

„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 $U_F = 1\text{ V}$.

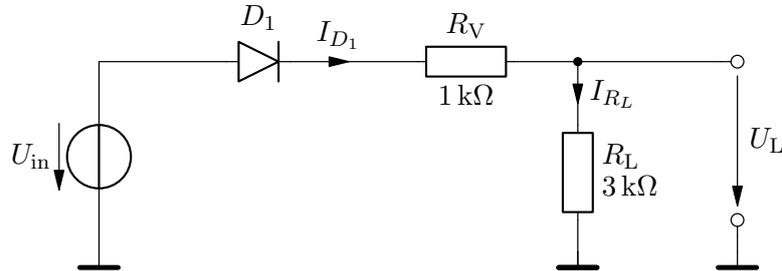


Abbildung 1.1

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

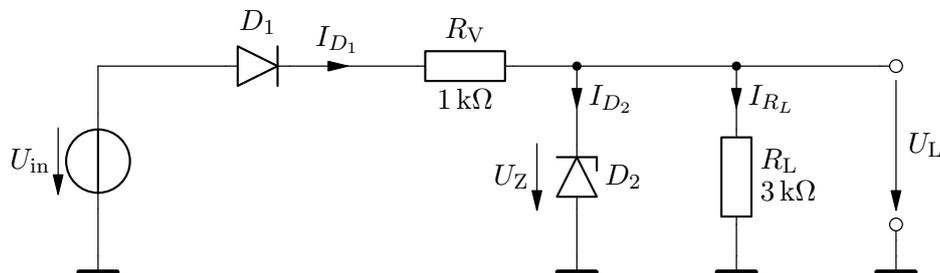


Abbildung 1.2

- 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.

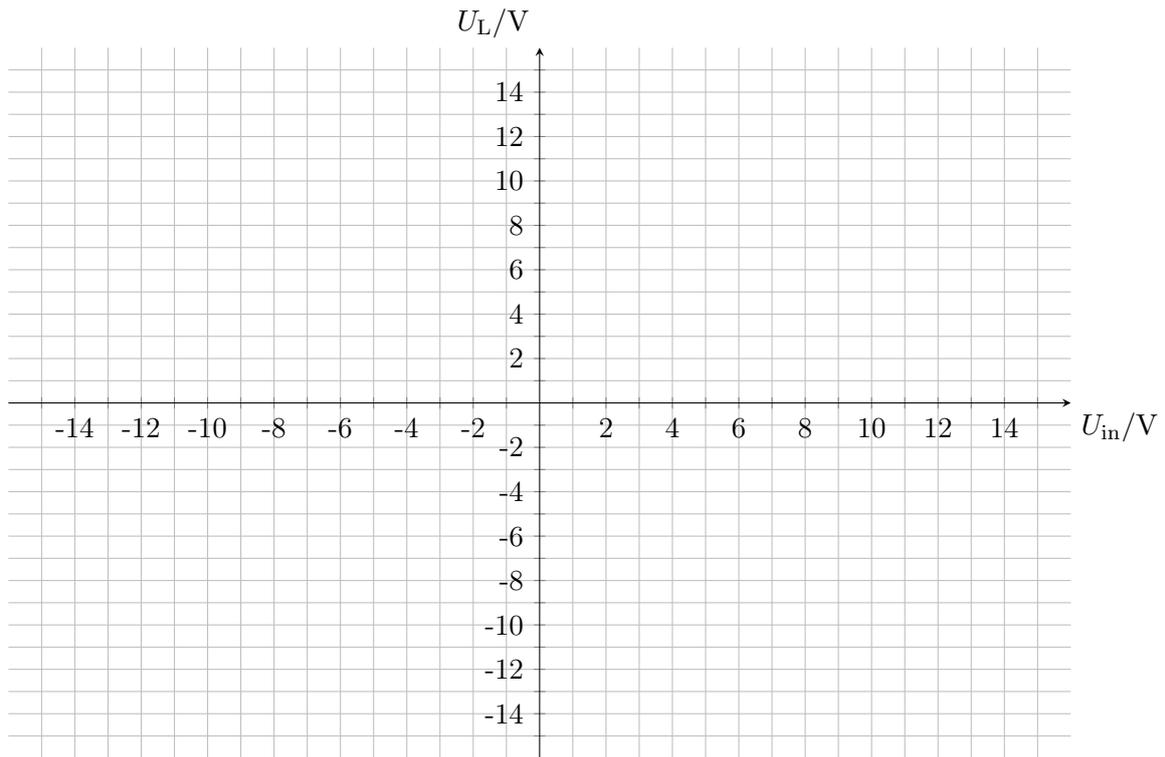


Abbildung 1.3: Diagramm für d) und h)

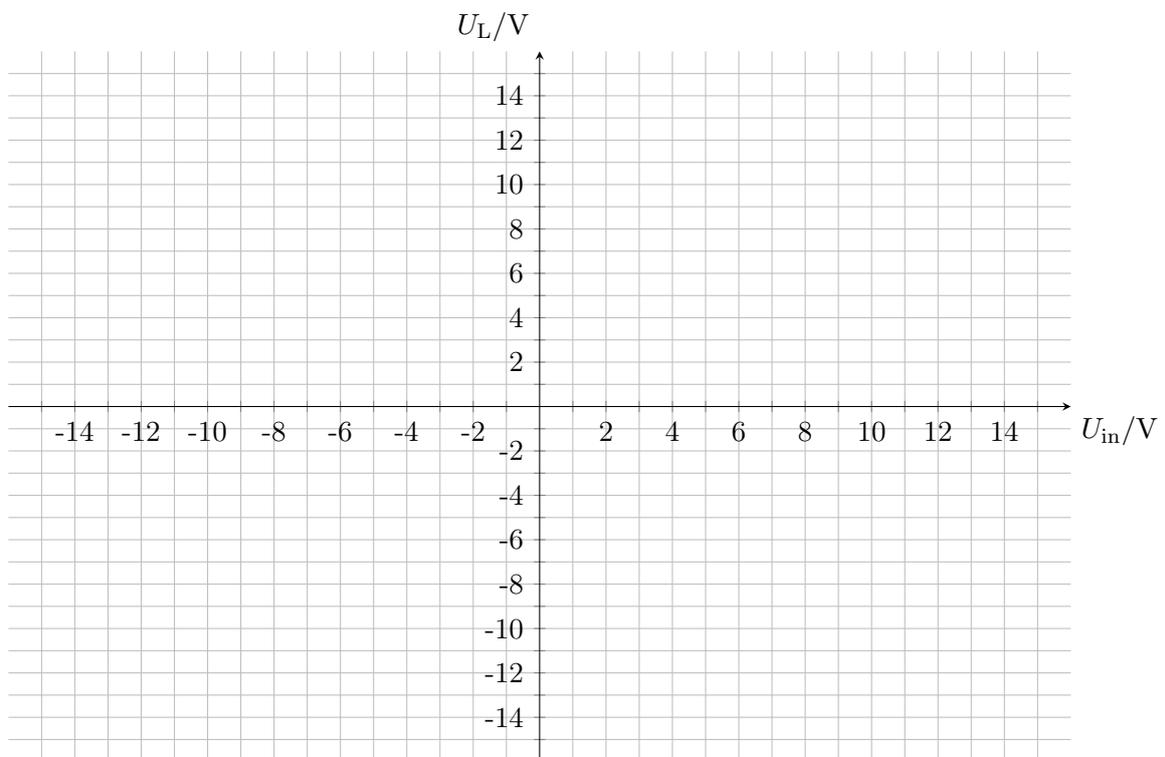


Abbildung 1.4: Diagramm für d) und h) (Reserve)

Aufgabe 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: $C \rightarrow \infty$.

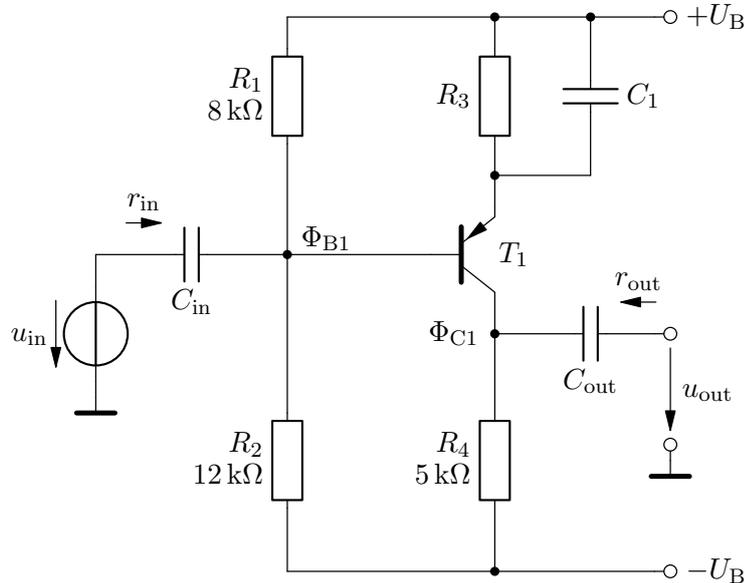


Abbildung 2.1

- 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.

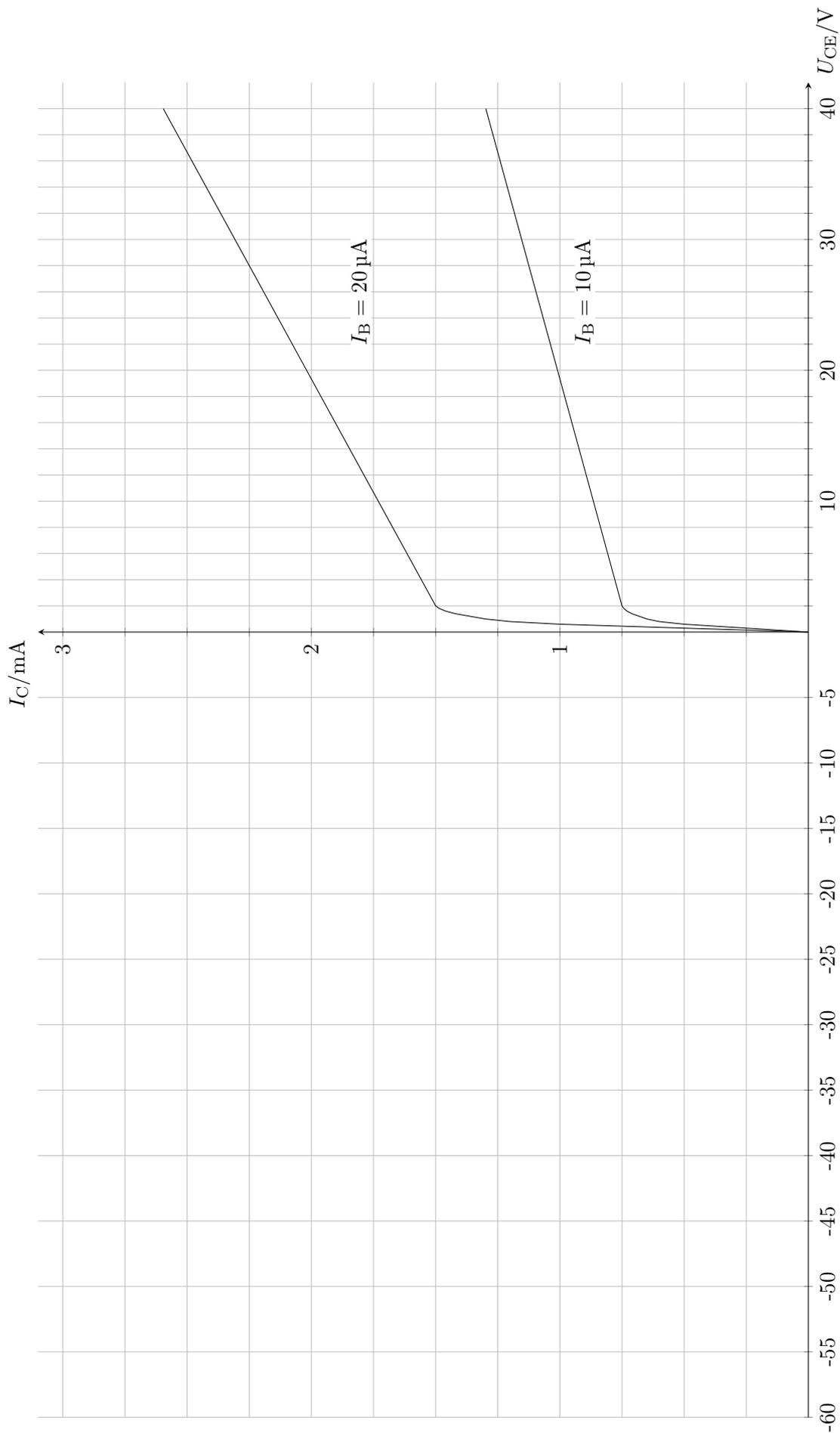


Abbildung 2.2: Ausgangskennlinienfeld von T_1

Aufgabe 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 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$.

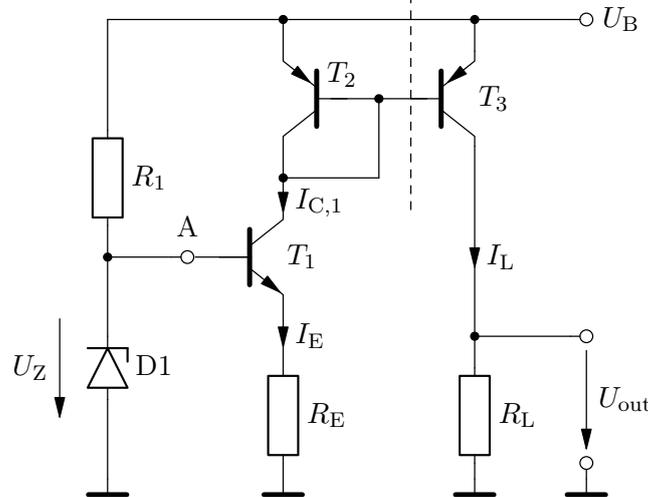


Abbildung 3.1: Z-Dioden-Schaltung

- 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 beigefügten 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 beigefügte 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 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: $U_B = 5 \text{ V}$, $U_T = 26 \text{ mV}$.

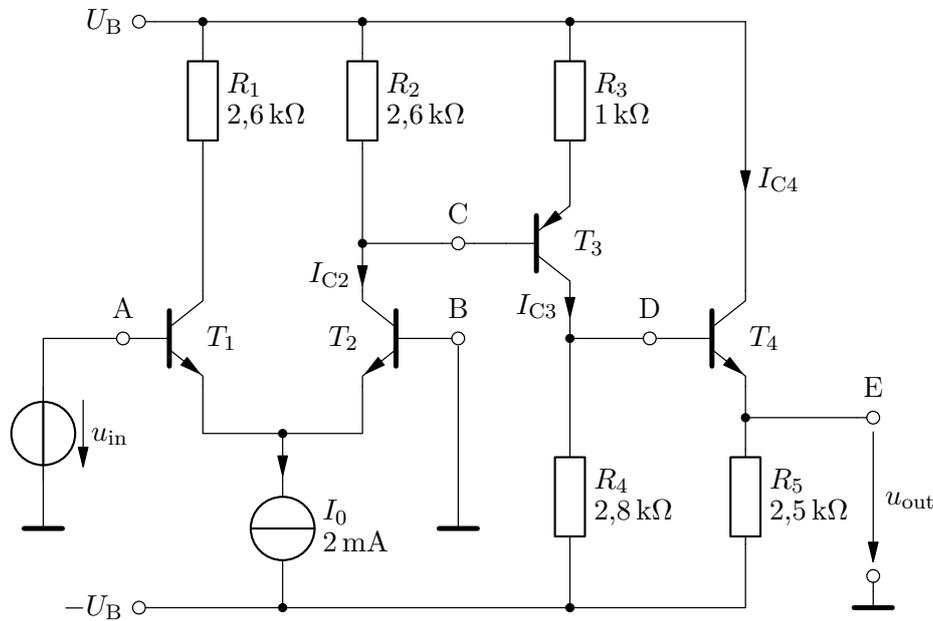


Abbildung 4.1: Transistorschaltung

- 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.

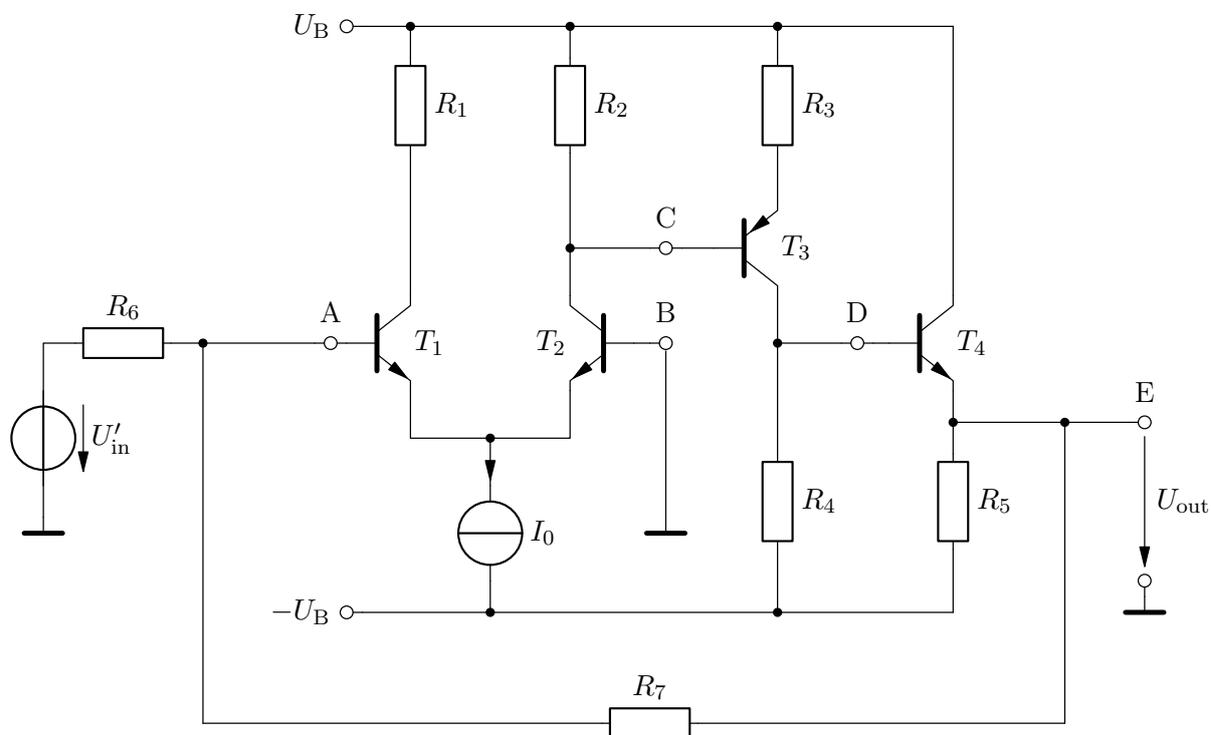


Abbildung 4.2: Transistorschaltung

- 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 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 $U_{C1}(t = 0) = 0\text{ V}$.

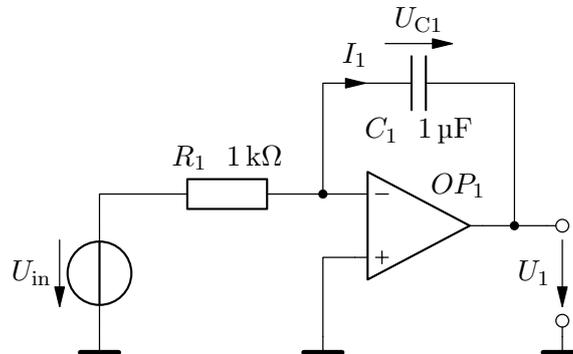


Abbildung 5.1

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 .

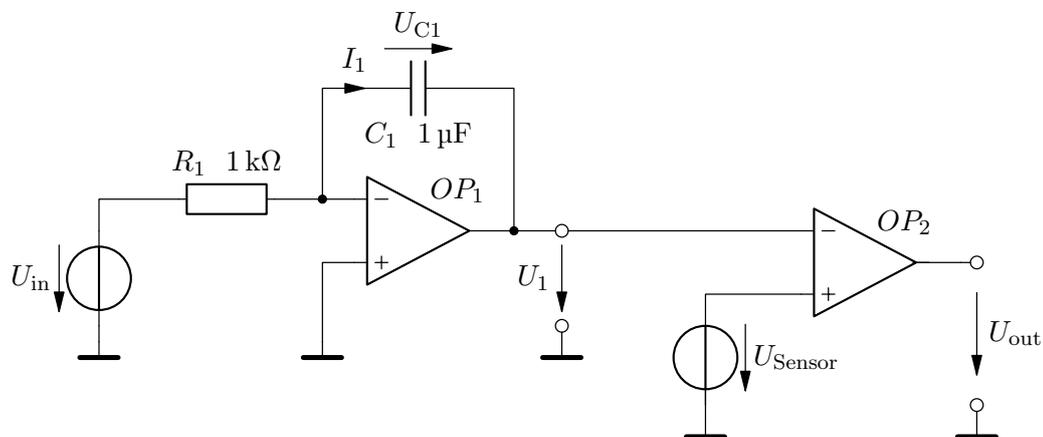


Abbildung 5.2

- 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.

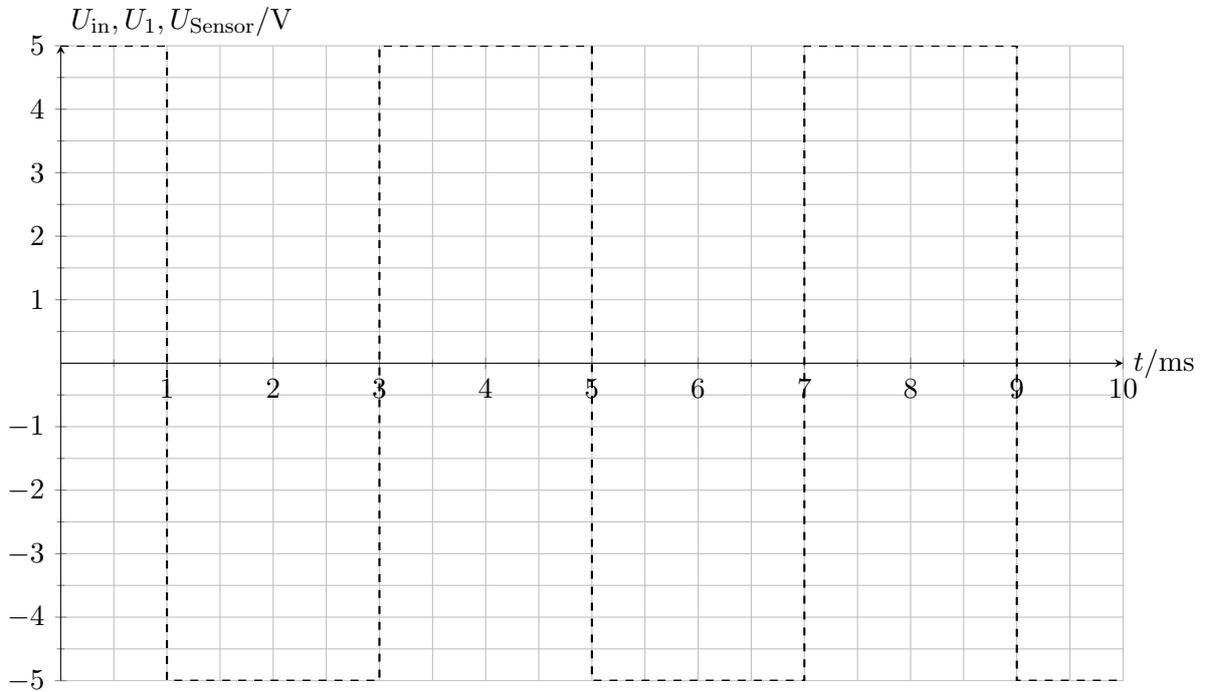


Abbildung 5.3: Diagramm Aufgabe f)

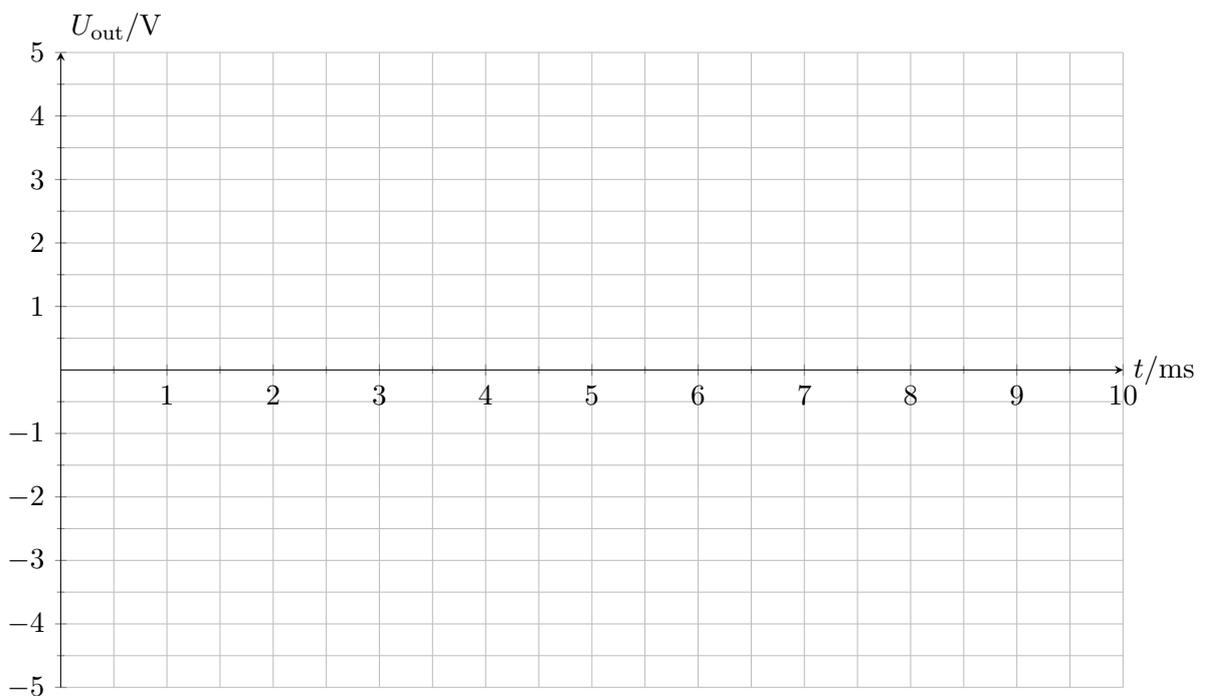


Abbildung 5.4: Diagramm Aufgabe g)

Aufgabe 6: (13 Punkte)

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

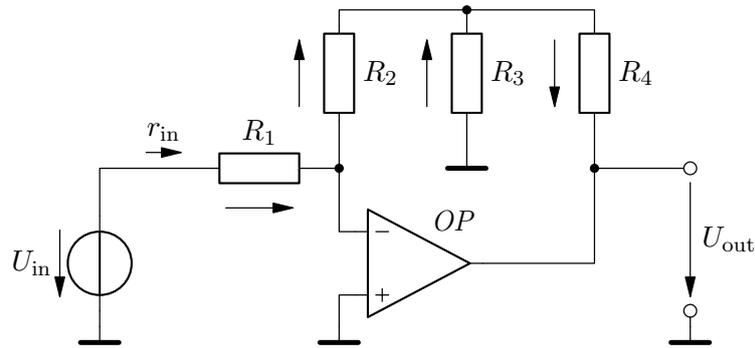


Abbildung 6.1

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 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: $R = R_1 = R_2 = R_3$.

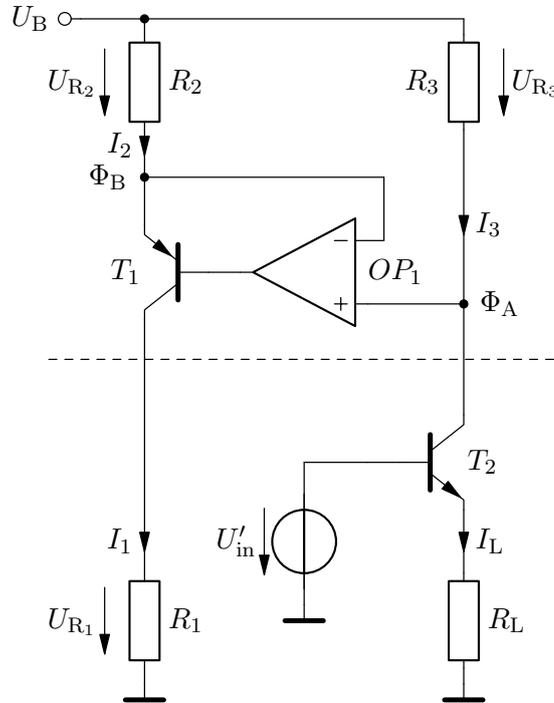


Abbildung 7.1

- 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_{R1} in allgemeiner Form als Funktion $U_{R1} = f(I_L, R, R_L)$.

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.

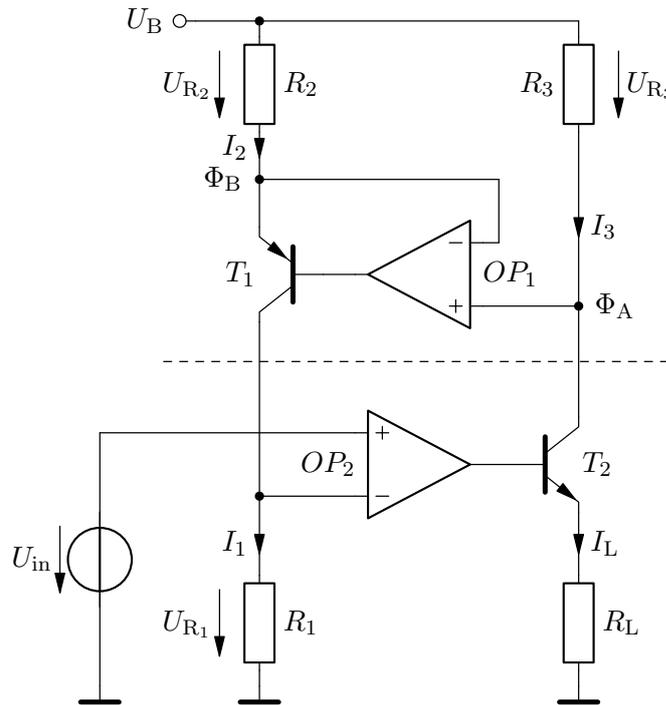


Abbildung 7.2

- 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.