

„Mess- und Schaltungstechnik“

Beachten Sie folgende Hinweise:

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (11 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: Musterlösung

Matrikelnummer: _____

Unterschrift: _____

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

Note	
------	--

Aufgabe 1: (19 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung nach Abbildung 1.1 mit den idealen Transistoren T_1 bis T_4 . Nehmen Sie an, dass $|U_{BE}|$ aller Transistoren $0,6\text{ V}$ und die Stromverstärkung $B = \beta \rightarrow \infty$ beträgt. Hinweis: Wenn ein Transistor in Sättigung ist, rechnen Sie mit $U_{CE} = 0,2\text{ V}$.

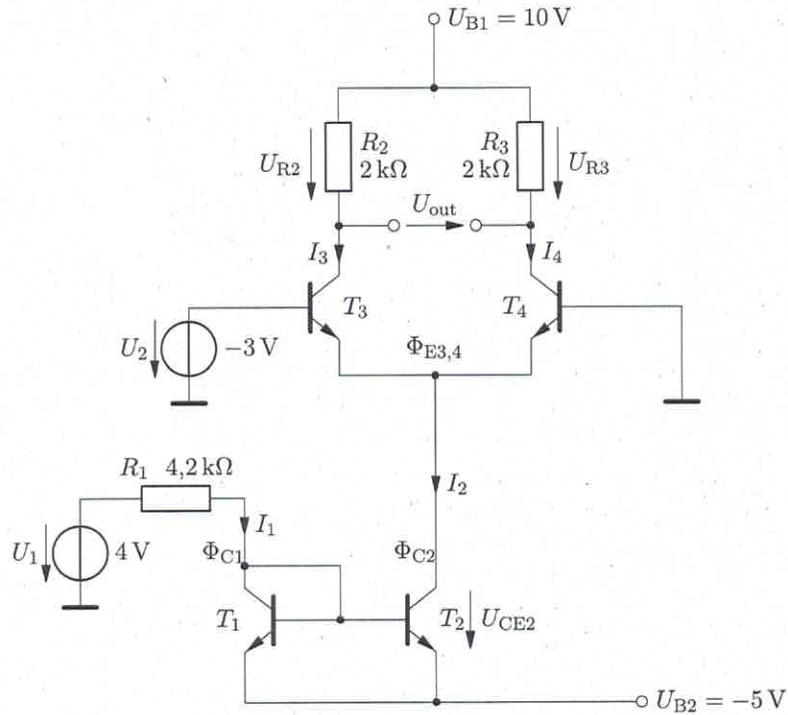


Abbildung 1.1: Differenzverstärker

- 1 a) Welche Schaltung bilden die Transistoren T_3 und T_4 ?
- 1 b) Bestimmen Sie das Potential Φ_{C1} .
- 4 c) Bestimmen Sie die Ströme I_1 und I_2 .
- 2 d) Bestimmen Sie die Ströme I_3 und I_4 .
- 2 e) Wie groß sind die Potentiale $\Phi_{E3,4}$ und Φ_{C2} ?
- 2 f) Wie groß ist U_{out} ?

Aufgrund eines Lötfehlers am Kollektor von Transistor T_2 entsteht ein zusätzlicher Widerstand $R_4 = 100 \Omega$ und die Schaltung ändert sich wie folgt:

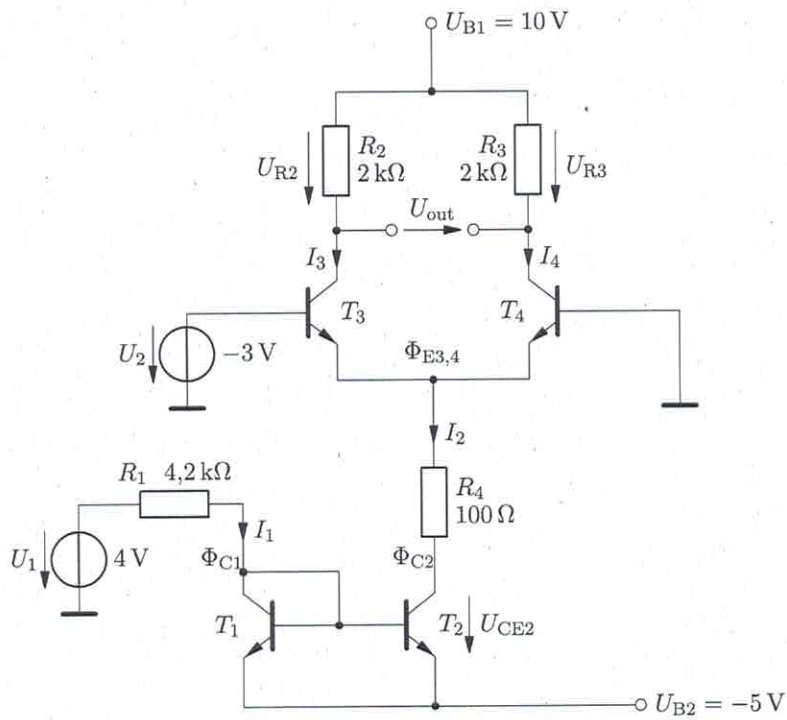


Abbildung 1.2

3 g) Wie groß sind jetzt die Potentiale $\Phi_{E3,4}$ und Φ_{C2} ?

4 h) Der Widerstand R_4 erhöht sich auf $4,2 \text{ k}\Omega$, bestimmen Sie jetzt die Ströme I_3 und I_4 .

Aufgabe 1:

a) Differenzverstärker

$$b) U_{B2} + U_{BE} = -5V + 0,6V = \underline{\underline{-4,4V}}$$

$$c) I_1 = \frac{U_1 - \phi_{c1}}{R_1} = \frac{8,4V}{4,2k\Omega} = \underline{\underline{2mA}} \Rightarrow I_2 = \underline{\underline{2mA}} \quad (\text{Stromspiegel})$$

$$d) T_3: \text{ sperrend} \quad T_4: \text{ leitend}$$
$$\Rightarrow \underline{\underline{I_3 = 0}} \quad I_4 = \underline{\underline{2mA}}$$

$$e) \phi_{E3,4} = \phi_{c2} = \underline{\underline{-0,6V}}$$

$$f) U_{out} = (U_{B1} - U_{R2}) - (U_{B1} - U_{R3})$$
$$= (10V - 0V) - (10V - 4V)$$
$$= 10V - 6V$$
$$= \underline{\underline{4V}}$$

$$g) \phi_{E3,4} = \underline{\underline{-0,6V}}$$

$$\phi_{c2} = \phi_{E3,4} - U_{R4}$$
$$= -0,6V - (2mA \cdot 100\Omega)$$
$$= -0,6V - 0,2V$$
$$= \underline{\underline{-0,8V}}$$

h) Transistor T_2 ist in Sättigung $\Rightarrow U_{CE,sat} = 0,2V$

$$I_2 = \frac{U_{R4}}{R_4} = \frac{\phi_{E3,4} - (U_{B2} + U_{CE,sat})}{R_4}$$
$$= \frac{-0,6V - (-5V + 0,2V)}{4,2k\Omega}$$
$$= \frac{4,2V}{4,2k\Omega} = \underline{\underline{1mA}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{I_3 = 0}}$$
$$\underline{\underline{I_4 = 1mA}}$$

Aufgabe 2: (17 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung mit den idealen Transistoren T_1 und T_2 aus Abbildung 2.1. Für die Transistoren gelte: $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$ und $U_A \rightarrow \infty$. Weiterhin gelte für alle Kondensatoren: $C \rightarrow \infty$. Die Betriebsspannung U_B beträgt 10 V .

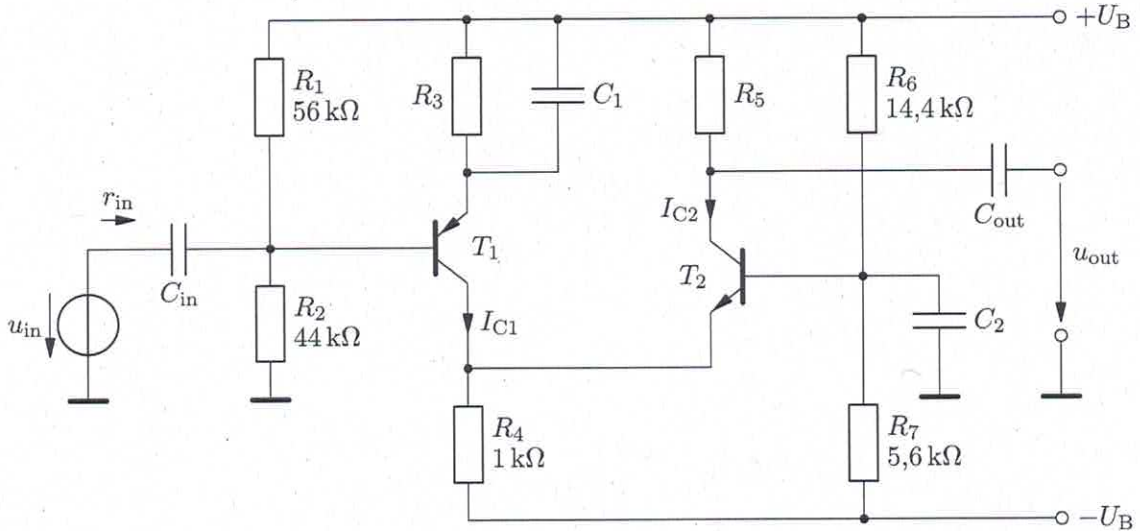


Abbildung 2.1

Nehmen Sie zunächst für die Transistoren $B = \beta \rightarrow \infty$ an.

- 2 a) In welchen Schaltungsarten sind die Transistoren T_1 und T_2 verschaltet?
- 2 b) Bestimmen Sie R_3 so, dass sich im Arbeitspunkt ein Strom $I_{C1} = 1\text{ mA}$ einstellt.
- 1 c) Bestimmen Sie das Potential an der Basis von T_2 .
- 2 d) Bestimmen Sie die Spannung über dem Widerstand R_4 .
- 1 e) Bestimmen Sie den Strom durch den Widerstand R_4 .
- 1 f) Bestimmen Sie den Strom I_{C2} .
- 4 g) Berechnen Sie den Widerstand R_5 für eine Verstärkung $|v| = \left| \frac{u_{out}}{u_{in}} \right| = 100$.

Nun gelte für die Transistoren $B = \beta = 100$.

- 2 h) Geben Sie den Eingangswiderstand r_{in} in allgemeiner Form und als numerische Abschätzung an.
- 2 i) Die Signalquelle besitzt nun einen Innenwiderstand, der zufälligerweise dem Eingangswiderstandswert der Schaltung in h) entspricht. Bestimmen Sie die Gesamtverstärkung $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$, die sich nun ergibt.

Aufgabe 2:

a) T_1 : Emitterschaltung T_2 : Basisschaltung

$$b) R_3 = \frac{U_B - (U_{R_2} + U_{BE1})}{I_{C1}} = \frac{10V - (4,4V + 0,6V)}{1mA} = \underline{\underline{5k\Omega}}$$

$$c) \phi_{B2} = -U_B + U_{R_4} = -10V + 5,6V = \underline{\underline{-4,4V}}$$

$$d) U_{R_4} = (\phi_{B2} - U_{BE2}) - (-U_B) \\ = (-4,4V - 0,6V) - (-10V) \\ = \underline{\underline{5V}}$$

$$e) I_{R_4} = \frac{U_{R_4}}{R_4} = \frac{5V}{1k\Omega} = \underline{\underline{5mA}}$$

$$f) I_{C2} = I_{R_4} - I_{C1} = 5mA - 1mA = \underline{\underline{4mA}}$$

$$g) v = - \frac{g_{m1}}{g_{m2}} \cdot g_{m2} \cdot R_5 = -g_{m1} \cdot R_5$$

$$|-g_{m1} \cdot R_5| = 100$$

$$R_5 = \frac{100}{g_{m1}} = 100 \cdot \frac{25mV}{1mA} = \underline{\underline{2,5k\Omega}}$$

$$h) r_{in} = R_1 // R_2 // r_{BE1} \\ = 56k\Omega // 44k\Omega // 2,5k\Omega \\ \approx 2,5k\Omega$$

$$r_{BE1} = \frac{\beta}{g_{m1}} = 100 \cdot \frac{25mV}{1mA} = 2,5k\Omega$$

$$i) v = \frac{1}{2} \cdot (-100) = -50$$

Aufgabe 3: (14 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1 mit den Transistoren T_1 bis T_4 . Die Transistoren seien vom gleichen Typ mit folgenden Eigenschaften: $B = \beta \rightarrow \infty$, $U_A \rightarrow \infty$, $U_T = 25 \text{ mV}$ und $I_{S,1} = I_{S,2} = I_{S,3} = I_{S,4} = I_S$.

Hinweis: $\ln(a \cdot b) = \ln(a) + \ln(b)$, $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$

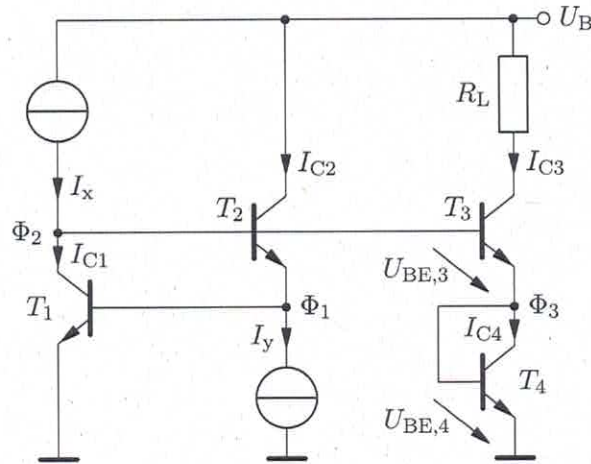


Abbildung 3.1

Geben Sie alle Ergebnisse (sofern nicht anders angegeben) als Funktion von I_x , I_y , I_S und U_T an und verwenden Sie die vereinfachte Shockley-Gleichung.

- 1 a) Bestimmen Sie den Strom I_{C1} .
- 2 b) Bestimmen Sie das Potential Φ_1 .
- 1 c) Bestimmen Sie den Strom I_{C2} .
- 2 d) Bestimmen Sie das Potential Φ_2 .
- 1 e) Geben Sie das Verhältnis I_{C3}/I_{C4} an.
- 1 f) Geben Sie das Verhältnis $U_{BE,3}/U_{BE,4}$ an.
- 2 g) Bestimmen Sie das Potential Φ_3 als Funktion von Φ_2 .
- 1 h) Bestimmen Sie die Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,4}$ des Transistors T_4 .
- 2 i) Bestimmen Sie den Strom I_{C4} .
- 1 j) Bestimmen Sie den Strom I_{C3} .

Aufgabe 3:

$$a) I_{C1} = I_x \quad ; \quad I_x = I_s \cdot e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}}$$

$$b) \phi_1 = U_{BE1} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_x}{I_s}\right)$$

$$c) I_{C2} = I_y \quad ; \quad I_y = I_s \cdot e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}}$$

$$d) \phi_2 = U_{BE1} + U_{BE2} \\ = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_x}{I_s}\right) + U_T \cdot \ln\left(\frac{I_y}{I_s}\right) = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_x \cdot I_y}{I_s^2}\right)$$

$$e) \frac{I_{C3}}{I_{C4}} = 1$$

$$f) \frac{U_{BE3}}{U_{BE4}} = 1$$

$$g) \phi_3 = \frac{1}{2} \phi_2$$

$$h) U_{BE4} = \frac{1}{2} \cdot U_T \cdot \ln\left(\frac{I_x \cdot I_y}{I_s^2}\right) = U_T \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{I_x \cdot I_y}}{I_s}\right)$$

$$i) I_{C4} = \sqrt{I_x \cdot I_y}$$

$$j) I_{C3} = I_{C4} = \sqrt{I_x \cdot I_y}$$

Aufgabe 4: (13 Punkte)

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

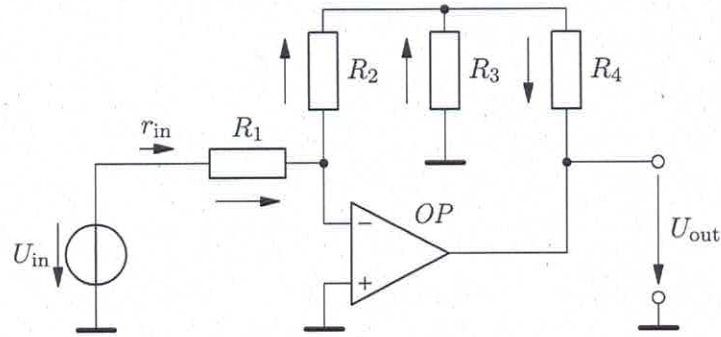


Abbildung 4.1

Beachten Sie beim Lösen der Aufgaben die in Abbildung 4.1 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 4:

1 a) $I_{A1} = f(U_{in}) = \frac{U_{in}}{R_1}$

2 b) $I_{A2} = I_{A1} = \frac{U_{in}}{R_1}$ $U_{R2} = I_{A2} \cdot R_2 = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1}$

2 c) $U_{R3} = U_{R2} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1}$ $I_{A3} = \frac{U_{R3}}{R_3} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_3}$

2 d) $I_{A4} = I_{A1} + I_{A3} = \frac{U_{in}}{R_1} + \frac{U_{in}}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_3}$
 $= \frac{U_{in}}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$

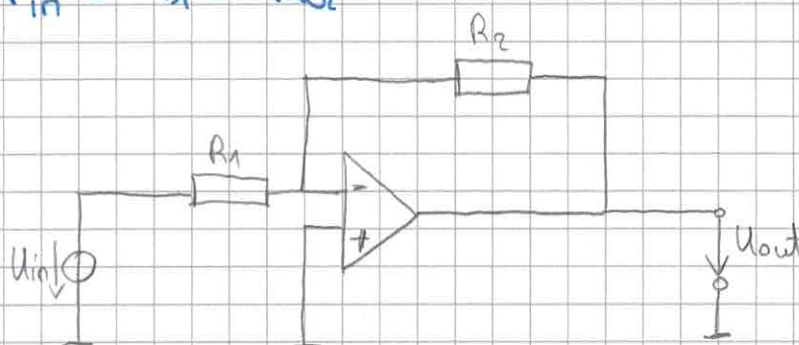
$$U_{R4} = I_{A4} \cdot R_4 = U_{in} \cdot \frac{R_4}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

2 e) $U_{out} = -U_{R2} - U_{R4} = -U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1} - U_{in} \cdot \frac{R_4}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$
 $= -U_{in} \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)\right)$

1 f) $v = \frac{U_{out}}{U_{in}} = -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)\right)$
 $= -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2^2}{R_1^2}\right)$ mit $R_1 = R_3; R_2 = R_4$
 $= -100 - 100 - 10.000$
 $= -10.200$

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

2 h)



$$-\frac{R_2}{R_1} = -10.200$$

$$R_2 = 10.200 \cdot R_1$$

$$\Rightarrow R_2 = 10,2 \text{ M}\Omega \quad R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 5: (17 Punkte)

Um die Oberflächenspannung eines Werkstücks zu messen, kommt im Folgenden eine Brückenschaltung mit Dehnungsmessstreifen zum Einsatz. Die Brückenschaltung wird durch vier Widerstände mit den Werten $R - \Delta R$ und $R + \Delta R$ dargestellt.

Für die Auswertung sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit den idealen Operationsverstärkern gegeben. Es gelte: $U_V = 10\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$ und $R_3 = R_4 = 10\text{ k}\Omega$. *Hinweis: Aufgabe d) und e) sind unabhängig von a) - c) lösbar.*

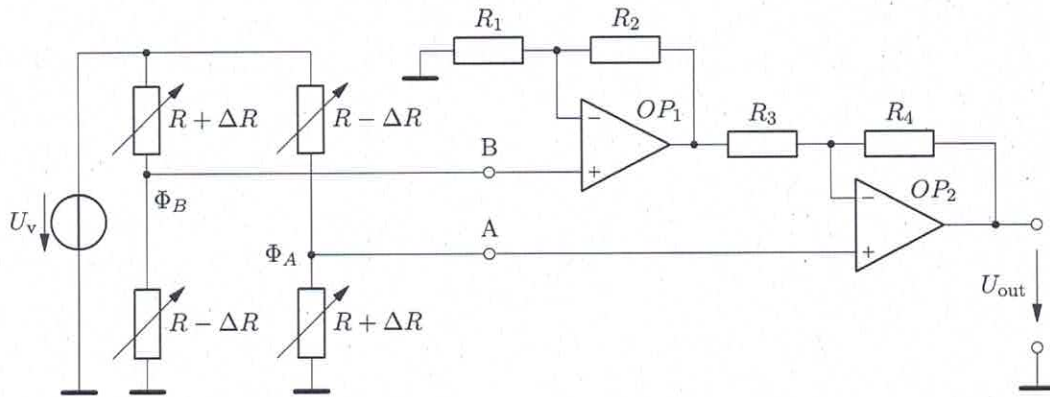


Abbildung 5.1

Die Brückenschaltung wird durch zwei geeignete Ersatzspannungsquellen, die an den Klemmen A und B angeschlossen sind, ersetzt:

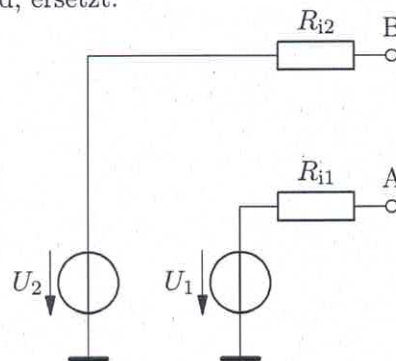


Abbildung 5.2

- 2 a) Bestimmen Sie die Spannungen U_1 und U_2 der Ersatzspannungsquellen (siehe Abbildung 5.2).
- 2 b) Bestimmen Sie R_{i1} und R_{i2} der Ersatzspannungsquellen.
Hinweis: Nutzen Sie die Vereinfachung $(\Delta R)^2 \approx 0$.
- 2 c) Bestimmen Sie die Potentiale Φ_A und Φ_B .
Hinweis: Berücksichtigen Sie Ihnen bekannte Eigenschaften des idealen Operationsverstärkers.
- 1 d) Welches Verfahren kann bei der Bestimmung von $U_{\text{out}} = f(\Phi_A, \Phi_B)$ hilfreich sein?
- 10 e) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{\text{out}} = f(\Phi_A, \Phi_B)$ mit Hilfe des Verfahrens nach Antwort d).

Aufgabe 5:

$$\begin{aligned} \text{a) } U_1 &= U_v \cdot \left(\frac{R + \Delta R}{R + \Delta R + R - \Delta R} \right) & U_2 &= U_v \cdot \left(\frac{R - \Delta R}{R - \Delta R + R + \Delta R} \right) \\ &= U_v \cdot \frac{R + \Delta R}{2R} & &= U_v \cdot \left(\frac{R - \Delta R}{2R} \right) \\ &= U_v \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta R}{2R} \right) & &= U_v \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta R}{2R} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } R_{i1} = R_{i2} &= \frac{(R + \Delta R)(R - \Delta R)}{R + \Delta R + R - \Delta R} = \frac{R^2 - (\Delta R)^2}{2R} \\ &= \frac{R^2}{2R} = \frac{1}{2} R, \text{ mit } (\Delta R)^2 \rightarrow 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \phi_A = U_1 &= U_v \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta R}{2R} \right), \text{ da unbelasteter Spannungsteiler} \\ \phi_B = U_2 &= U_v \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta R}{2R} \right) \end{aligned}$$

d) Das Superpositionsverfahren kann hilfreich sein.

$$\begin{aligned} \text{e) 1. Fall: } \phi_A &= 0 \\ U_{\text{out}1} &= -\phi_B \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R_4}{R_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2. Fall: } \phi_B &= 0 \\ U_{\text{out}2} &= \phi_A \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\text{outges}} &= U_{\text{out}1} + U_{\text{out}2} \\ &= -\phi_B \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R_4}{R_3} + \phi_A \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \\ &= -2\phi_B + 2\phi_A \\ &= 2(\phi_A - \phi_B) \end{aligned}$$

Aufgabe 6: (18 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 6.1 mit einem idealen Operationsverstärker, der mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 10\text{ V}$ versorgt wird. Weiterhin gelte: $U_{in} = 2\text{ V}$.

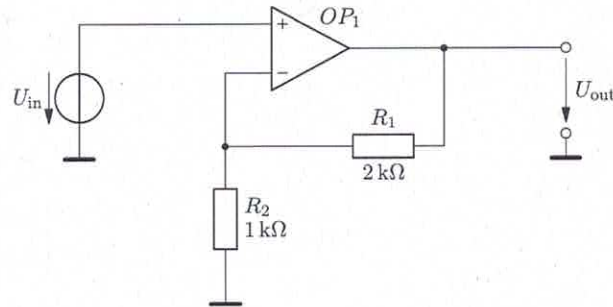


Abbildung 6.1

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

1 b) Um welche Operationsverstärkerschaltung handelt es sich?

Nun sei U_{in} eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 100 Hz und einer Amplitude von 2 V. *Hinweis: In den Diagrammen wurde als Orientierung ein Sinussignal vorgezeichnet.*

3 c) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung $U_{out} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 6.3. Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.

Die Schaltung wird durch eine Diode erweitert (siehe Abbildung 6.2). Die Diode sei, bis auf eine Flussspannung von $U_F = 0,7\text{ V}$, ebenfalls ideal. U_{in} ist weiterhin eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 100 Hz. *Hinweis: Überlegen Sie für die folgenden Aufgaben, wann der Operationsverstärker gegengekoppelt ist.*

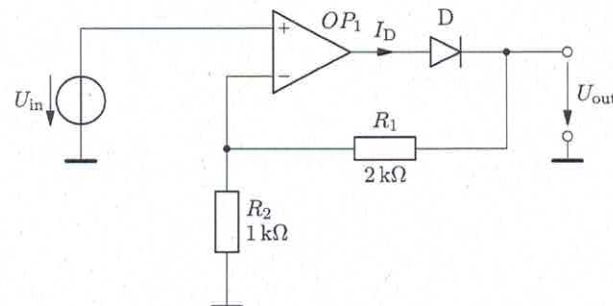


Abbildung 6.2

4 d) Zeichnen Sie nun erneut den Verlauf der Spannung $U_{out} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 6.4.

4 e) Zeichnen Sie die Spannung am Ausgang des Operationsverstärkers $U_{OP} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 6.5.

4 f) Aufgrund der besseren Lesbarkeit der Beschriftung hat ein Mitarbeiter die Flussrichtung der Diode missachtet und diese falsch herum eingelötet. Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung $U_{out} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 6.6.

Aufgabe 6:

$$a) U_{out} = U_{in} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 2V \cdot \left(1 + \frac{2k\Omega}{1k\Omega}\right) = \underline{\underline{6V}}$$
$$v = 1 + \frac{R_1}{R_2} = \underline{\underline{3}}$$

b) Es handelt sich um einen nicht-invertierenden Verstärker.

c) Siehe Diagramm 6.3

d) Siehe Diagramm 6.4

e) Siehe Diagramm 6.5

f) Siehe Diagramm 6.6

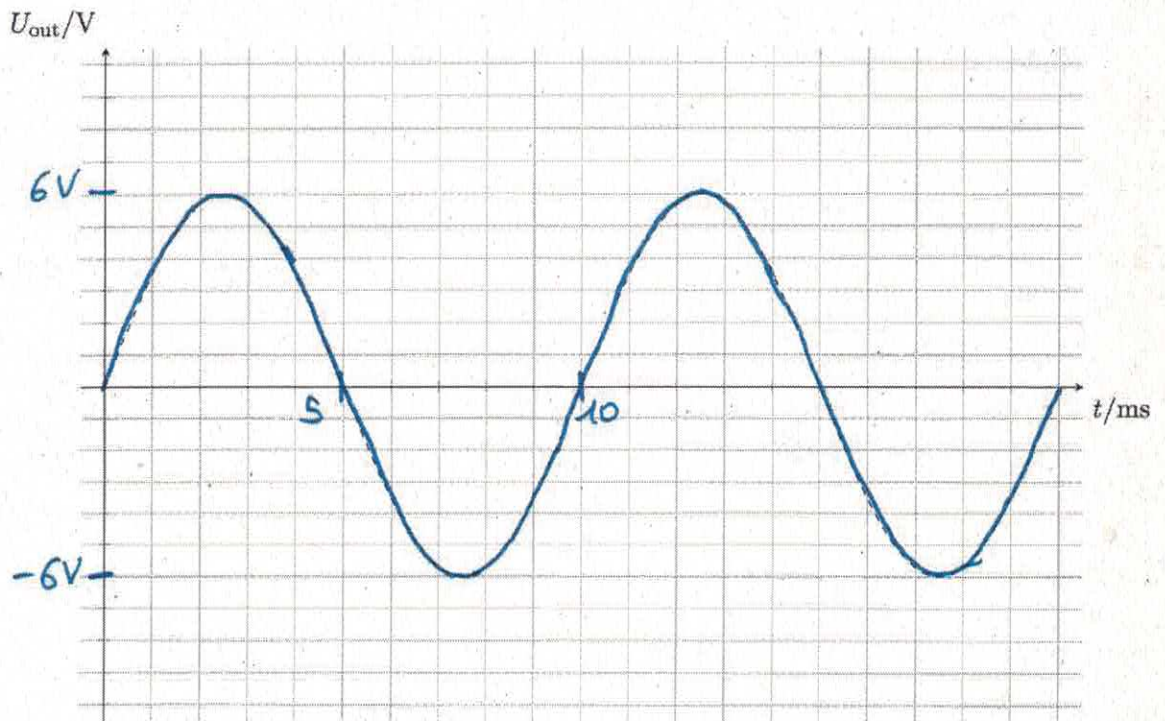


Abbildung 6.3: Diagramm für c)

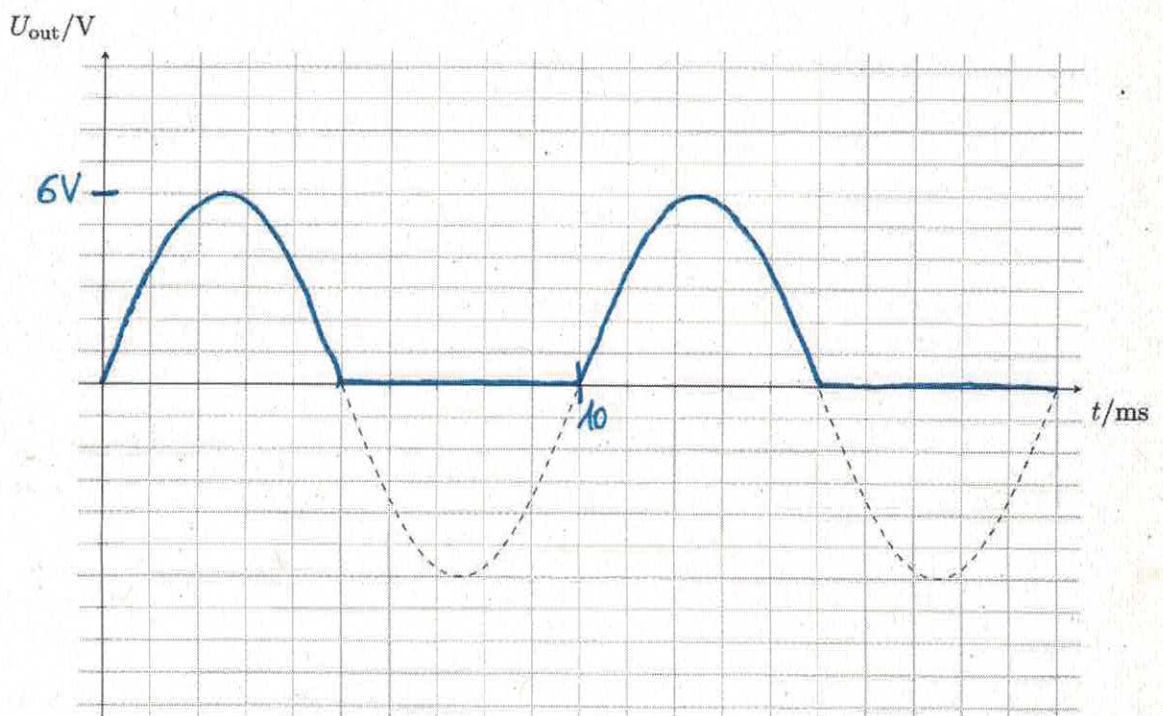


Abbildung 6.4: Diagramm für d)

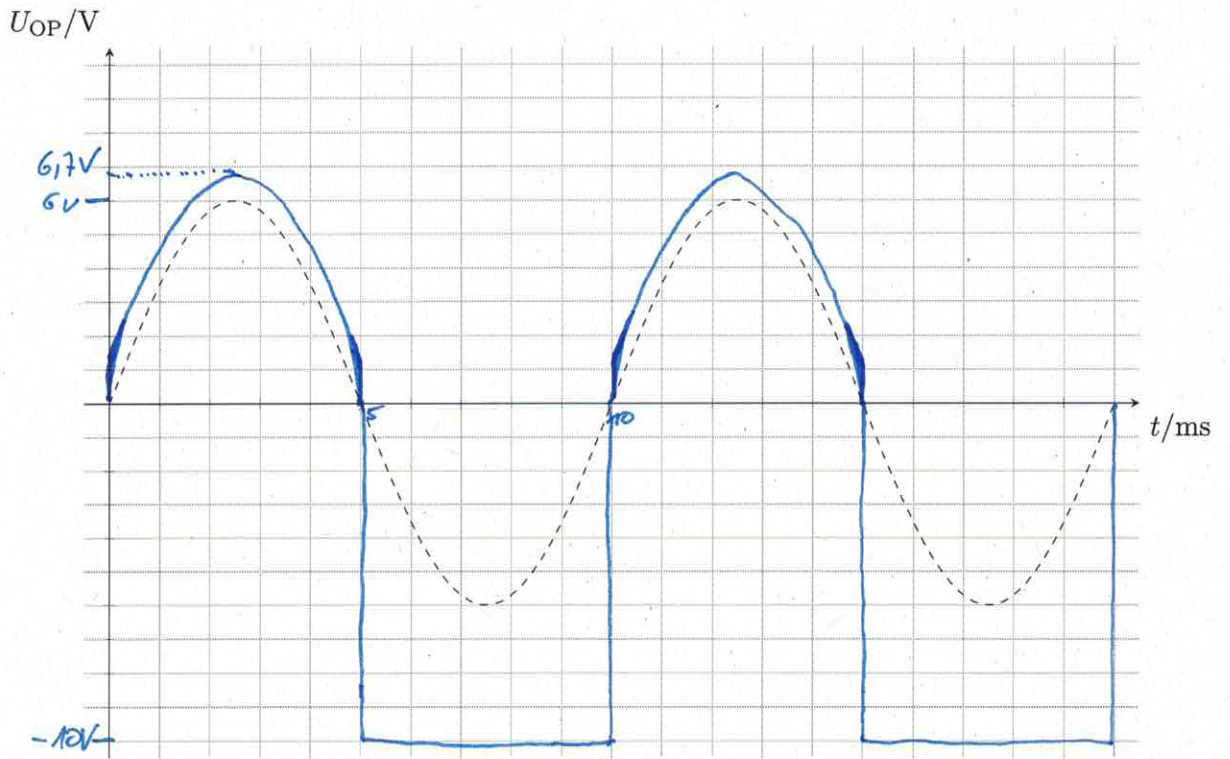


Abbildung 6.5: Diagramm für e)

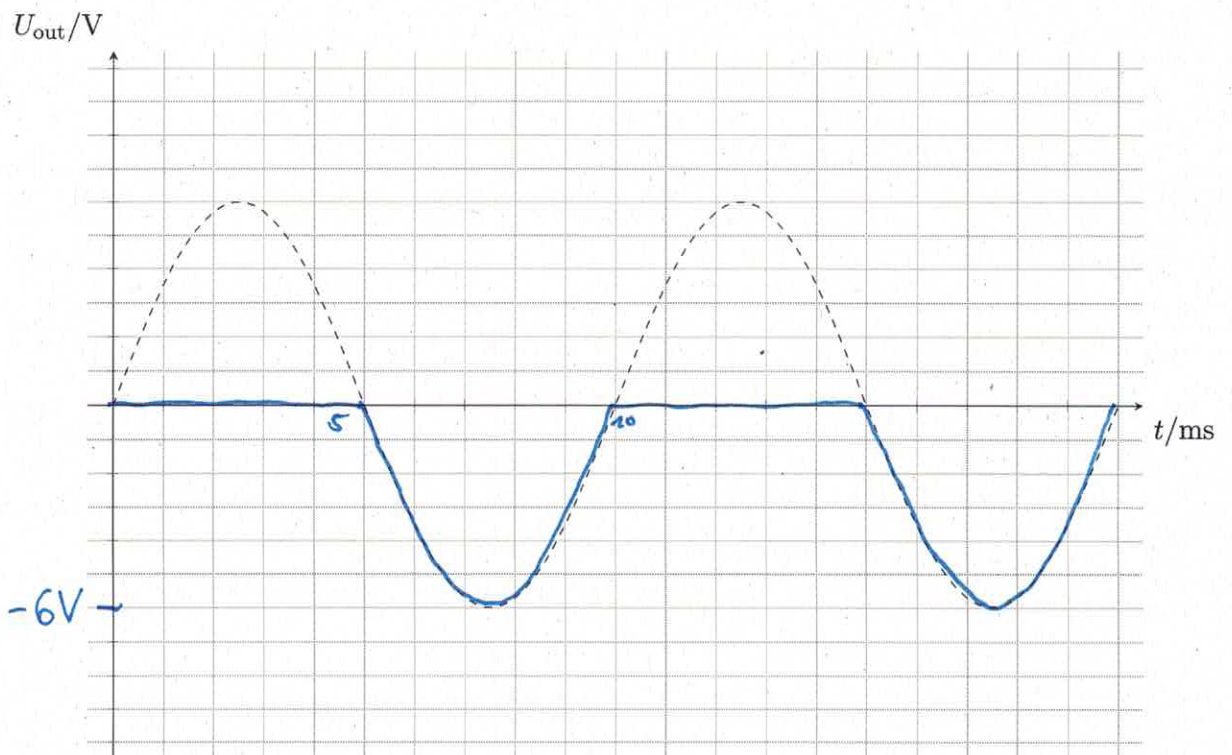


Abbildung 6.6: Diagramm für f)

Aufgabe 7: (19 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 7.1 mit einem idealen Operationsverstärker.

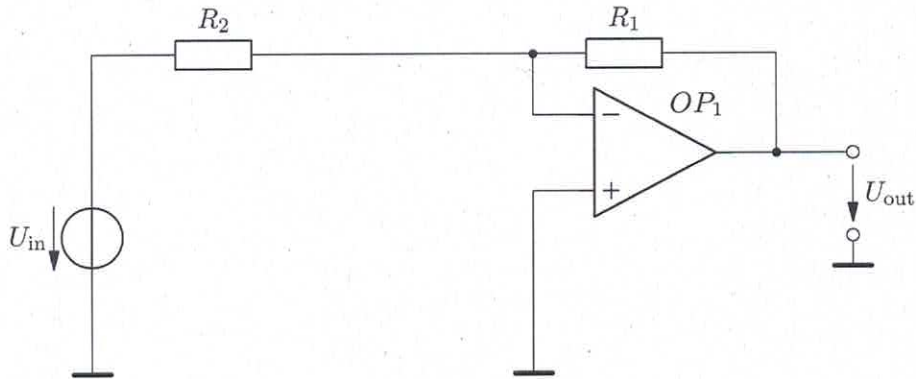


Abbildung 7.1

- 1 a) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(U_{in}, R_1, R_2)$ in allgemeiner Form.
- 1 b) Um welche Operationsverstärkerschaltung handelt es sich ?

Im Folgenden wird der Operationsverstärker OP_1 durch die nicht-ideale Eigenschaft der Biasströme erweitert. Diese sind, wie in Abbildung 7.2 zu sehen, als Stromquellen I_{B1} und I_{B2} an den beiden Eingängen modelliert. Es gelte: $I_{B1} = I_{B2} = I_B$.

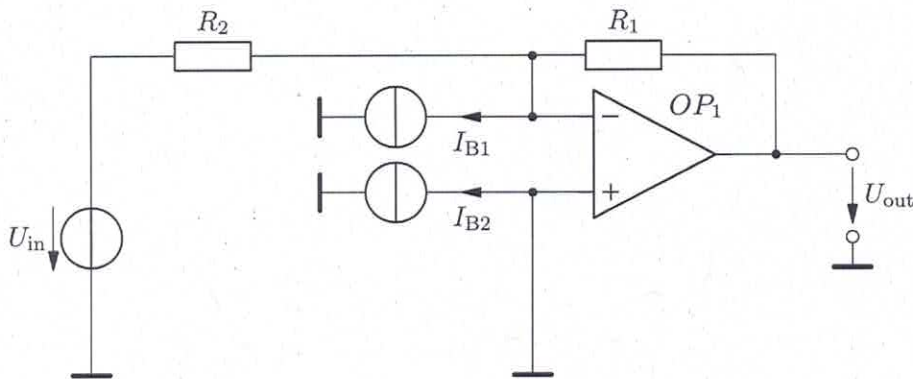


Abbildung 7.2

- 2 c) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_1, R_2, I_{B2})$ für $I_{B1} = 0, U_{in} = 0$.
- 3 d) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_1, R_2, I_{B1})$ für $I_{B2} = 0, U_{in} = 0$.
- 1 e) Bestimmen Sie $U_{out} = f(R_1, R_2, R_v, I_B, U_{in})$ in allgemeiner Form.
Hinweis: $I_{B1} = I_{B2} = I_B$

Um den Fehler der Bias-Ströme zu kompensieren, wird nun der Vorwiderstand R_v in die Schaltung eingebaut, siehe Abbildung 7.3.

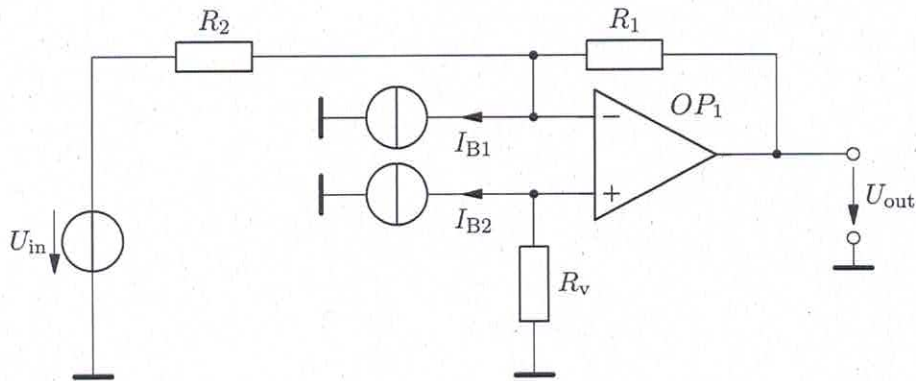


Abbildung 7.3

- 2 f) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{\text{out}} = f(R_1, R_2, R_v, I_{B1})$ für $I_{B2} = 0, U_{\text{in}} = 0$.
- 4 g) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{\text{out}} = f(R_1, R_2, R_v, I_{B2})$ für $I_{B1} = 0, U_{\text{in}} = 0$.
- 2 h) Bestimmen Sie $U_{\text{out}} = f(R_1, R_2, R_v, I_B, U_{\text{in}})$ in allgemeiner Form.
Hinweis: $I_{B1} = I_{B2} = I_B$
- 3 i) Bestimmen Sie R_v so, dass sich für einen beliebigen Strom I_B eine Ausgangsspannung von $U_{\text{out}} = 0$ ergibt. Für die Eingangsspannung gilt: $U_{\text{in}} = 0$.

Aufgabe 7:

a) $U_{out} = -U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2}$

b) Invertierender Verstärker

c) $U_{out} = 0$

d) $U_{out} = I_B \cdot R_1$

e) $U_{out} = -U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2}$ für $I_{B1} = 0$ und $I_{B2} = 0$

$$\begin{aligned} U_{outges} &= U_{outc)} + U_{outd)} + U_{oute)} \\ &= 0 + I_B \cdot R_1 + (-U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2}) \\ &= I_B \cdot R_1 - U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2} \end{aligned}$$

f) $U_{out} = I_B \cdot R_1$

g) $U_{out} = -R_v \cdot I_B \cdot (1 + \frac{R_1}{R_2})$

h) $U_{out} = -U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2}$ für $I_{B1} = 0$ und $I_{B2} = 0$

$$U_{outges} = -U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_2} + I_B \cdot R_1 - R_v \cdot I_B (1 + \frac{R_1}{R_2})$$

i) $U_{outges} = 0V$ für $U_{in} = 0V$

$$I_B \cdot R_1 - R_v \cdot I_B \cdot (1 + \frac{R_1}{R_2}) = 0 \quad | : I_B$$

$$R_1 - R_v (1 + \frac{R_1}{R_2}) = 0$$

$$R_1 = R_v (1 + \frac{R_1}{R_2})$$

$$R_v = \frac{R_1}{\frac{R_1 + R_2}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow R_v = R_1 \parallel R_2$$