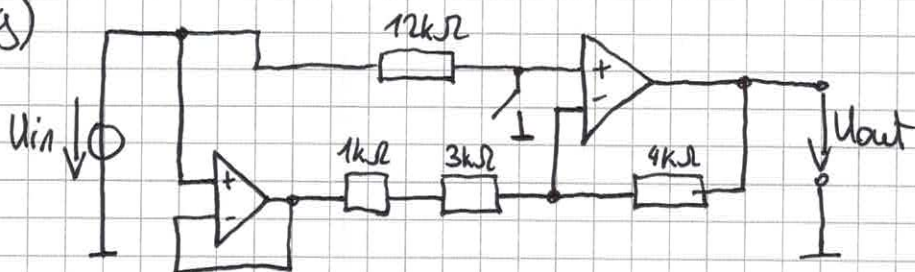
2 f) $\phi_p = U_{in}$ $\phi_n = U_{in}$

2 g) $U_{out} = U_{in}$

1 h) $U_{out} = U_{in}$

1 i) Spannungsfolger

3 j)



Aufgabe 4: (18 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 4.1 mit einem idealen gegengekoppelten Operationsverstärker.

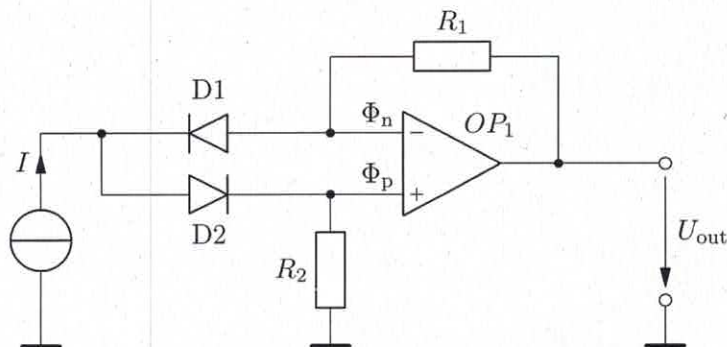


Abbildung 4.1

Der Strom I sei zunächst positiv.

- 2 a) Treffen Sie für die beiden Dioden D_1 und D_2 eine Aussage, ob sie jeweils leitend oder sperrend sind.
- 2 b) Bestimmen Sie das Potential Φ_p .
- 1 c) Bestimmen Sie das Potential Φ_n .
- 2 d) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(I, R_1, R_2)$.

Jetzt sei der Strom I negativ.

- 2 e) Treffen Sie für die beiden Dioden D_1 und D_2 eine Aussage, ob sie jeweils leitend oder sperrend sind.
- 2 f) Bestimmen Sie das Potential Φ_p .
- 1 g) Bestimmen Sie das Potential Φ_n .
- 2 h) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(I, R_1, R_2)$.

Es gelte jetzt: $R_1 = R_2 = R$

- 1 i) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(I, R)$ in allgemeiner Form.

Es gelte jetzt: $R = 1 \text{ k}\Omega$

- 3 j) Zeichnen Sie U_{out} in Abhängigkeit vom Strom I für das Intervall -5 mA bis 5 mA in das Diagramm aus Abbildung 4.2 ein. Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.

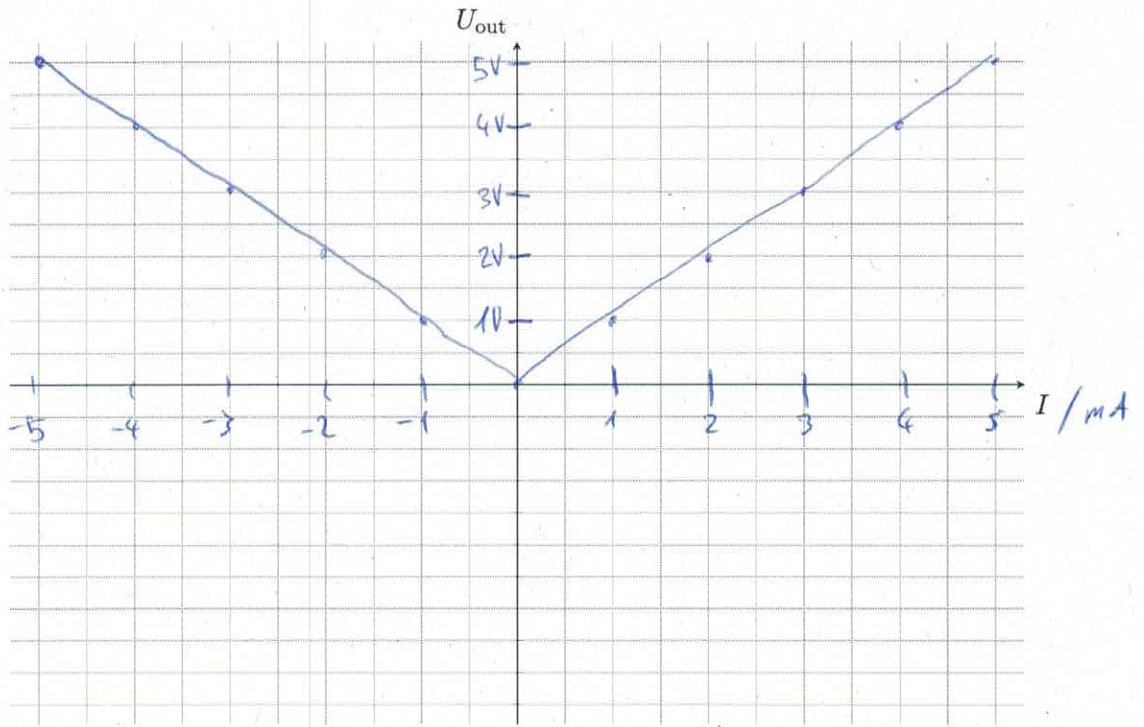


Abbildung 4.2: Diagramm Aufgabe 4 j)

Aufgabe 4:

2 a) D_1 : sperrend D_2 : leitend

2 b) $\phi_p = I \cdot R_2$

1 c) $\phi_n = I \cdot R_2$

2 d) $U_{out} = I \cdot R_2$

2 e) D_1 : leitend D_2 : sperrend

2 f) $\phi_p = 0V$

1 g) $\phi_n = 0V$

2 h) $U_{out} = -I \cdot R_1$

1 i) $U_{out} = |I| \cdot R$

3 j) siehe Abb. 4.2

Aufgabe 5: (19 Punkte)

Es sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit idealen Bauelementen gegeben. Die Operationsverstärker sind gegengekoppelt. Weiterhin gelte: $R = 1\text{ k}\Omega$, $R_L = 470\ \Omega$, $U_{BE} = 0,6\text{ V}$, $U_B = 10\text{ V}$.

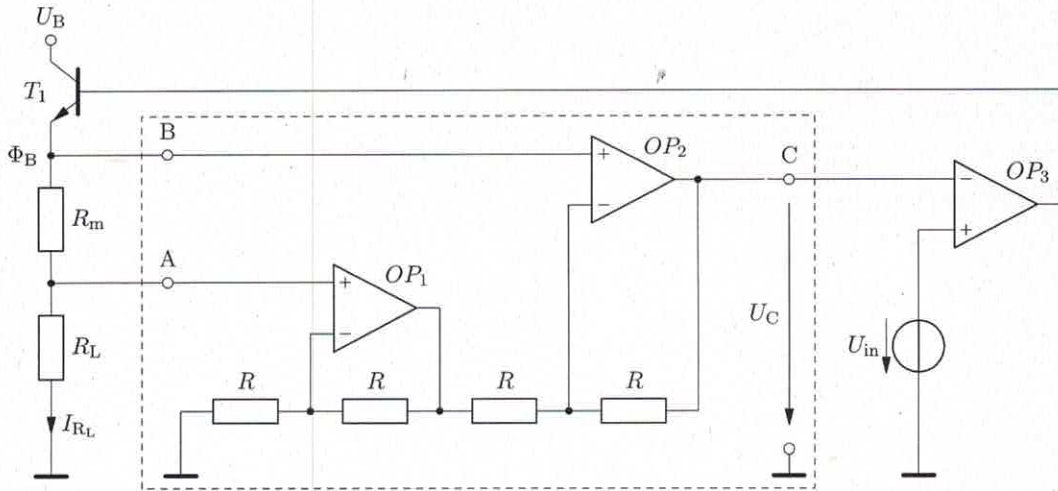


Abbildung 5.1

Betrachten Sie zunächst die markierte Teilschaltung und setzen Sie an den Klemmen A und B ideale Spannungsquellen U_A und U_B ein.

- 9 a) Berechnen Sie die Ausgangsspannung $U_C = f(U_A, U_B)$ mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens.

Betrachten Sie nun die gesamte Schaltung und verwenden Sie das Ergebnis aus a).

- 2 b) Bestimmen Sie $U_C = f(I_{R_L}, R_L, R_m, R)$.
- 3 c) Bestimmen Sie $I_{R_L} = f(U_{in}, R_L, R_m, R)$. *Hinweis: Berücksichtigen Sie Ihnen bekannte Eigenschaften des idealen Operationsverstärkers.*
- 1 d) Welche Funktion erfüllt die Schaltung?

Für $U_{in} = 6\text{ V}$ soll der Strom I_{R_L} nun 10 mA betragen.

- 2 e) Dimensionieren Sie R_m .
- 1 f) Bestimmen Sie das Potential Φ_B .
- 1 g) Bestimmen Sie die Spannung U_{out, OP_3} am Ausgang des Operationsverstärkers OP_3 .

Aufgabe 5:

a) Superposition:

1. Fall: $U_A = 0$

$$U_{C,1} = U_B \cdot \left(1 + \frac{R}{R}\right) \\ = 2U_B$$

2. Fall: $U_B = 0$

$$U_{C,2} = -U_A \left(1 + \frac{R}{R}\right) \cdot \frac{R}{R} \\ = -2U_A$$

$$U_C = U_{C,1} + U_{C,2} = 2U_B - 2U_A$$

b) $U_A = I_{RL} \cdot R_L$

$$U_B = I_{RL} \cdot (R_L + R_m)$$

$$\Rightarrow U_C = 2U_B - 2U_A \\ = 2 \cdot I_{RL} \cdot (R_L + R_m) - 2 \cdot I_{RL} \cdot R_L \\ = 2 \cdot I_{RL} \cdot R_m$$

c) $U_C = U_{in} \Rightarrow U_{in} = 2 \cdot I_{RL} \cdot R_m$

$$\Rightarrow I_{RL} = \frac{U_{in}}{2 \cdot R_m}$$

d) Spannungsgesteuerte Stromquelle

e) $R_m = \frac{U_{in}}{2 \cdot I_{RL}} = \frac{6V}{2 \cdot 10mA} = 300 \Omega$

f) $\phi_B = I_{RL} \cdot (R_m + R_L) \\ = 10mA \cdot (300 + 470\Omega) \\ = 7,7V$

g) $U_{out,OP3} = \phi_B + U_{BE} \\ = 8,3V$

Aufgabe 6: (23 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 6.1. Alle OPs seien ideal, alle Transistoren seien ideal mit der Stromverstärkung $B = \beta \rightarrow \infty$, $U_A \rightarrow \infty$ und $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$. Die Diode D_1 sei ideal mit der Flussspannung $U_F = 0,6\text{ V}$. Alle Widerstände $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6$ haben den Wert R , der Widerstand R_L beträgt $\frac{1}{10}R$.

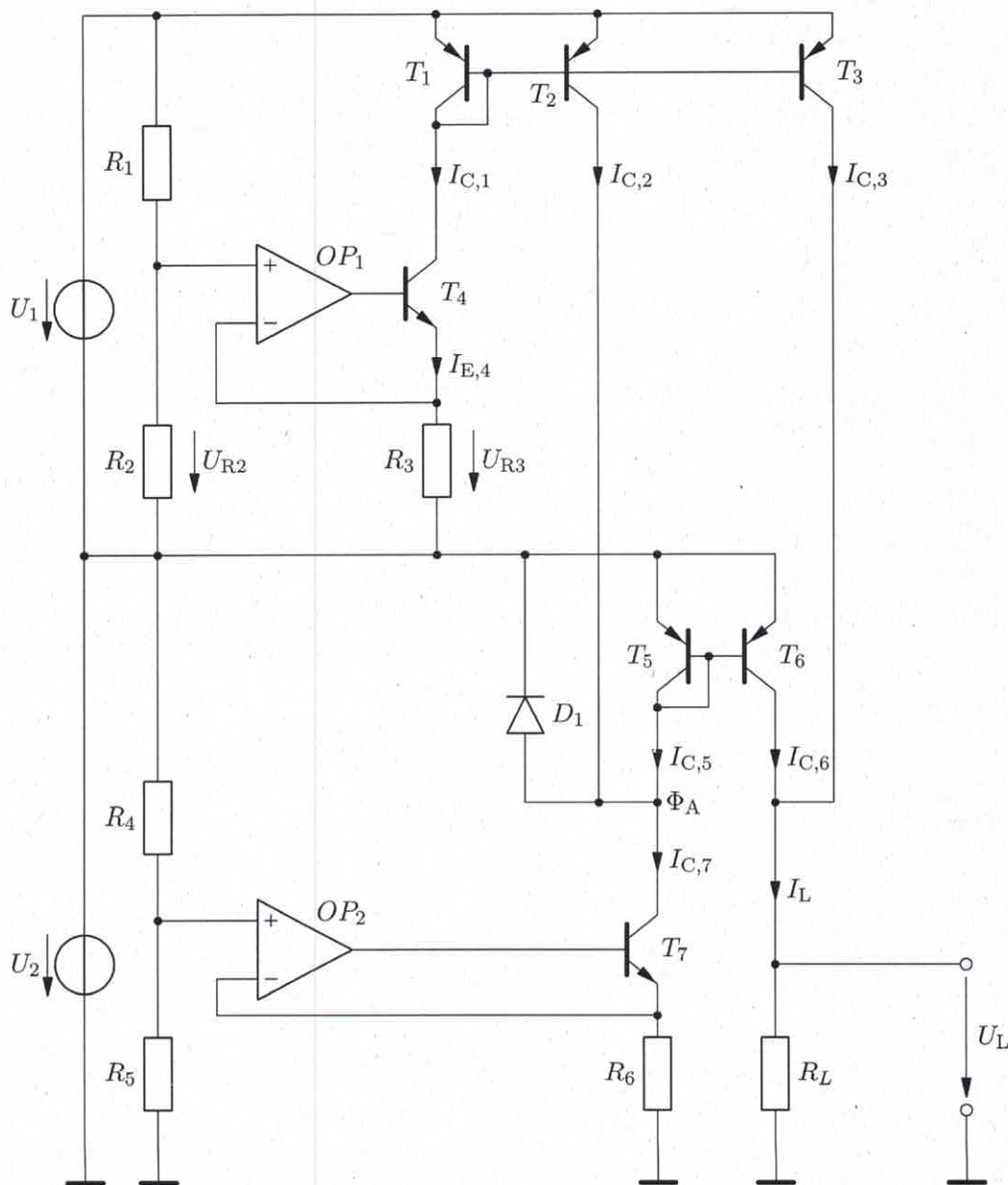


Abbildung 6.1

- 1 a) Bestimmen Sie die Spannung U_{R2} als Funktion von U_1 und R : $U_{R2} = f(U_1, R)$.
- 2 b) Bestimmen Sie die Spannung $U_{R3} = f(U_1, R)$.
- 1 c) Bestimmen Sie den Emitterstrom $I_{E,4} = f(U_1, R)$.
- 1 d) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,1} = f(U_1, R)$.

- 1 e) Bestimmen Sie die Kollektorströme $I_{C,2}$ und $I_{C,3}$ als Funktionen von U_1 und R .
- 2 f) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,7} = f(U_2, R)$.
- 3 g) Wie müssen die Ströme $I_{C,2}$ und $I_{C,7}$ sich zueinander verhalten, damit die Diode D_1 leitet bzw. nicht leitet?
- 1 h) Wie müssen die Spannungen U_1 und U_2 sich zueinander verhalten, damit die Diode D_1 leitet bzw. nicht leitet?

Es gelte: $U_1 > U_2$

- 2 i) Bestimmen Sie das Potential Φ_A . *Hinweis: Überlegen Sie, ob der Transistor T_5 leitet oder sperrt.*
- 1 j) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,5} = f(U_1, U_2, R)$.
- 1 k) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,6} = f(U_1, U_2, R)$.
- 1 l) Bestimmen Sie $I_L = f(U_1, U_2, R)$ und $U_L = f(U_1, U_2, R)$.

Nun gelte: $U_1 < U_2$

- 1m) Bestimmen Sie das Potential Φ_A . *Hinweis: Überlegen Sie, ob der Transistor T_5 leitet oder sperrt.*
- 1 n) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,5} = f(U_1, U_2, R)$.
- 1 o) Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C,6} = f(U_1, U_2, R)$.
- 1 p) Bestimmen Sie $I_L = f(U_1, U_2, R)$ und $U_L = f(U_1, U_2, R)$.
- 2 q) Welche Funktion hat die Schaltung? Bestimmen Sie in allgemeiner Form $U_L = f(U_1, U_2, R)$.

Aufgabe 6:

a) $U_{R2} = \frac{U_1}{2}$

b) $U_{R3} = \frac{U_1}{2}$

c) $I_{E4} = \frac{U_1}{2R}$

d) $I_{C1} = I_{E4} = \frac{U_1}{2R}$

e) $I_{C2} = I_{C3} = I_{C1} = \frac{U_1}{2R}$

f) $I_{C7} = \frac{U_2}{2R}$

g) D_1 leitet: $I_{C2} > I_{C7}$

D_1 sperrt: $I_{C2} < I_{C7}$

h) D_1 leitet: $U_1 > U_2$

D_1 sperrt: $U_1 < U_2$

i) $\phi_A = U_2 + U_F$

j) $I_{C5} = 0$

k) $I_{C6} = 0$

l) $I_L = I_{C3} = \frac{U_1}{2R}$

$$U_L = R_L \cdot \frac{U_1}{2R} = \frac{1}{10} R \cdot \frac{U_1}{2R} = \frac{1}{20} U_1$$

m) $\phi_A = U_2 - U_{BE}$

n) $I_{C5} = I_{C7} - I_{C2}$

$$= \frac{U_2}{2R} - \frac{U_1}{2R} = \frac{1}{2R} (U_2 - U_1)$$

o) $I_{C6} = I_{C5} = \frac{1}{2R} (U_2 - U_1)$

p) $I_L = I_{C6} + I_{C3}$

$$= \frac{1}{2R} (U_2 - U_1) + \frac{U_1}{2R} = \frac{U_2}{2R}$$

$$U_L = \frac{U_2}{2R} \cdot R_L = \frac{1}{20} U_2$$

q) Der Ausgangsstrom ist definiert durch die größte anliegende Spannungsquelle.

$$U_L = \frac{\max(U_1, U_2)}{20}$$

Aufgabe 7: (6 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 7.1. Für den idealen Transistor T_1 gelte: $U_{BE} = 0,6\text{ V}$, $U_A \rightarrow \infty$ und $B = \beta \rightarrow \infty$. Für die Kondensatoren gelte: $C \rightarrow \infty$.

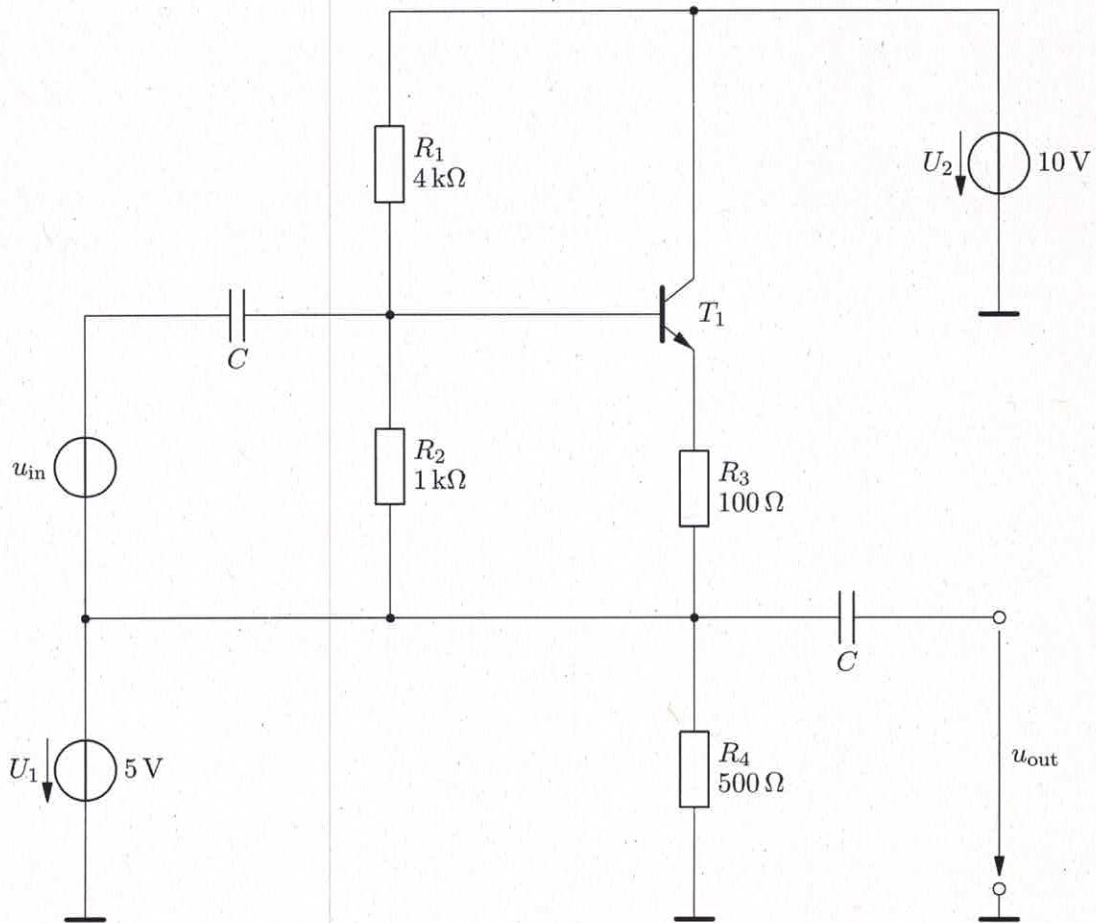


Abbildung 7.1

- 6 a) Bestimmen Sie die Verstärkung $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$ der Schaltung. Begründen Sie Ihre Antwort.

$$V = \frac{u_{out}}{u_{in}} = 0, \text{ da } u_{out} = 0$$