

Klausur in
„Mess- und Schaltungstechnik“
im Sommersemester 2016
am 01.08.2016

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 116 Punkte erreicht werden. 100 Punkte entsprechen der Note 1,0.

Name, Vorname: Mustermann, Max

Matrikelnummer: _____

Unterschrift: _____

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

Note	
------	--

Aufgabe 1: (16 Punkte)

Gegeben sei die Transistorschaltung aus Abbildung 1.1. Die Transistoren T_1 und T_2 seien ideal mit $U_{BE,1} = U_{BE,2} = 0,7\text{ V}$, $B = \beta \rightarrow \infty$ und $U_A \rightarrow \infty$.

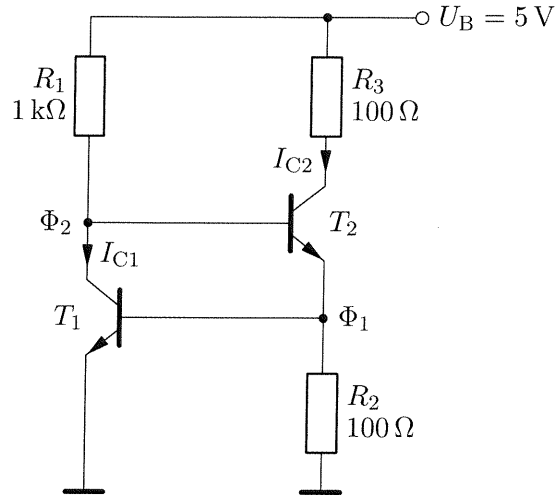


Abbildung 1.1: Transistorschaltung

- Bestimmen Sie die Potentiale Φ_1 und Φ_2 allgemein und numerisch.
- Bestimmen Sie die Ströme I_{C2} und I_{C1} allgemein und numerisch.

Hinweis: Verwenden Sie für Aufgabenpunkte c) bis d) einen Ihnen bekannten Zusammenhang zwischen U_{BE} und der Temperatur.

- Bestimmen Sie die Abhängigkeit $\frac{dI_{C2}}{dT}$ allgemein und numerisch.
- Bestimmen Sie die Abhängigkeit $\frac{dI_{C1}}{dT}$ allgemein und numerisch.

Der Widerstand R_3 habe nun einen Wert $R_3 = 200\ \Omega$.

- Bestimmen Sie für diesen Fall den Kollektorstrom I_{C2} .
- Bestimmen Sie die Abhängigkeit $\frac{dI_{C2}}{dU_B}$ allgemein und numerisch. *Hinweis: Es gelte weiterhin der Zusammenhang $U_{BE,1} = U_{BE,2} = 0,7\text{ V} \neq f(I_C)$. Welche Funktion hat diese Schaltung?*

Aufgabe: 1

$$a) \quad \phi_1 = U_{BE,1} = 0,7 \text{ V}$$

$$\phi_2 = U_{BE,1} + U_{BE,2} = 1,4 \text{ V}$$

$$b) \quad I_{C2} = \frac{\phi_1}{R_2} = \frac{U_{BE,1}}{R_2} = \frac{0,7 \text{ V}}{100 \Omega} = 7 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \frac{U_B - \phi_2}{R_1} = \frac{U_B - 2U_{BE}}{R_1} = \frac{5 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 3,6 \text{ mA}$$

$$c) \quad \frac{dI_{C2}}{dT} = \frac{dU_{BE,1}}{dT} \cdot \frac{dI_{C2}}{dU_{BE,1}} = -2 \text{ mV/K} \cdot \frac{1}{R_2} = -20 \mu\text{A/K}$$

$$d) \quad \frac{dI_{C1}}{dT} = \left(\frac{dU_{BE,1}}{dT} + \frac{dU_{BE,2}}{dT} \right) \frac{dI_{C1}}{d\phi_2} = -4 \text{ mV/K} \cdot \frac{1}{-R_1} = 4 \mu\text{A/K}$$

e) $I_{C2} \neq f(R_3)$, wenn T_2 nicht in Sättigung

Annahme: I_{C2} weiterhin $\frac{0,7 \text{ V}}{100 \Omega} = 7 \text{ mA}$

$$\begin{aligned} U_{CE,2} &= U_B - \phi_1 - I_{C2} \cdot R_3 \\ &= 5 \text{ V} - 0,7 \text{ V} - 1,4 \text{ V} = 2,9 \text{ V} > 0,7 \text{ V} \checkmark \end{aligned}$$

$\Rightarrow I_{C2}$ weiterhin 7 mA

$$f) \quad r_{CE} = \frac{U_A}{I_C} \quad \text{mit} \quad U_A \rightarrow \infty \Rightarrow r_{CE} \rightarrow \infty$$

$I_{C2} \neq f(U_B)$, wenn T_1 & T_2 nicht in Sättigung

$$\frac{dI_{C2}}{dU_B} = 0$$

Funktion: Stromquelle

Aufgabe 2: (19 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 2.1. Die Transistoren seien ideal und vom gleichen Typ mit $B = \beta \rightarrow \infty$, $U_A \rightarrow \infty$ und $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$. Die Diode D_1 ist eine ideale Z-Diode mit $U_Z = 4,6 \text{ V}$. Weiterhin gelte $U_1 = 10 \text{ V}$.

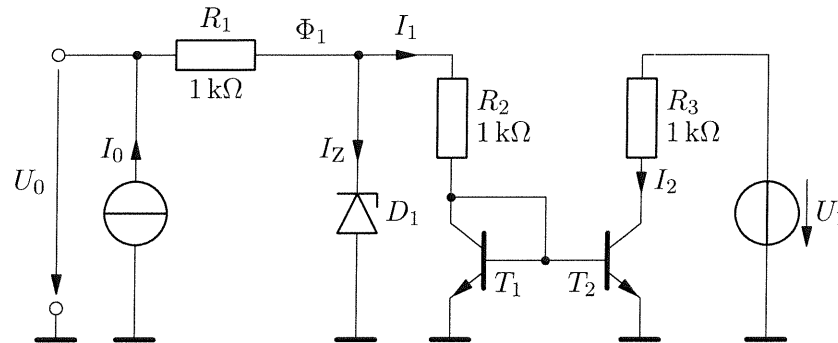


Abbildung 2.1: Schaltung

- Bestimmen Sie den Strom I_0 , für den $I_Z = 2 \text{ mA}$ gilt.
- Bestimmen Sie für diesen Fall die Spannung U_0 .
- Bestimmen Sie den Strom I_0 für den Fall, dass die Z-Diode gerade leitend wird, d.h. $U_Z = 4,6 \text{ V}$ und $I_Z \rightarrow 0$.

Hinweis: Die Aufgabenpunkte f) und g) können ohne das Ergebnis aus d) und e) gelöst werden.

- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_1 = f(I_0)$ für $0 \leq I_0 \leq 6 \text{ mA}$ und zeichnen Sie den Verlauf in das Diagramm aus Abbildung 2.2 ein. *Hinweis: Beachten Sie die Fallunterscheidungen*
- Bestimmen Sie den Strom $I_1 = f(I_0)$ für $0 \leq I_0 \leq 6 \text{ mA}$ und zeichnen Sie den Verlauf in das Diagramm aus Abbildung 2.3 ein. *Hinweis: Beachten Sie die Fallunterscheidungen*
- Bestimmen Sie die Abhängigkeit $\frac{dI_2}{dU_1}$.
- Für die Transistoren gelte nun $B = \beta = 100$. Geben Sie für diesen Fall $I_2 = f(I_1)$ an.

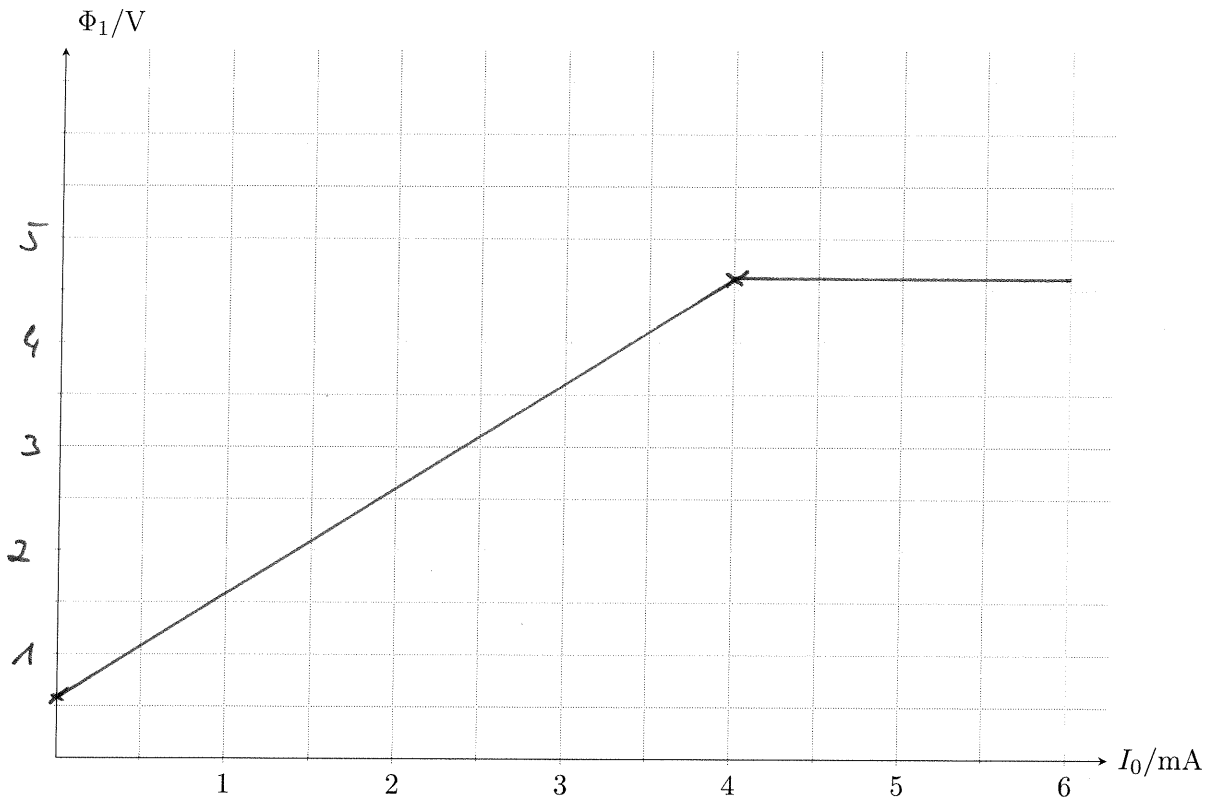


Abbildung 2.2: Diagramm Aufgabe d)

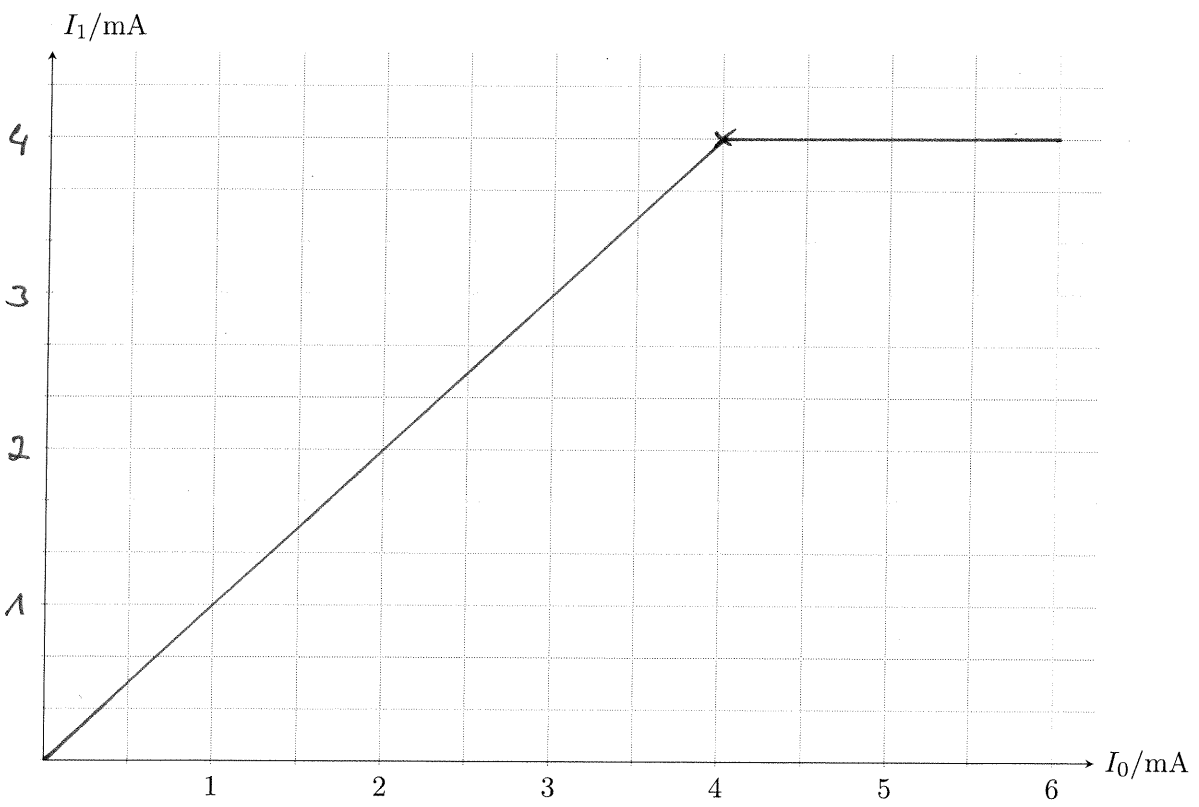


Abbildung 2.3: Diagramm Aufgabe e)

Aufgabe: 2

$$a) \quad I_0 = I_2 + I_1$$

$$I_2 = 2 \text{ mA} \Rightarrow \phi_1 = U_2 = 4,6 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_{R2} = 4 \text{ V} \Rightarrow I_1 = 4 \text{ mA}$$

$$I_0 = 6 \text{ mA}$$

$$b) \quad U_0 = \phi_1 + I_0 \cdot R_1 = 4,6 \text{ V} + 1 \text{ k}\Omega \cdot 6 \text{ mA} \\ = 10,6 \text{ V}$$

$$c) \quad \phi_1 = 4,6 \text{ V}, \quad I_2 \rightarrow 0 \Rightarrow I_0 = 4 \text{ mA}$$

$$f) \quad U_A \rightarrow \infty \Rightarrow r_{ce} \rightarrow \infty$$

$$\text{damit } \frac{dI_2}{dU_A} = 0$$

$$g) \quad I_2 = \frac{\beta}{\beta+2} I_1 = \frac{100}{102} I_1 \approx 0,98 I_1$$

Aufgabe 3: (17 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 3.1 mit idealen Transistoren, für die $B = \beta \rightarrow \infty$ sowie $U_A \rightarrow \infty$, $|U_{BE}| = 0,6 \text{ V}$ und $U_T = 25 \text{ mV}$ gelte. Weiterhin ist die Betriebsspannung mit $U_B = 10 \text{ V}$ gegeben und für die Kondensatoren gelte: $C_1 = C_2 \rightarrow \infty$.

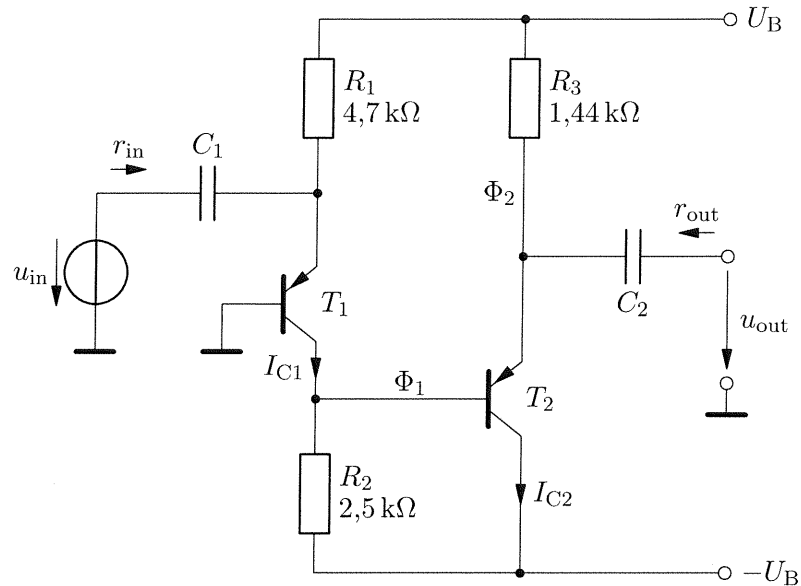


Abbildung 3.1: Transistorschaltung

- In welchen Grundschaltungsarten werden die Transistoren T_1 und T_2 betrieben?
- Bestimmen Sie den Strom I_{C1} und das Potential Φ_1 im Arbeitspunkt.
- Bestimmen Sie das Potential Φ_2 und Strom I_{C2} im Arbeitspunkt.
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung.
- Welche Verstärkung $v = \frac{u_{out}}{u_{in}}$ ergibt sich in dieser Schaltung?
- Wie groß sind der Eingangswiderstand r_{in} und der Ausgangswiderstand r_{out} ?

Aufgabe: 3

a) T_1 : Basisschaltung, T_2 : Kollektorschaltung

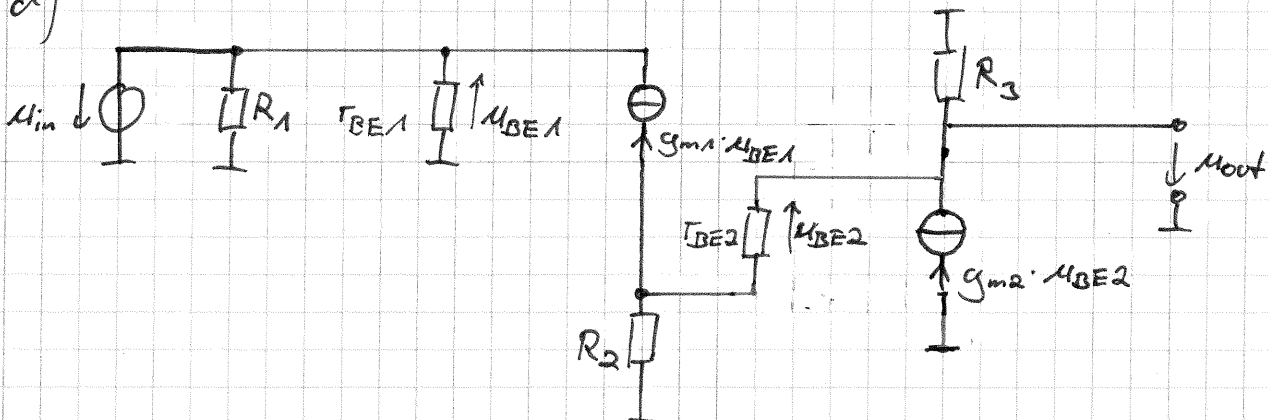
$$b) I_{C1} = I_{E1} = \frac{U_B - |U_{BE1}|}{R_1} = \frac{10V - 0,6V}{4,7k\Omega} = 2mA$$

$$\phi_1 = -U_B + U_{R2} = -10V + 2mA \cdot 2,5k\Omega = -5V$$

$$c) \phi_2 = \phi_1 + |U_{BE2}| = -5V + 0,6V = -4,4V$$

$$I_{C2} = I_{E2} = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{U_B - \phi_2}{R_3} = \frac{14,4V}{1,44k\Omega} = 10mA$$

d)



$$e) T_1: v_1 = g_{m1} \cdot R_2 = \frac{2mA}{25mV} \cdot 2,5k\Omega = 200 \quad (r_{BE1} \rightarrow \infty)$$

$$T_2: v_2 = \frac{R_3}{\frac{1}{g_{m2}} + R_3} = \frac{1,44k\Omega}{2,5\Omega + 1,44k\Omega} \approx 1$$

$$V = v_1 \cdot v_2 = 200$$

$$f) r_{in} = R_1 \parallel \frac{1}{g_{m1}} = 4,7k\Omega \parallel 12,5\Omega \approx 12,5\Omega$$

$$r_{out} = R_3 \parallel \frac{1}{g_{m2}} = 1,44k\Omega \parallel 2,5\Omega \approx 2,5\Omega$$

Aufgabe 4: (15 Punkte)

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

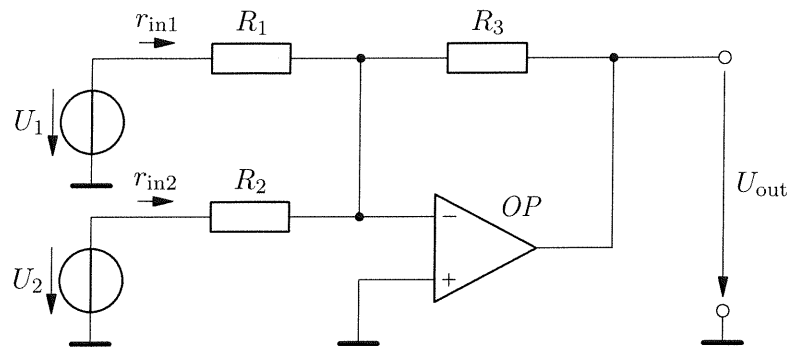


Abbildung 4.1: Operationsverstärker

- Bestimmen Sie U_{out} als Funktion von U_1 für $U_2 = 0 \text{ V}$.
- Bestimmen Sie U_{out} als Funktion von U_2 für $U_1 = 0 \text{ V}$.
- Bestimmen Sie nun U_{out} als Funktion von U_1 und U_2 .
- Bestimmen Sie $r_{\text{in}1}$ und $r_{\text{in}2}$.
- Um welche Operationsverstärkerschaltung handelt es sich?

Im folgenden gelte: $U_1 > 0 \text{ V}$ und $U_2 > 0 \text{ V}$.

Die Schaltung wird nun um den idealen Transistor T_1 mit $B = \beta \rightarrow \infty$ und $|U_{\text{BE}}| = 0,6 \text{ V}$ und den Widerstand R_4 erweitert, siehe Abbildung 4.2.

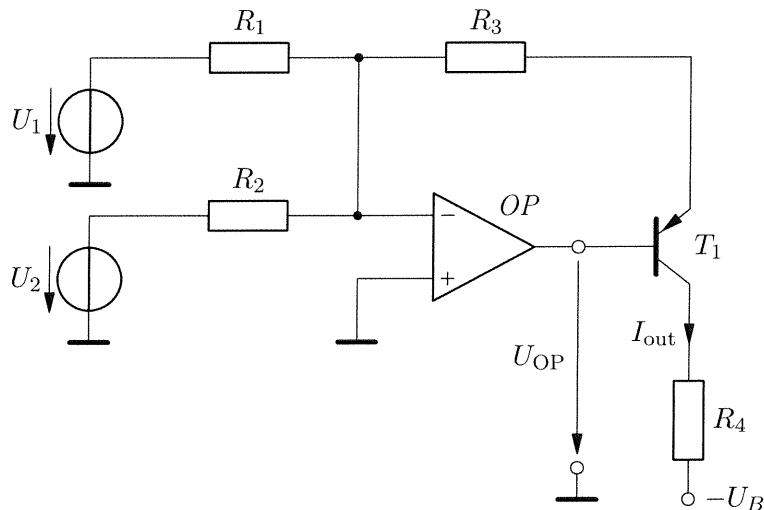


Abbildung 4.2: Operationsverstärker

- Bestimmen Sie den Strom I_{out} als Funktion von U_1 und U_2 .
- Welchen Wert hat die Spannung U_{OP} ?

Aufgabe: 4

a) $U_2 = 0: \quad U_{out} = -U_1 \frac{R_3}{R_1}$

b) $U_1 = 0: \quad U_{out} = -U_2 \frac{R_3}{R_2}$

c) $U_{out} = -U_1 \frac{R_3}{R_1} - U_2 \frac{R_3}{R_2}$

d) $r_{in1} = R_1, \quad r_{in2} = R_2$

e) invertierender Addierer

f) $I_{out} = I_{R3} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$

g) $U_{op} = -I_{R3} \cdot R_3 - |U_{BE}| = -U_1 \frac{R_3}{R_1} - U_2 \frac{R_3}{R_2} - 0,6V$

Aufgabe 5: (18 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 5.1 mit zwei idealen Operationsverstärkern.

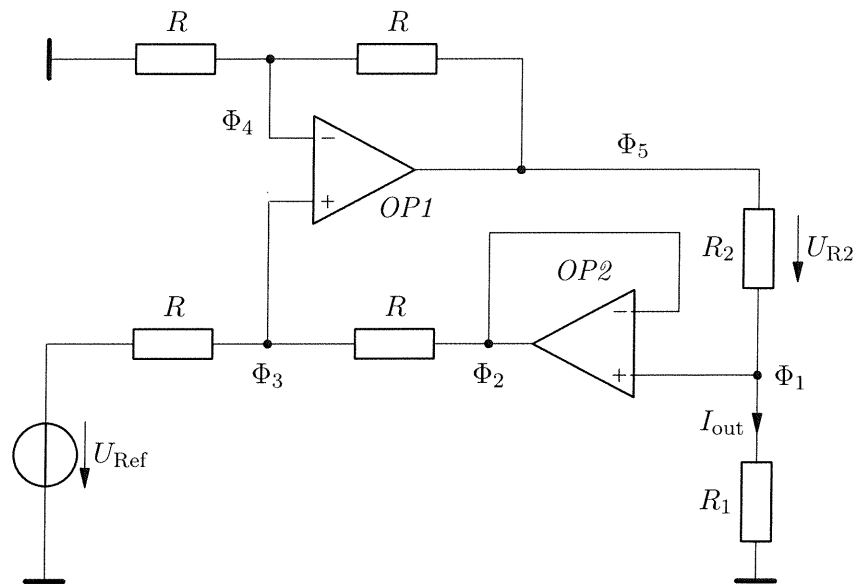


Abbildung 5.1: Operationsverstärker

- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_1 = f(R_1, I_{\text{out}})$.
- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_2 = f(R_1, I_{\text{out}})$.
- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_3 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{Ref}})$.
- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_4 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{Ref}})$.
- Bestimmen Sie das Potential $\Phi_5 = f(R, R_1, I_{\text{out}}, U_{\text{Ref}})$.
- Wie groß ist die Spannung U_{R2} über dem Widerstand R_2 ?
- Bestimmen Sie den Strom $I_{\text{out}} = f(R, R_1, R_2, U_{\text{Ref}})$.

Es gelte nun $R = 25 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,5 \text{ k}\Omega$ und $U_{\text{Ref}} = 2,5 \text{ V}$.

- Wie groß ist der Strom I_{out} ?
- Welche Funktion hat die Schaltung?

Aufgabe: 5

$$a) \quad \phi_1 = I_{out} \cdot R_1$$

$$b) \quad \phi_2 = \phi_1 = I_{out} \cdot R_1$$

$$c) \quad \phi_3 = \frac{1}{2} (U_{ref} + \phi_2) = \frac{1}{2} (U_{ref} + I_{out} \cdot R_1)$$

$$d) \quad \phi_4 = \phi_3 = \frac{1}{2} (U_{ref} + I_{out} \cdot R_1)$$

$$e) \quad \phi_5 = 2\phi_4 = U_{ref} + I_{out} \cdot R_1$$

$$f) \quad U_{R2} = \phi_5 - \phi_1 = U_{ref}$$

$$g) \quad I_{out} = \frac{U_{ref}}{R_2}$$

$$h) \quad I_{out} = \frac{2,5V}{2,5k\Omega} = 1mA$$

i) Stromquelle

Aufgabe 6: (15 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 $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$. Der Operationsverstärker wird mit $\pm 10 \text{ V}$ versorgt. Die Betriebsspannung U_B beträgt 10 V . In Abbildung 6.2 ist das Datenblatt der verwendeten Z-Diode zu finden. Gehen Sie davon aus, dass der Operationsverstärker gegengekoppelt ist.

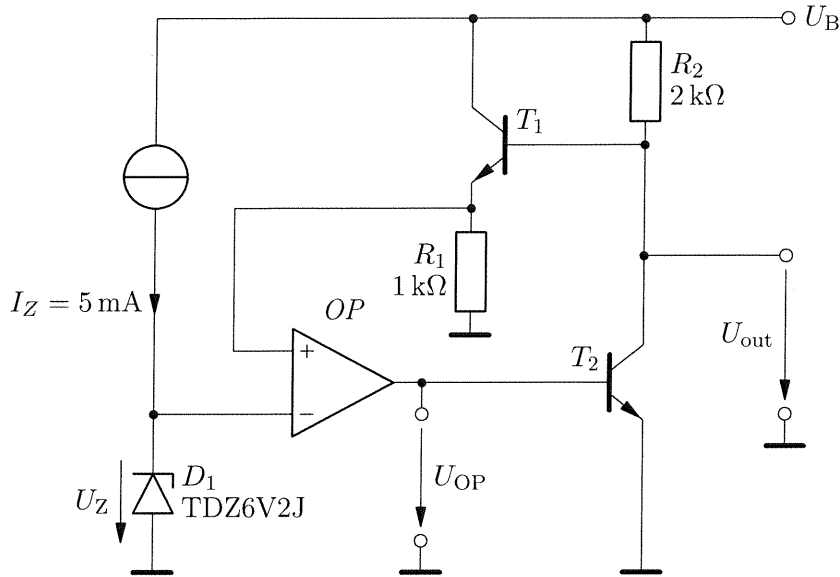


Abbildung 6.1: Schaltung

- Bestimmen Sie das Potential am negativen Eingang des Operationsverstärkers $\Phi_{OP,N}$.
Hinweis: Entnehmen Sie den Wert für U_Z aus dem Datenblatt. Nehmen Sie als typischen Wert den Mittelwert von Min und Max an.
- Bestimmen Sie das Potential am positiven Eingang des Operationsverstärkers $\Phi_{OP,P}$.
- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_{out} .
- Bestimmen Sie den Kollektorstrom I_{C2} von Transistor T_2 .
- Bestimmen Sie die Spannung U_{OP} am Ausgang des Operationsverstärkers.
- Bestimmen Sie $\frac{dU_{out}}{dT}$.
Hinweis: Verwenden Sie für die Temperaturabhängigkeit von D_1 einen geeigneten Wert aus Abbildung 6.2 sowie einen Ihnen bekannten Zusammenhang zwischen U_{BE} und der Temperatur.
- Erläutern Sie die Funktion der Schaltung.

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]
	$I_Z = 5$ mA		$I_Z = 1$ mA	$I_Z = 5$ mA	Max	V_R (V)	$I_Z = 5$ 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
7V5	7.5	7.65	80	10	1	5.0	3.9	170	4.0
8V2	8.04	8.36	80	10	0.70	5.0	4.7	150	4.0
9V1	8.92	9.28	100	10	0.50	6.0	5.4	120	3.0
10	9.80	10.20	150	10	0.20	7.0	6.25	110	3.0
11	10.80	11.20	150	10	0.10	8.0	7.2	108	2.5
12	11.80	12.20	150	10	0.10	8.0	8	105	2.5
13	12.70	13.30	170	10	0.10	8.0	9	103	2.5
15	14.70	15.30	200	15	0.05	10.5	11.1	99	2.0
16	15.70	16.30	200	20	0.05	11.2	12.2	97	1.5
18	17.6	18.4	225	20	0.05	12.6	14.2	93	1.5
20	19.6	20.4	225	20	0.05	14.0	16.2	88	1.5
22	21.6	22.4	250	25	0.05	15.4	18.2	84	1.25
24	23.5	24.5	250	30	0.05	16.8	20.2	80	1.25

Abbildung 6.2: TDZxxxJ Z-Diode

Aufgabe: 6

$$a) \phi_{op,r} = U_Z = 6,2 V$$

$$b) \text{Gegankopplung: } \phi_{op,r} = \phi_{op,m} = 6,2 V$$

$$c) U_{out} = U_Z + U_{BE1} = 6,8 V$$

$$d) I_{C2} = \frac{U_B - U_{out}}{R_2} = \frac{10V - 6,8V}{2k\Omega} = 1,6 mA$$

$$e) U_{op} = U_{BE2} = 0,6 V$$

$$f) \frac{dU_{out}}{dT} = \frac{dU_Z}{dT} + \frac{dU_{BE1}}{dT} = 2mV/K - 2mV/K$$

$$= 0$$

g) Die Spannung U_Z steigt mit $2mV/K$, die Basis-Emitter-Spannung von T_1 sinkt mit $2mV/K$. In Summe heben die Abhängigkeiten sich am Ausgang auf. Die Spannung am Ausgang ist nicht Temperaturabhängig.

Aufgabe 7: (16 Punkte)

Gegeben sei die Schaltung aus Abbildung 7.1. Die Transistoren seien ideal und vom gleichen Typ mit $B = \beta \rightarrow \infty$, $U_A \rightarrow \infty$ und $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$. Die Diode D_1 ist eine Laser-Diode zur Datenübertragung und kann als ideale Diode mit einer Flussspannung $U_F = 2 \text{ V}$ angenommen werden. U_1 sei eine digitale Signalquelle mit Spannungspegeln von 0 V und 5 V . Weiterhin gelte $U_B = 10 \text{ V}$ und $U_2 = 2,5 \text{ V}$.

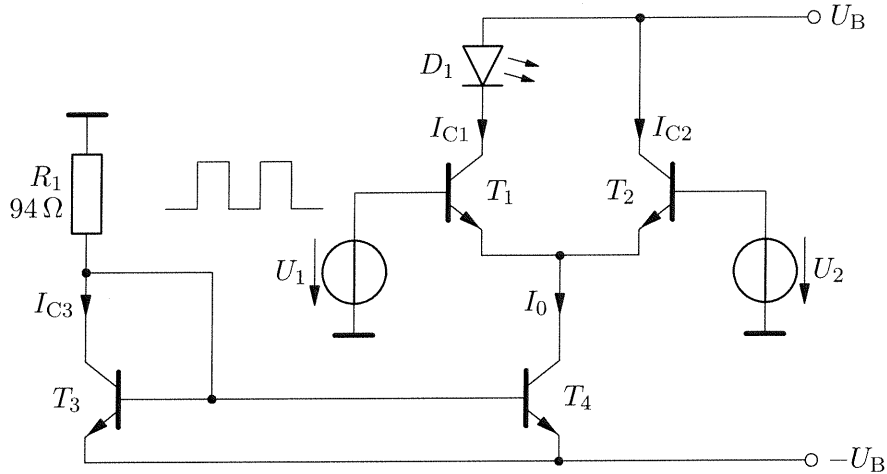


Abbildung 7.1: Schaltung

- Bestimmen Sie den Strom $I_{C3} = f(U_B, R_1)$.
- Bestimmen Sie den Strom I_0 .
- Bestimmen Sie für $U_1 = 0 \text{ V}$ die Ströme I_{C1} und I_{C2} .
- Bestimmen Sie für $U_1 = 5 \text{ V}$ die Ströme I_{C1} und I_{C2} .
- Bestimmen Sie für den Fall aus Aufgabe c) die Verlustleistungen P_V von T_1 , T_2 und T_4 .
- Bestimmen Sie für den Fall aus Aufgabe d) die Verlustleistungen P_V von T_1 , T_2 und T_4 .
- Geben Sie eine geeignete Maßnahme an, um die Verlustleistung in T_2 zu reduzieren.

Aufgabe: 7

$$a) \quad I_{C3} = \frac{U_H - U_{BE}}{R_1} = \frac{9,4V}{94\Omega} = 100mA$$

$$b) \quad I_0 = I_{C3} = 100mA$$

$$c) \quad U_1 = 0: \quad I_{C1} = 0, \quad I_{C2} = 100mA$$

$$d) \quad U_1 = 5V: \quad I_{C1} = 100mA, \quad I_{C2} = 0$$

$$e) \quad U_1 = 0: \quad P_{VT1} = 0$$

$$P_{VT2} = (10V - 2,5V + 0,6V) \cdot 100mA$$

$$= 0,81W$$

$$P_{VT4} = (10V + 2,5V - 0,6V) \cdot 100mA$$

$$= 1,19W$$

$$f) \quad U_1 = 5V: \quad P_{VT1} = (10V - 5V + 0,6V - 2V) \cdot 100mA$$

$$= 0,36W$$

$$P_{VT2} = 0$$

$$P_{VT4} = (10V + 5V - 0,6V) \cdot 100mA$$

$$= 1,44W$$

g) In den Phasen, bei denen $U_1 = 0V$ ist, kann die Stromquelle abgeschaltet werden. Optimalerweise sollte eingeschaltet werden, bevor U_1 auf 5V wechselt.

Oder:

Ein Widerstand zwischen dem Kollektor von T_2 und U_B .