

„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: _____

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 $U_{CE} = 0,2\text{ V}$.*

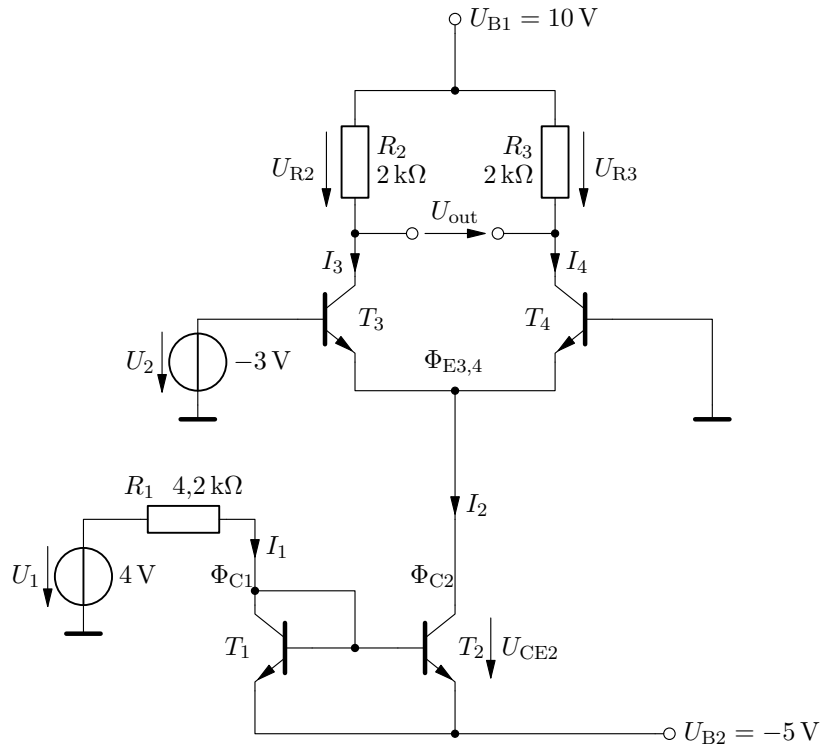


Abbildung 1.1: Differenzverstärker

- 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:

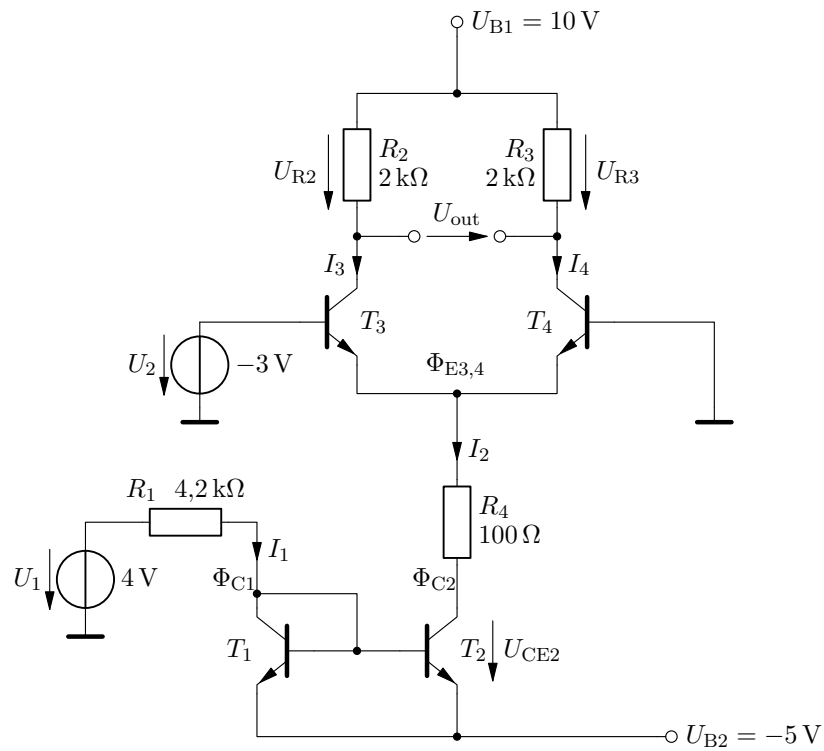


Abbildung 1.2

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

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

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 .

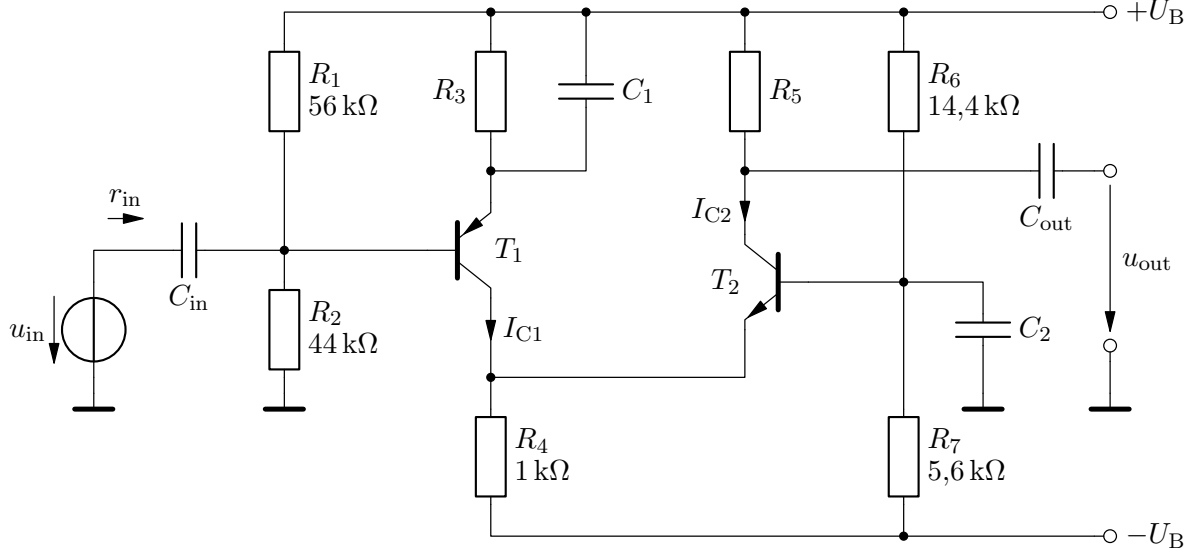


Abbildung 2.1

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 $|v| = \left| \frac{u_{\text{out}}}{u_{\text{in}}} \right| = 100$.

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 $v = \frac{u_{\text{out}}}{u_{\text{in}}}$, die sich nun ergibt.

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

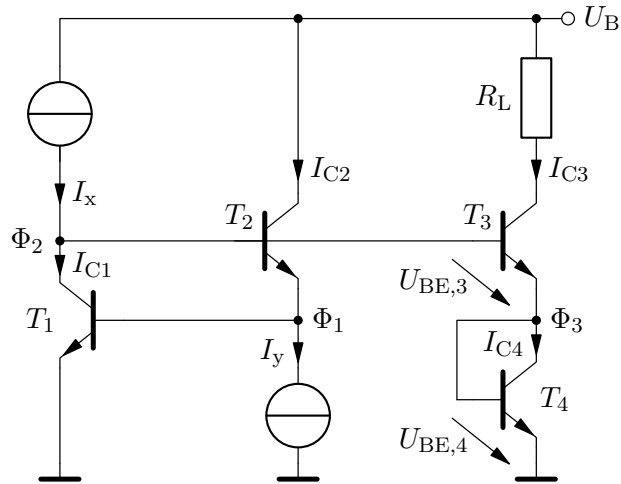


Abbildung 3.1

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 4: (13 Punkte)

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

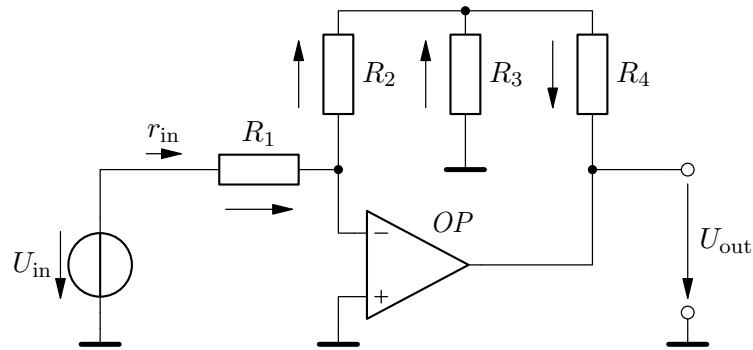


Abbildung 4.1

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 $v = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}}$ 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 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.*

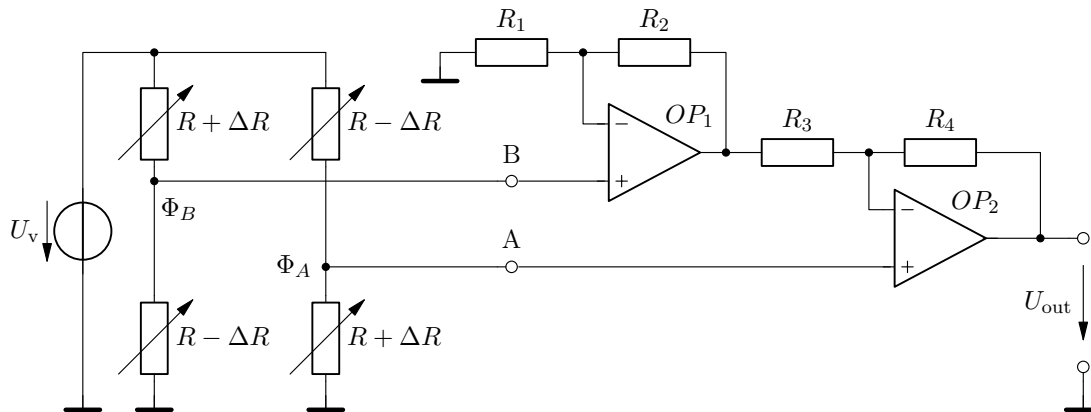


Abbildung 5.1

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

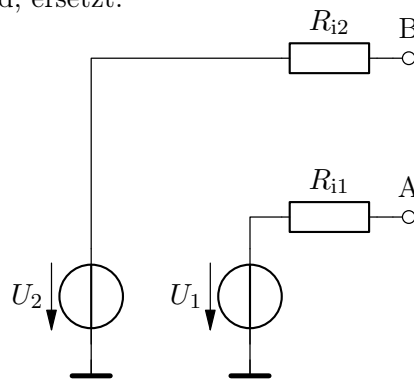


Abbildung 5.2

- 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 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: $U_{\text{in}} = 2\text{ V}$.

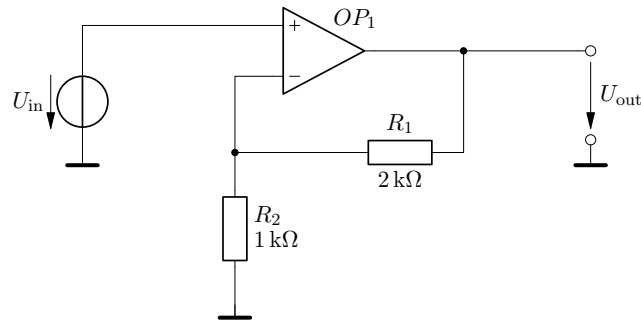


Abbildung 6.1

2 a) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_{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_{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 $U_{\text{out}} = f(t)$ 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.*

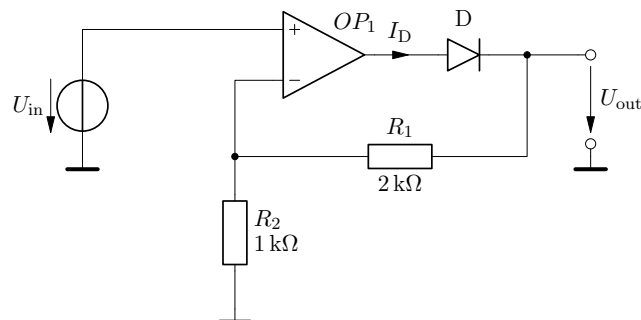


Abbildung 6.2

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

4 e) Zeichnen Sie die Spannung am Ausgang des Operationsverstärkers $U_{\text{OP}} = f(t)$ 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 $U_{\text{out}} = f(t)$ in das Diagramm aus Abbildung 6.6.

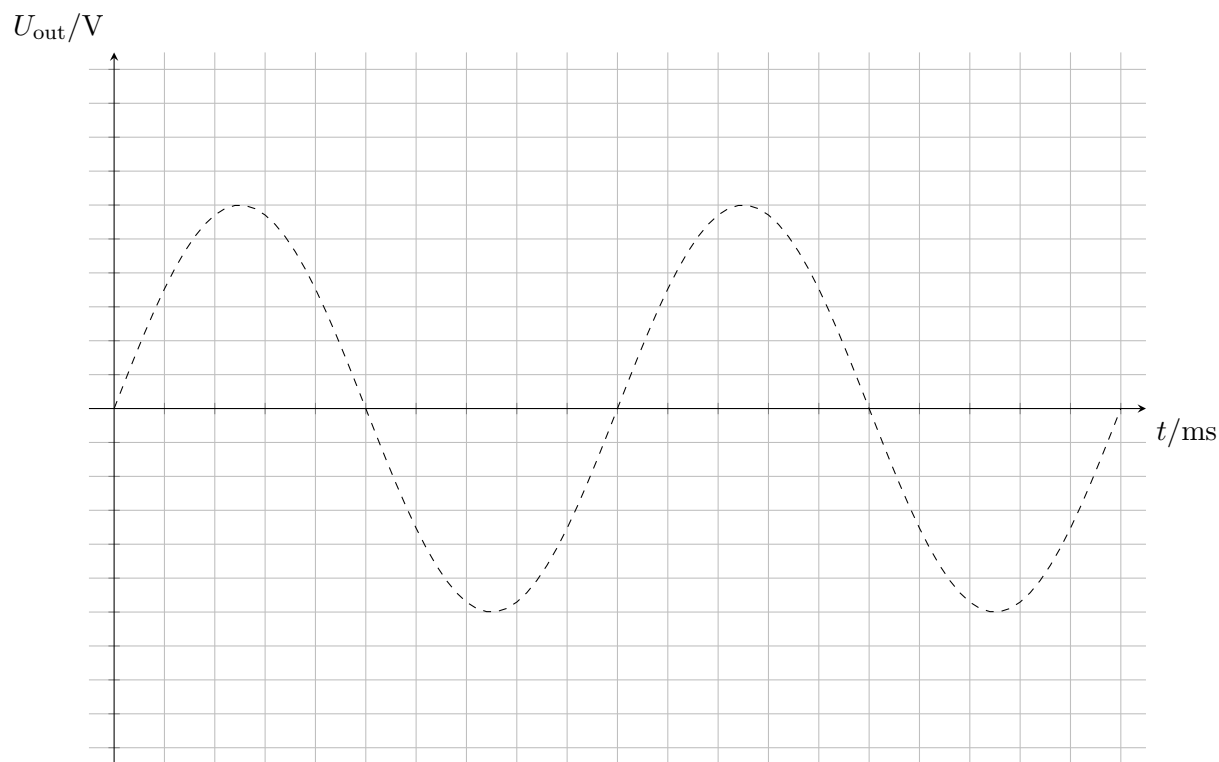


Abbildung 6.3: Diagramm für c)

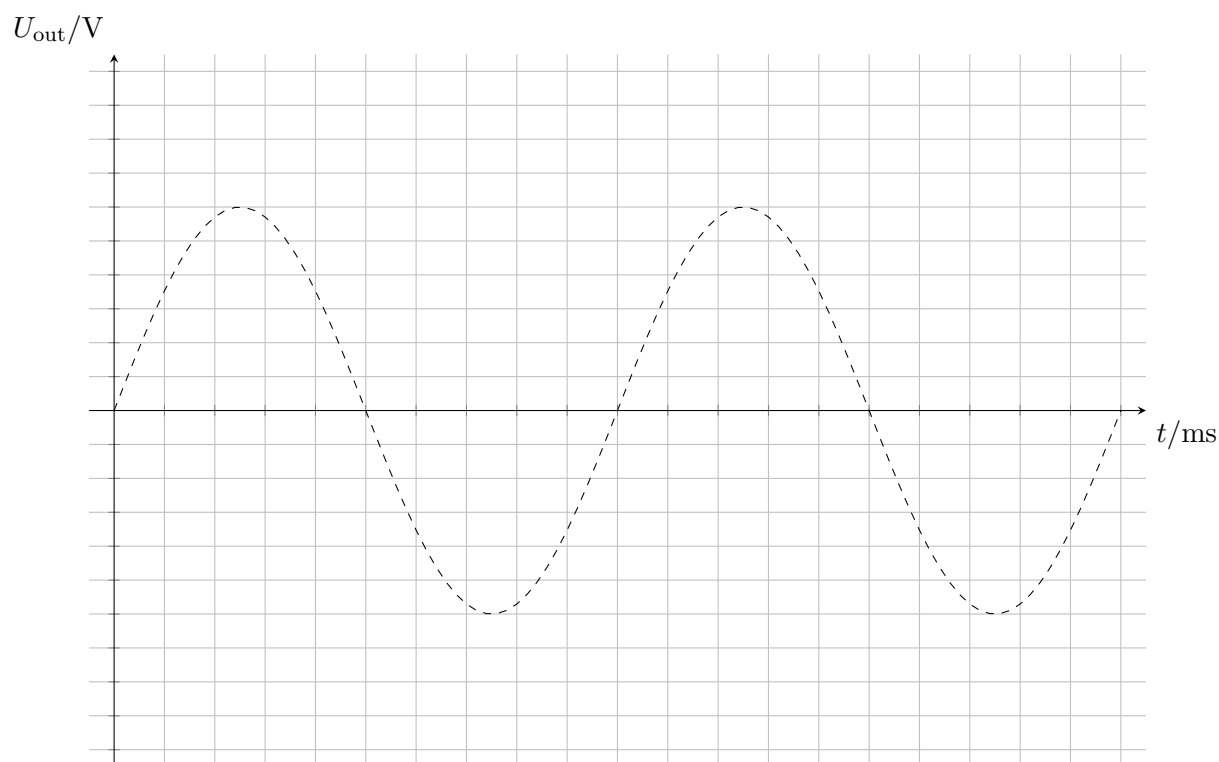


Abbildung 6.4: Diagramm für d)

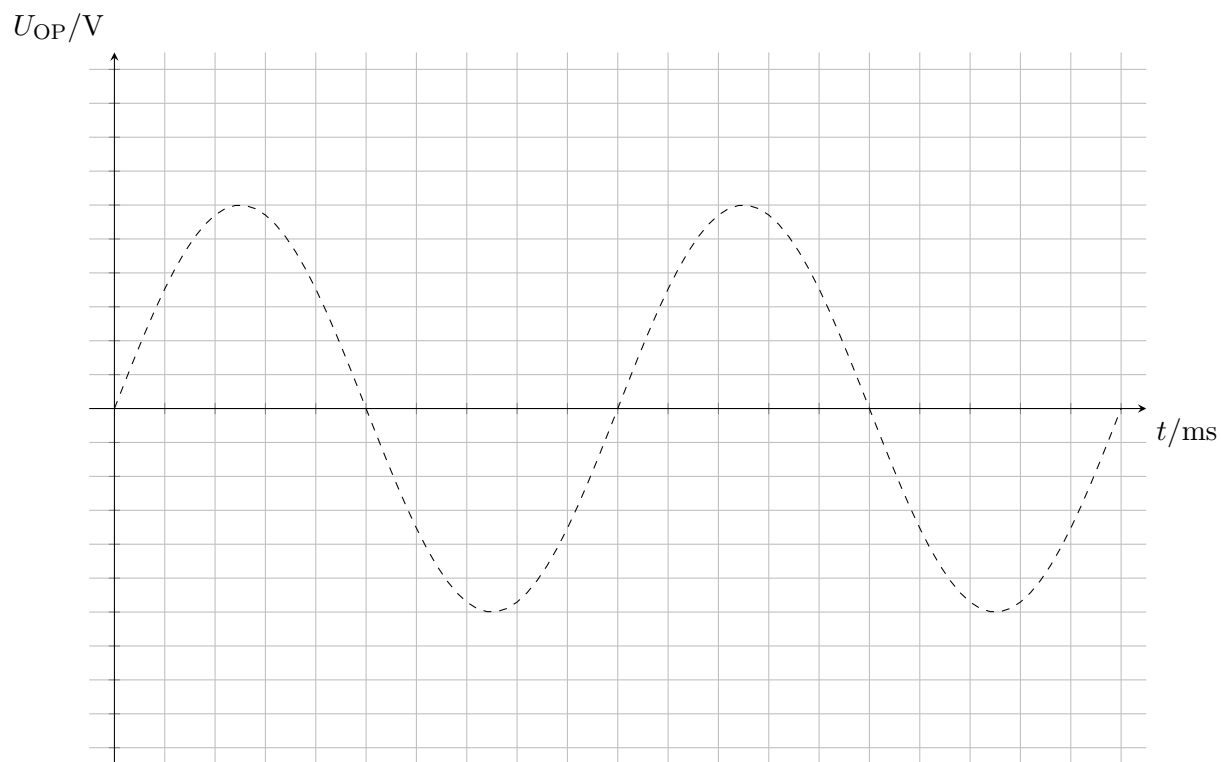


Abbildung 6.5: Diagramm für e)

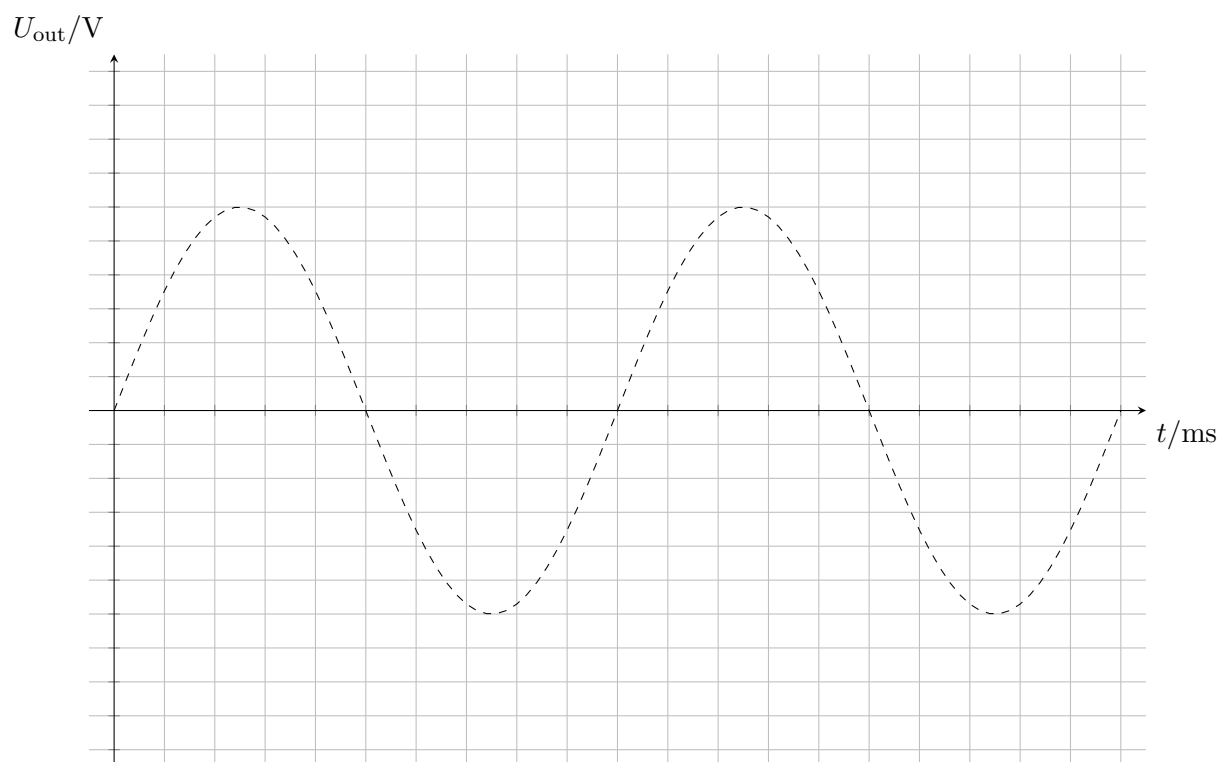


Abbildung 6.6: Diagramm für f)

Aufgabe 7: (19 Punkte)

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

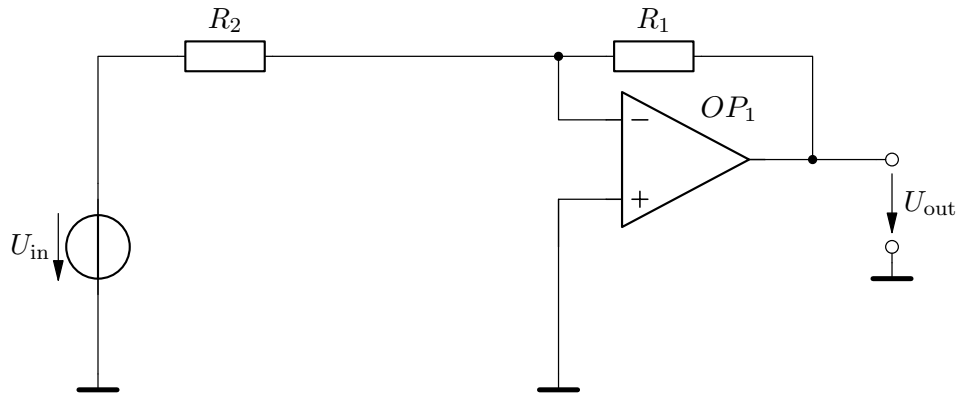


Abbildung 7.1

- 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 Bias-Ströme erweitert. Diese sind, wie in Abbildung 7.2 zu sehen, als Stromquellen I_{B1} und I_{B2} an den beiden Eingängen modelliert. Es gelte: $I_{B1} = I_{B2} = I_B$.

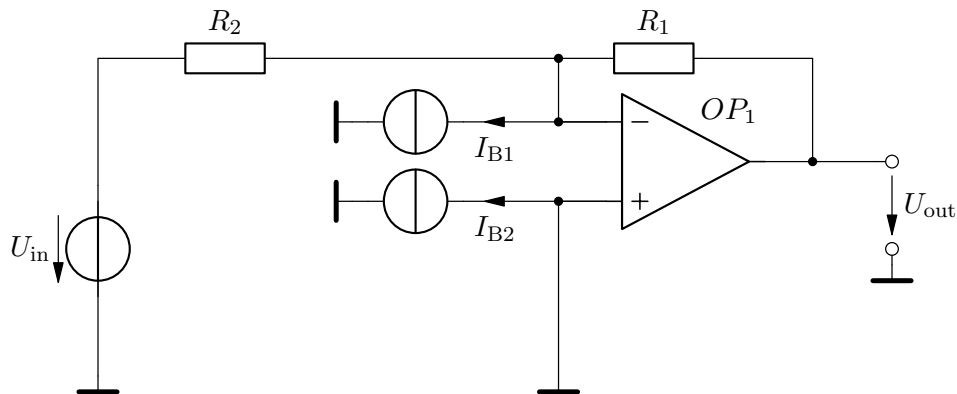


Abbildung 7.2

- 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.

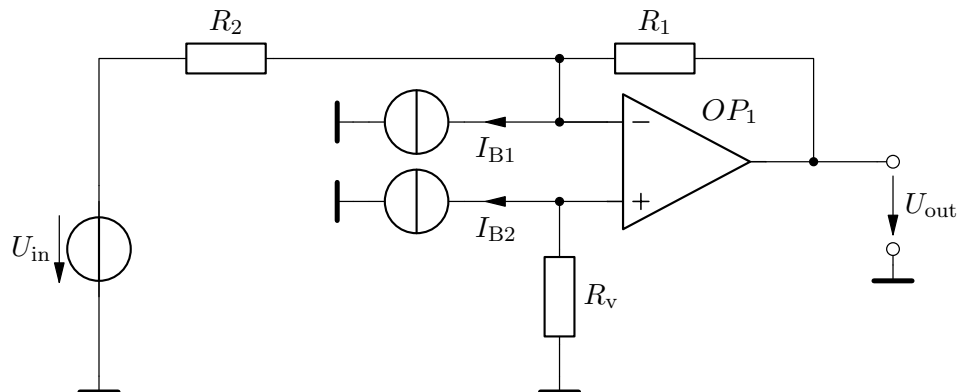


Abbildung 7.3

- 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: $U_{\text{in}} = 0$.