

„Mess- und Schaltungstechnik“

Beachten Sie folgende Hinweise:

- Füllen Sie als Erstes das Deckblatt aus.
- Prüfen Sie die Vollständigkeit der Klausur. (12 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 114 Punkte erreicht werden. Die Note 1,0 ist ab 95 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	
Summe	

Note	
------	--

Aufgabe 1: (14 Punkte)

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

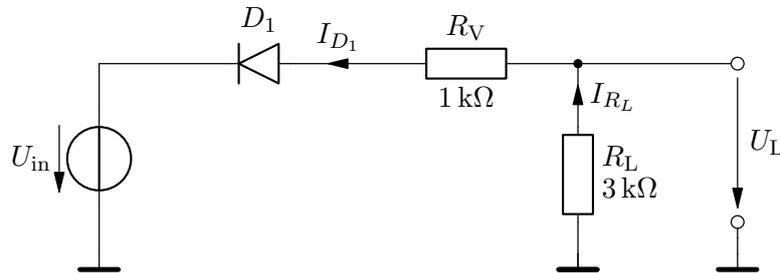


Abbildung 1.1

- 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 $U_Z = 6\text{ V}$.

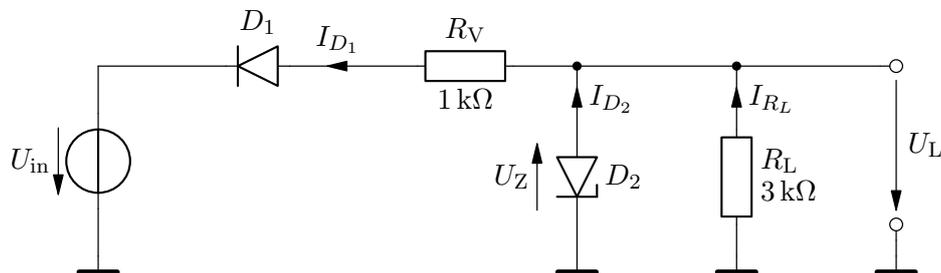


Abbildung 1.2

- 1 e) Bestimmen Sie den allgemeinen Zusammenhang zwischen I_{D1} , I_{D2} und I_{R_L} .
- 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.

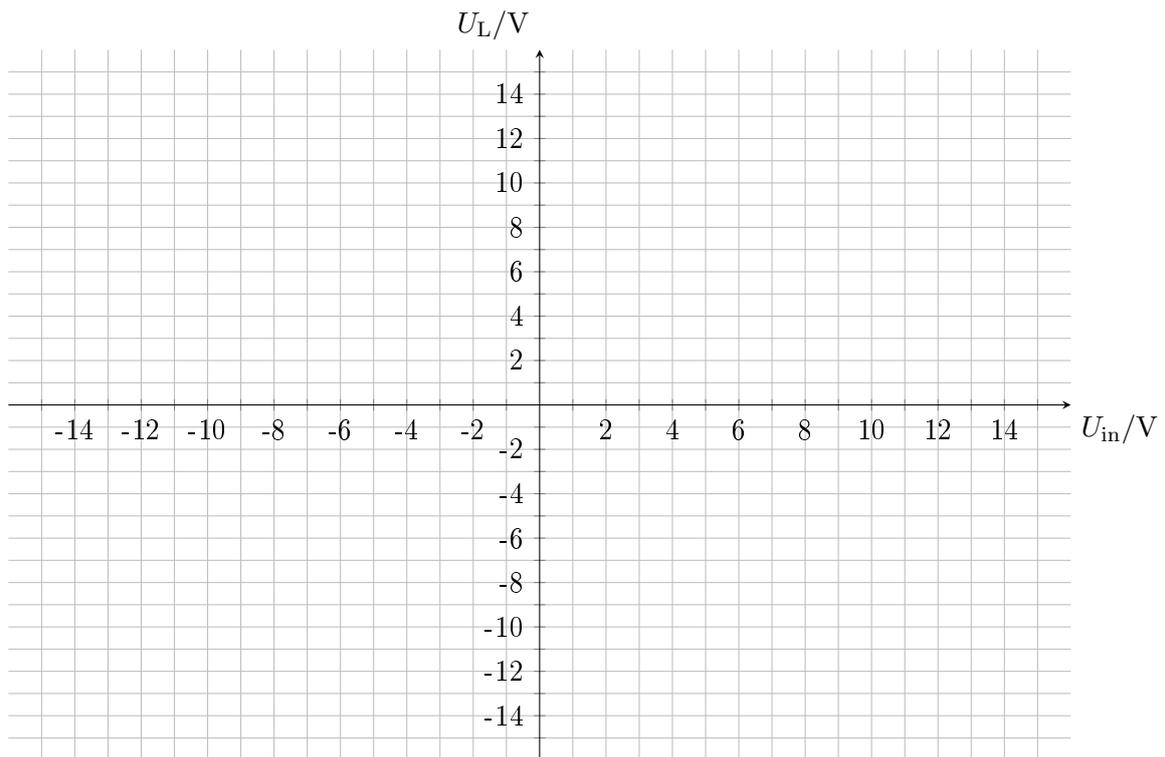


Abbildung 1.3: Diagramm für d) und h)

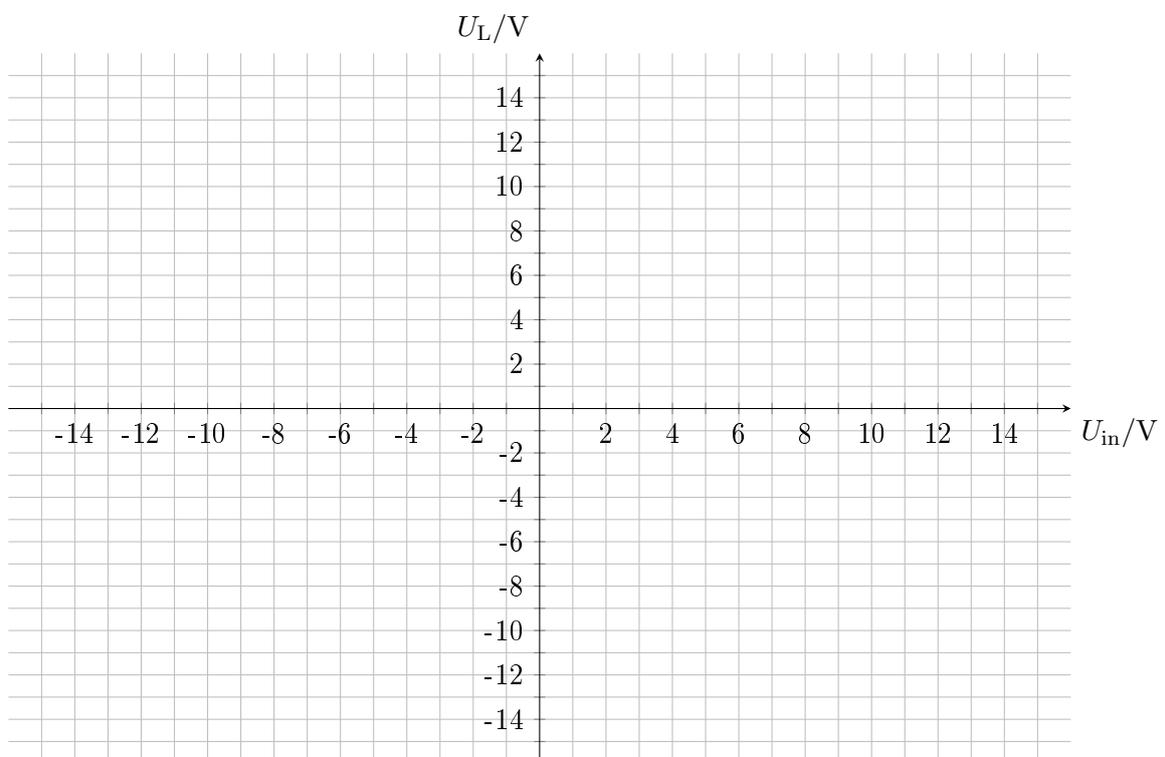


Abbildung 1.4: Diagramm für d) und h) (Reserve)

Aufgabe 2: (19 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 2.1. Für die Transistoren gelte $B = \beta \rightarrow \infty$ und $U_A \rightarrow \infty$, sowie $|U_{BE}| = 0,6 \text{ V}$ und $U_T = 25 \text{ mV}$. Die Versorgungsspannung U_B beträgt 5 V . Die Kondensatoren seien ideal, $C \rightarrow \infty$.

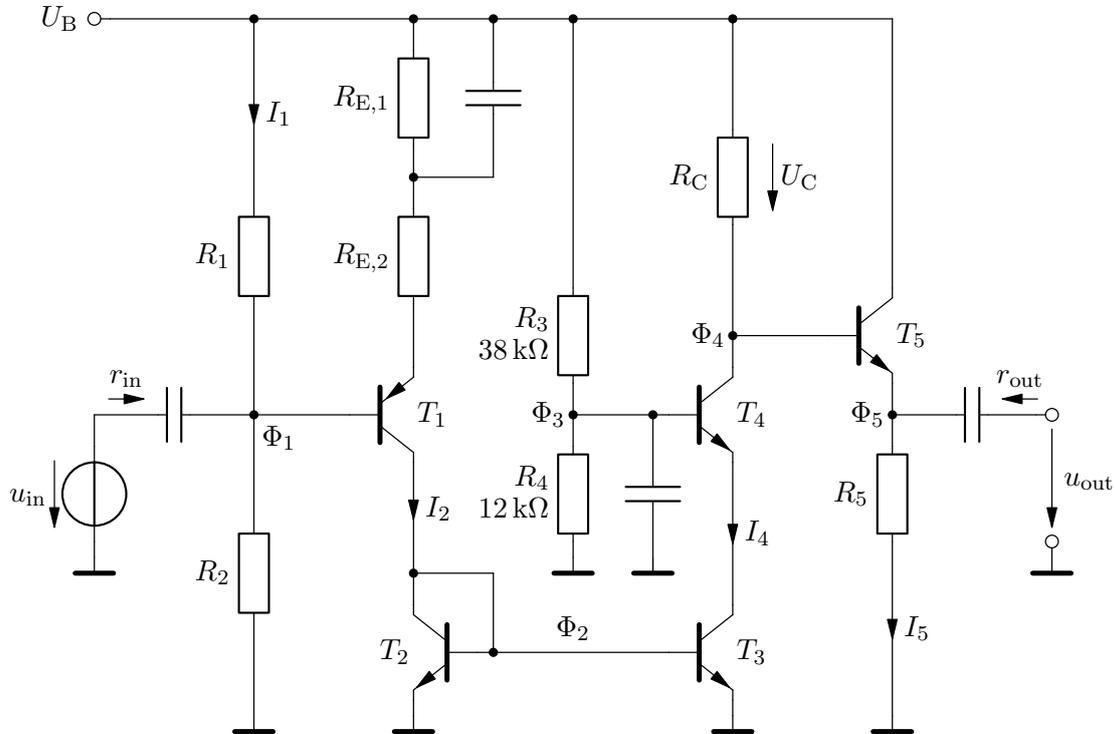


Abbildung 2.1

- 3 a) In welchen Grundschaltungen befinden sich jeweils die Transistoren T_1 , T_4 und T_5 ?
- 2 b) Dimensionieren Sie R_1 und R_2 für den Arbeitspunkt $\Phi_1 = 2 \text{ V}$ und $I_1 = 100 \mu\text{A}$.
- 1 c) Dimensionieren Sie $R_E = R_{E,1} + R_{E,2}$ für den Arbeitspunkt $I_2 = 1 \text{ mA}$.
- 2 d) Welche Schaltung bilden T_2 und T_3 ? Wie groß sind Φ_2 und I_4 ?
- 1 e) Bestimmen Sie das Potential Φ_3 .
- 2 f) Dimensionieren Sie R_C und R_5 für den Arbeitspunkt $\Phi_4 = 2,6 \text{ V}$ und $I_5 = 5 \text{ mA}$.
- 1 g) Geben Sie das Kleinsignal-Verhältnis i_2/u_{in} an. *Hinweis: Beachten Sie die veränderte Stromteilheit von Transistor T_1 .*
- 1 h) Geben Sie das Kleinsignal-Verhältnis i_4/i_2 an.
- 1 i) Geben Sie das Kleinsignal-Verhältnis u_c/i_4 an.
- 1 j) Geben Sie das Kleinsignal-Verhältnis u_{out}/u_c an.
- 2 k) Dimensionieren Sie $R_{E,1}$ und $R_{E,2}$ für eine Gesamtverstärkung $v = u_{out}/u_{in} = 10$.
- 2 l) Geben Sie den Ein- und Ausgangswiderstand der Schaltung an.

Aufgabe 3: (21 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1. Die Stromverstärkung B der Transistoren sei endlich. Zudem gelte $U_A \rightarrow \infty$, sowie $I_{in} \geq 0$.

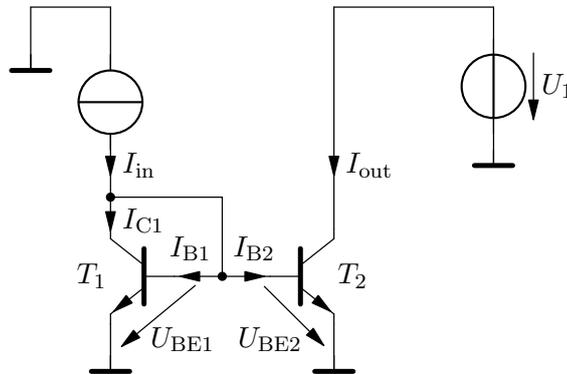


Abbildung 3.1: Transistorschaltung 1

- 2 a) Bestimmen Sie $I_{B2} = f(I_{out}, B)$ und $U_{BE1} = f(U_{BE2})$.
- 2 b) Bestimmen Sie $I_{B1} = f(I_{out}, B)$ und $I_{C1} = f(I_{out})$.
- 1 c) Bestimmen Sie $I_{out} = f(I_{in}, B)$. *Hinweis: Bestimmen Sie zunächst $I_{in} = f(I_{out}, B)$.*
- 1 d) Geben Sie an, um was für eine Schaltung es sich hier handelt.

Die Schaltung wird verändert und um einen Transistor T_3 erweitert. Die veränderte Schaltung ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

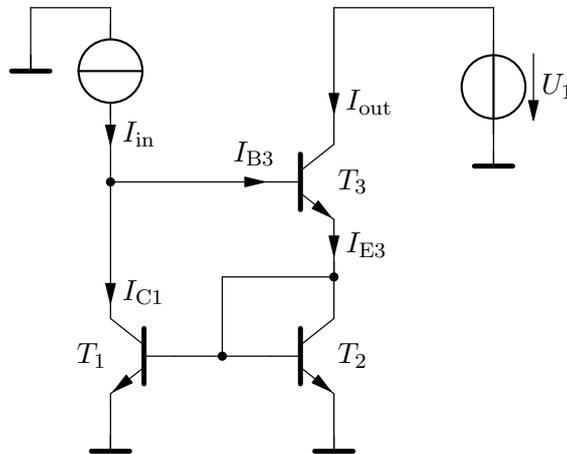


Abbildung 3.2: Transistorschaltung 2

- 1 e) Bestimmen Sie $I_{E3} = f(I_{out}, B)$.
- 1 f) Bestimmen Sie $I_{C1} = f(I_{out}, B)$. *Hinweis: Nutzen Sie Ihre Ergebnisse aus Teilaufgabe c)*
- 1 g) Bestimmen Sie $I_{B3} = f(I_{out}, B)$.
- 1 h) Bestimmen Sie $I_{out} = f(I_{in}, B)$. *Hinweis: Bestimmen Sie zunächst $I_{in} = f(I_{out}, B)$.*
- 1 i) Geben Sie an, um was für eine Schaltung es sich hier handelt.
- 1 j) Geben Sie das Verhältnis $\frac{I_{out}}{I_{in}}$ für $B \rightarrow \infty$ an.

Die Schaltung wird um einen weiteren Transistor T_4 ergänzt. Die veränderte Schaltung ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Nun gelte $B = \beta \rightarrow \infty$, $|U_{BE}| = 0,6 \text{ V}$ und $U_A \rightarrow \infty$.

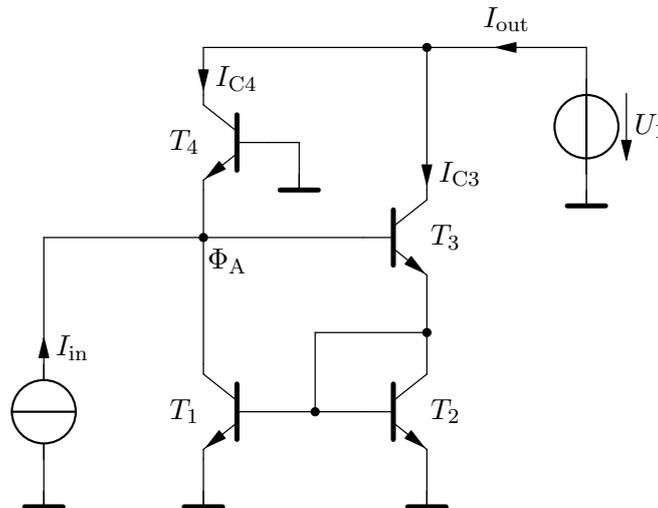


Abbildung 3.3: Transistorschaltung 3

Betrachten Sie die Schaltung aus Abbildung 3.3 zunächst für positive Eingangsströme I_{in} .

1 k) Bestimmen Sie das Potential Φ_A .

1 l) Bestimmen Sie I_{C3} und I_{C4} .

1 m) Bestimmen Sie I_{out} .

Betrachten Sie die Schaltung aus Abbildung 3.3 nun für negative Eingangsströme I_{in} .

1 n) Bestimmen Sie Φ_A .

1 o) Bestimmen Sie I_{C3} und I_{C4} .

1 p) Bestimmen Sie I_{out} .

Betrachten Sie die Schaltung aus Abbildung 3.3 nun für beliebige Eingangsströme I_{in} .

2 q) Zeichnen Sie in das Diagramm aus Abbildung 3.4 den Verlauf von I_{out} in Abhängigkeit von I_{in} .

1 r) Geben Sie an, um was für eine Schaltung es sich hier handelt.

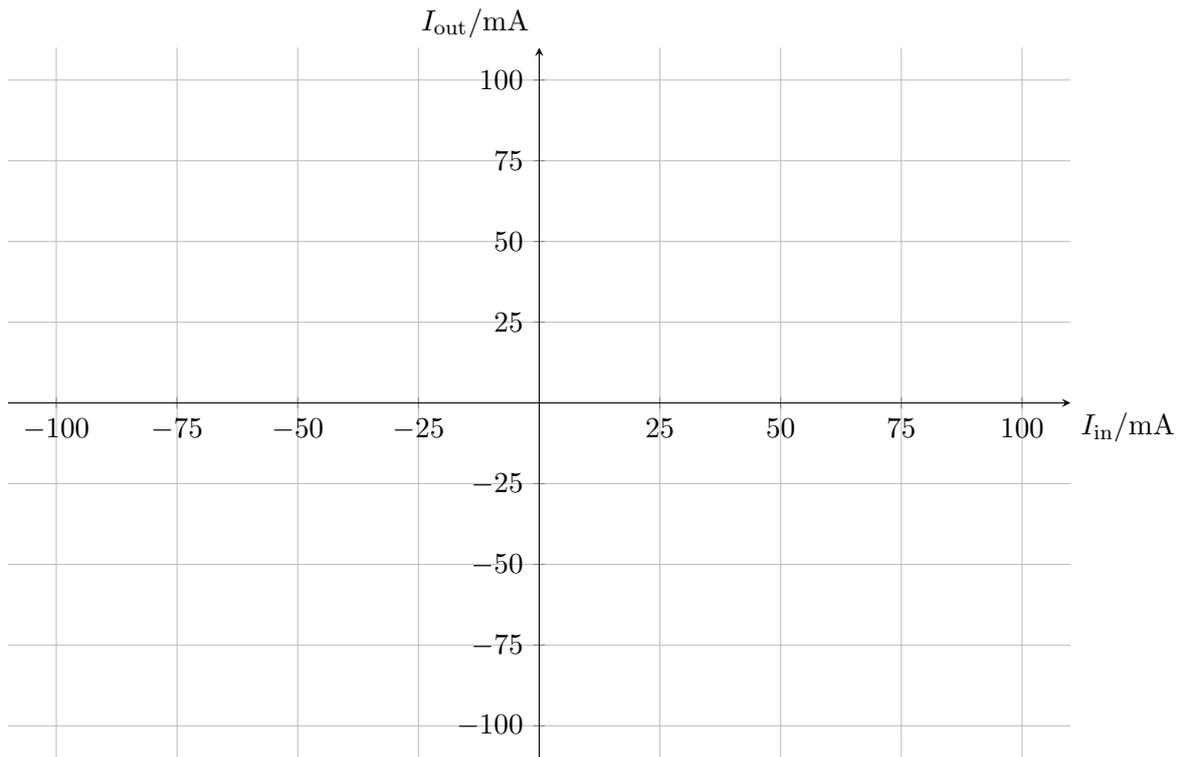


Abbildung 3.4: Diagramm für q)

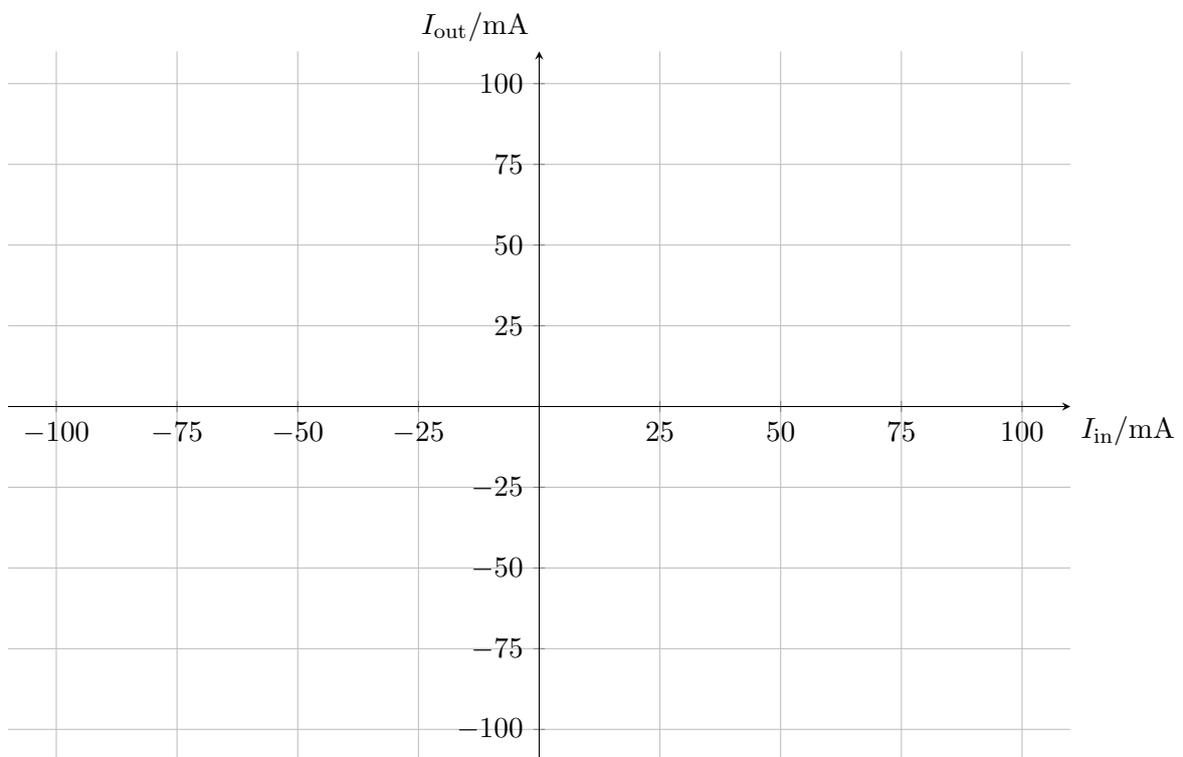


Abbildung 3.5: Reserve

Aufgabe 4: (17 Punkte)

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

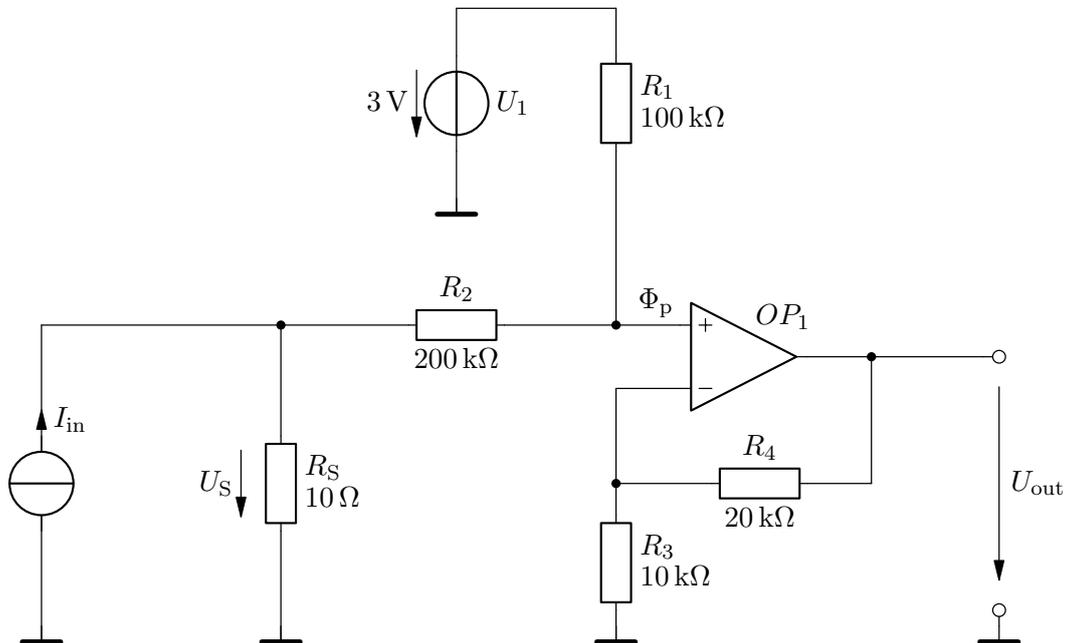


Abbildung 4.1

- 1 a) Bestimmen Sie $U_S = f(I_{in})$. Treffen Sie hierfür eine geeignete Vereinfachung.
Hinweis: Die getroffene Vereinfachung kann auch für alle nachfolgenden Aufgabenteile verwendet werden.
- 3 b) Berechnen Sie $\Phi_P = f(U_S, U_1)$. Nutzen Sie hierfür ein Ihnen aus der Vorlesung bekanntes Prinzip zur Berechnung.
- 1 c) Bestimmen Sie U_S für $I_{in} = 0 \text{ mA}$.
- 1 d) Bestimmen Sie Φ_P für $I_{in} = 0 \text{ mA}$.
- 1 e) Welche Schaltung bilden $OP1$, R_3 und R_4 ?
- 1 f) Bestimmen Sie U_{out} für $I_{in} = 0 \text{ mA}$.
- 1 g) Bestimmen Sie U_S für $I_{in} = 300 \text{ mA}$.
- 1 h) Bestimmen Sie Φ_P für $I_{in} = 300 \text{ mA}$.
- 1 i) Bestimmen Sie U_{out} für $I_{in} = 300 \text{ mA}$.
- 1 j) Bestimmen Sie U_S für $I_{in} = -300 \text{ mA}$.
- 1 k) Bestimmen Sie Φ_P für $I_{in} = -300 \text{ mA}$.
- 1 l) Bestimmen Sie U_{out} für $I_{in} = -300 \text{ mA}$.
- 3m) Verändern Sie die Schaltung so, dass bei gleichem Eingangsstrom ($I_{in} = -300 \text{ mA} \dots 300 \text{ mA}$) die Ausgangsspannung $U_{out} = 0 \text{ V} \dots 9 \text{ V}$ beträgt.

Aufgabe 5: (14 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit einem idealen gegengekoppelten Operationsverstärker, der mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 15\text{ V}$ versorgt wird. Die Zenerdiode hat eine Durchbruchspannung von $U_Z = 5\text{ V}$ und eine Flussspannung von $U_F = 0,6\text{ V}$.

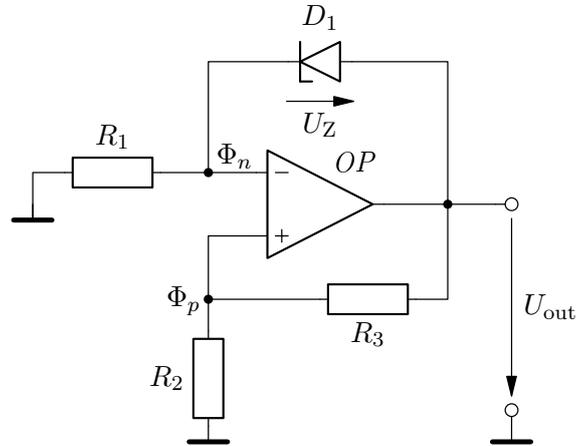


Abbildung 5.1

Gehen Sie für die folgenden Aufgaben davon aus, dass die Diode D_1 in Sperrrichtung betrieben wird.

- 1 a) Bestimmen Sie das Potential Φ_p in Abhängigkeit von U_{out} .
- 1 b) Bestimmen Sie das Potential Φ_n in Abhängigkeit von U_{out} und U_Z .
- 2 c) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_1, R_2, R_3, U_Z)$.
- 1 d) Welche Funktion erfüllt die Schaltung?
- 3 e) Legen Sie R_1 , R_2 und R_3 so aus, dass sich eine Ausgangsspannung von $U_{out} = -10\text{ V}$ ergibt.

Gehen Sie für die folgenden Aufgaben davon aus, dass die Diode D_1 in Flussrichtung betrieben wird.

- 1 f) Bestimmen Sie das Potential Φ_p in Abhängigkeit von U_{out} .
- 1 g) Bestimmen Sie das Potential Φ_n in Abhängigkeit von U_{out} und U_F .
- 2 h) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_1, R_2, R_3, U_F)$.
- 2 i) Wie kann die Schaltung verändert werden, sodass ein Leiten der Diode in Flussrichtung ausgeschlossen werden kann?

Aufgabe 6: (14 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 6.1 mit einem idealen Operationsverstärker. Die beiden Transistoren T_1 und T_2 sind ideal und vom gleichen Typ mit $B = \beta \rightarrow \infty$ und $|U_{BE}| = 0,6\text{ V}$. Die Betriebsspannung U_B beträgt 15 V. Der Operationsverstärker wird mit $\pm U_B$ versorgt. Gehen Sie davon aus, dass der Operationsverstärker gegengekoppelt ist.

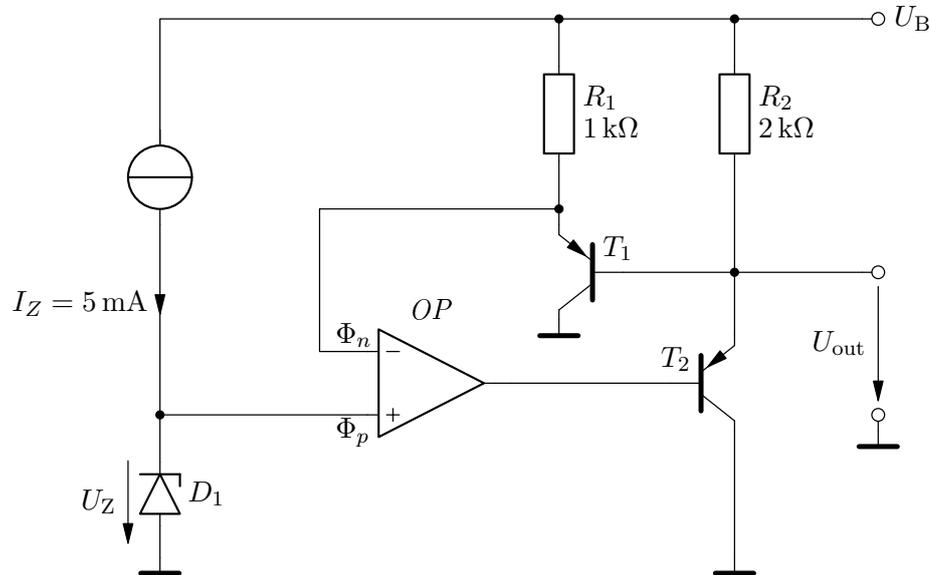


Abbildung 6.1

- 1 a) Bestimmen Sie in allgemeiner Form das Potential Φ_p am positiven Eingang des Operationsverstärkers.
- 1 b) Bestimmen Sie in allgemeiner Form das Potential Φ_n am negativen Eingang des Operationsverstärkers.
- 1 c) Bestimmen Sie in allgemeiner Form die Ausgangsspannung U_{out} .
- 1 d) Geben Sie die Funktion der Schaltung an.
- 2 e) Die Ausgangsspannung soll 1,8 V betragen. Wählen Sie eine geeignete Zenerdiode aus dem beigefügten Datenblatt (Abb. 6.2) aus.
- 3 f) Bestimmen Sie $\frac{dU_{out}}{dT}$.
Hinweis: Die Temperaturabhängigkeit der Diode D_1 kann dem Datenblatt in Abbildung 6.2 entnommen werden. Die Temperaturabhängigkeit $\frac{dU_{EB}}{dT}$ eines pnp Transistors ist gleich der Temperaturabhängigkeit $\frac{dU_{BE}}{dT}$ eines npn Transistors. Nutzen Sie hierfür einen Ihnen aus der Vorlesung bekannten Zusammenhang.

TDZxxxJ	Working voltage V_Z (V)		Differential resistance r_{dif} (Ω)		Reverse current I_R (μA)		Temperature coefficient S_Z (mV/K)	Diode capacitance C_d (pF) ^[1]	Non-repetitive peak reverse current I_{ZSM} (A) ^[2]
	$I_Z = 5 \text{ mA}$		$I_Z = 1 \text{ mA}$	$I_Z = 5 \text{ mA}$	Max	V_R (V)	$I_Z = 5 \text{ mA}$		
	Min	Max	Max	Max		Max	Typ	Max	Max
2V4	2.35	2.45	400	100	50	1.0	-1.75	450	15
2V7	2.65	2.75	450	100	20	1.0	-1.75	440	15
3V0	2.94	3.06	500	95	10	1.0	-1.75	425	15
3V3	3.23	3.37	500	95	5	1.0	-1.75	410	15
3V6	3.53	3.67	500	90	5	1.0	-1.75	390	15
3V9	3.82	3.98	500	90	3	1.0	-1.75	370	15
4V3	4.21	4.39	600	90	3	1.0	-1.75	350	15
4V7	4.61	4.79	500	80	3	2.0	-1.65	325	15
5V1	5.00	5.20	480	60	2	2.0	-0.75	300	15
5V6	5.49	5.71	400	40	10	2.5	0.25	275	15
6V2	6.08	6.32	150	10	3	4.0	2.0	250	12
6V8	6.66	6.94	80	15	2	4.0	2.85	215	12

Abbildung 6.2: Datenblatt der TDZxxxJ Z-Diode

Die Schaltung wird nun, wie in Abbildung 6.3 zu sehen, um die Widerstände R_3 und R_4 ergänzt.

- 1 g) Bestimmen Sie das Potential Φ_E am Emitter von T_1 als Funktion $\Phi_E = f(U_Z, R_3, R_4)$.
- 2 h) Dimensionieren Sie R_4 so, dass sich bei Beibehaltung der zuvor gewählten Zenerdiode die Ausgangsspannung $U_{\text{out}} = 3 \text{ V}$ einstellt.
- 2 i) Bestimmen Sie erneut $\frac{dU_{\text{out}}}{dT}$. Welchen Einfluss haben die Widerstände R_3 und R_4 auf das Temperaturverhalten?

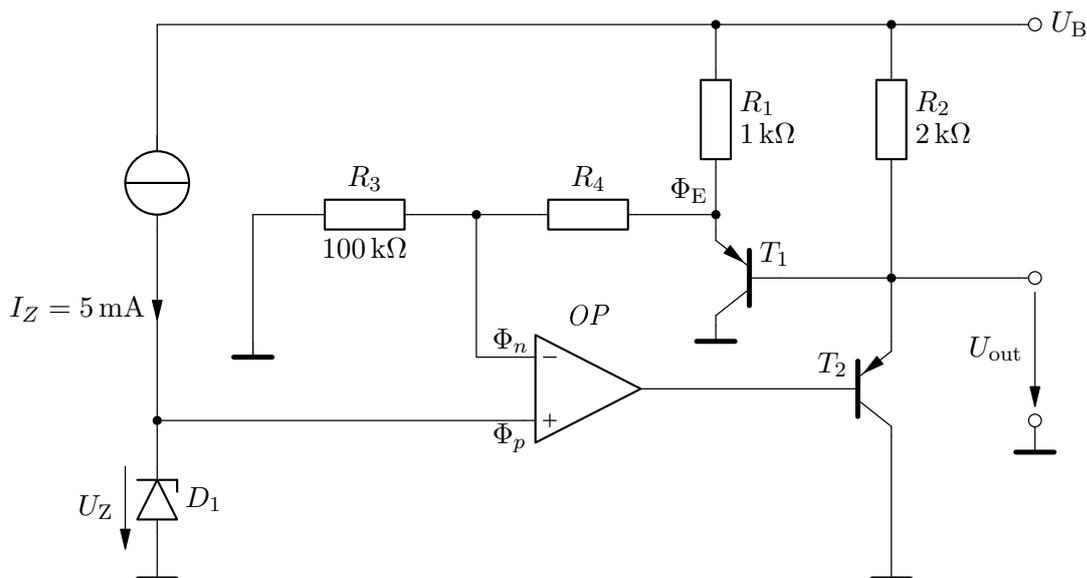


Abbildung 6.3

Aufgabe 7: (15 Punkte)

Abbildung 7.1 zeigt eine Möglichkeit, große Gleichströme galvanisch getrennt zu messen. Die Wicklung W_1 mit $N_1 = 10$ Windungen sitzt auf einem Eisenkern mit einem Luftspalt, in dem ein Magnetfeldsensor verbaut ist. Die Wicklung erzeugt einen magnetischen Fluss Φ_W . Wird der Magnetsensor von einem magnetischen Fluss Φ_L in Pfeilrichtung durchflossen, so gibt dieser eine Spannung von $U_{\text{sens}} = N \cdot I_W \cdot k_s$ aus. Der Faktor k_s ist dabei positiv.

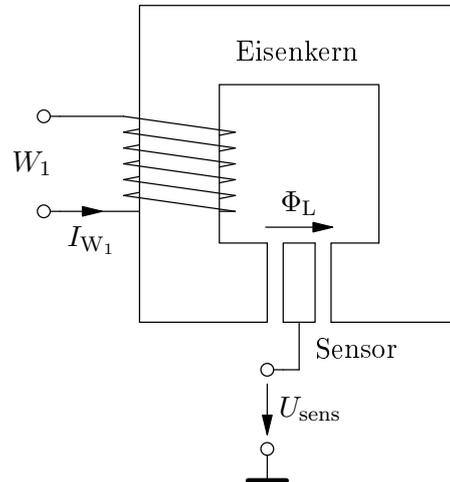


Abbildung 7.1: Einfache Messschaltung

- 1 a) Zeichnen Sie für einen positiven Strom I_{W_1} die Richtung des magnetischen Flusses Φ_{W_1} in den Eisenkern aus Abbildung 7.1 ein. *Hinweis: Verwenden Sie die Korkenzieherregel.*

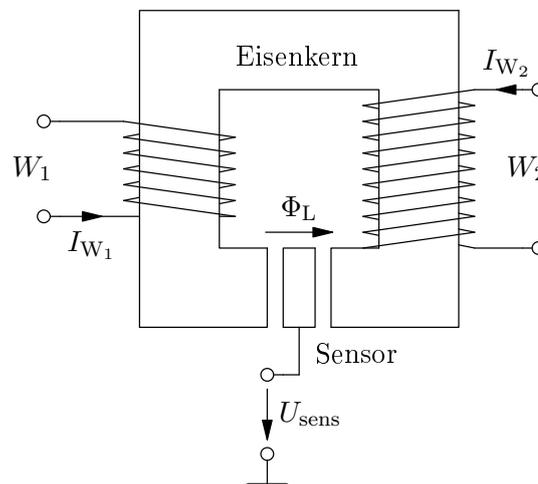


Abbildung 7.2: Ergänzten Messschaltung

Der Eisenkern wird mit einer zweiten Wicklung W_2 mit $N_2 = 1000$ Windungen umwickelt (siehe Abb. 7.2).

- 1 b) Zeichnen Sie für einen positiven Strom I_{W_2} die Richtung des magnetischen Flusses Φ_{W_2} in den Eisenkern aus Abbildung 7.2 ein.
- 2 c) Bestimmen Sie die Spannung $U_{\text{sens}} = f(I_{W_1}, I_{W_2})$ für positive Ströme I_{W_1} und I_{W_2} .

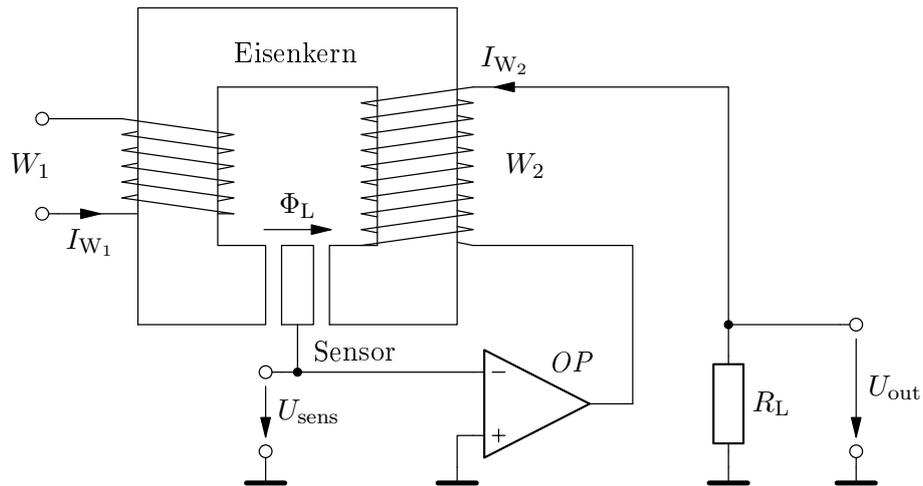


Abbildung 7.3: Verbesserte Messschaltung

Die Schaltung wird durch einen idealen, gegengekoppelten OP und einen Widerstand R_L , wie in Abbildung 7.3 dargestellt, ergänzt.

- 1 d) Bestimmen Sie jetzt die Spannung U_{sens} .
- 2 e) Bestimmen Sie aus der Gleichung für U_{sens} den Strom $I_{W_2} = f(I_{W_1}, N_1, N_2)$ für diesen Fall.
- 1 f) Bestimmen Sie in allgemeiner Form die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_L, I_{W_2})$.
- 1 g) Bestimmen Sie in allgemeiner Form die Ausgangsspannung $U_{out} = f(R_L, I_{W_1})$.
- 1 h) Dimensionieren Sie den Lastwiderstand R_L so, dass $\frac{U_{out}}{I_{W_1}} = -1 \frac{V}{A}$ gilt.
- 3 i) Beschreiben Sie die Wirkungsweise der Schaltung mit Ihren eigenen Worten.
- 2 j) Verändern oder ergänzen Sie die Schaltung so, dass jetzt $\frac{U_{out}}{I_{W_1}} = +1 \frac{V}{A}$ gilt.