

**„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  $U_F = 1\text{ V}$ .

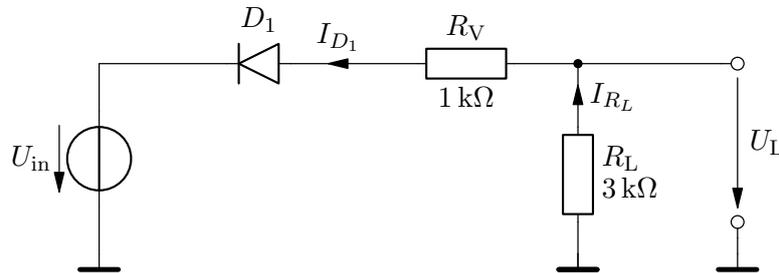


Abbildung 1.1

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

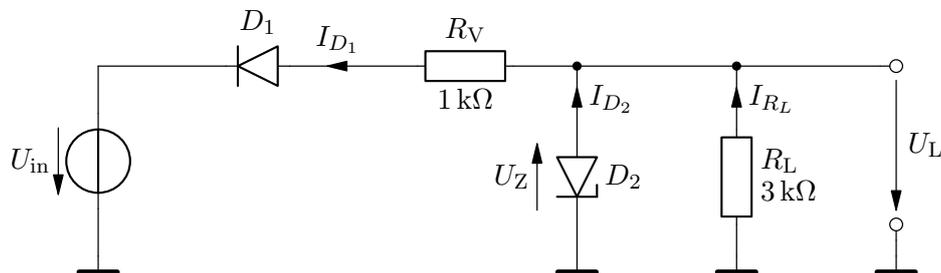


Abbildung 1.2

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

AV

a)  $U_{in,1} = -U_F = -1V$

b)  $U_{in} > U_{in,1} : I_{D1} = 0$

$$U_{in} < U_{in,1} : I_{D1} = -\frac{U_{in} - U_{in,1}}{R_V + R_L}$$

c)  $U_{in} > U_{in,1} : U_L = 0$

$$U_{in} < U_{in,1} : U_L = -I_{D1} \cdot R_L = +\frac{U_{in} - U_{in,1}}{R_V + R_L} \cdot R_L$$

d) s. Diagramm

e)  $I_{D1} = I_{D2} + I_{RL}$

f)  $U_{in,2} = -U_Z - \frac{U_L}{R_L} \cdot R_V - U_F$

$$= -6V - \frac{6V}{3k\Omega} \cdot 1k\Omega - 1V = -9V$$

g)  $U_{in} > U_{in,1} : U_L = 0$

$$U_{in,2} < U_{in} < U_{in,1} : U_L = \frac{U_{in} - U_{in,1}}{R_V + R_L} \cdot R_L$$

$$U_{in} < U_{in,2} : U_L = -U_Z = -6V$$

h) s. Diagramm

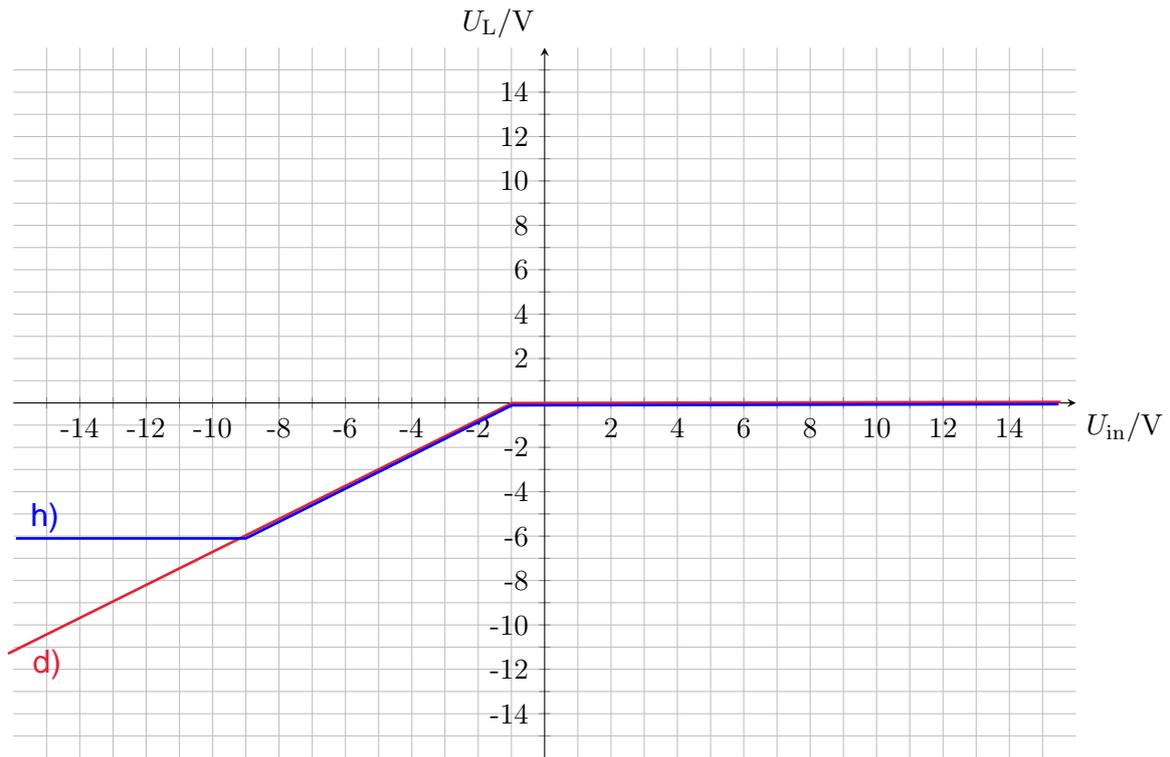


Abbildung 1.3: Diagramm für d) und h)

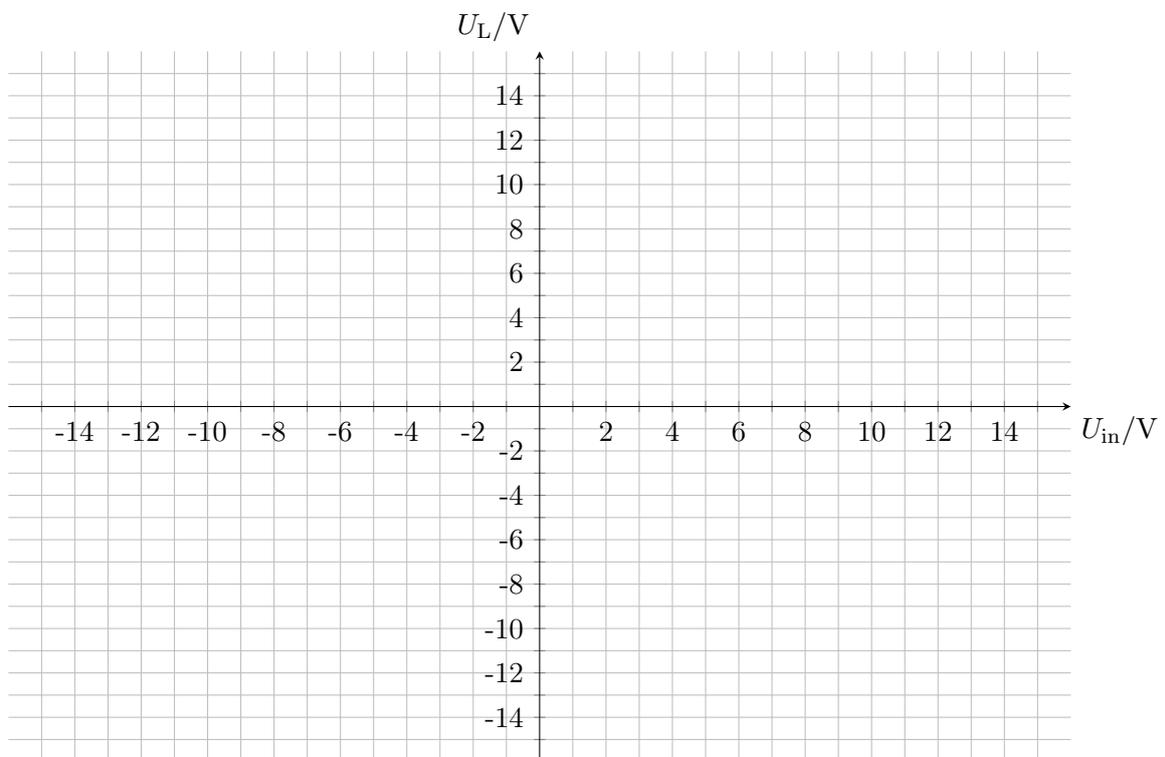


Abbildung 1.4: Diagramm für d) und h) (Reserve)

## 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  $5 \text{ V}$ . Die Kondensatoren seien ideal,  $C \rightarrow \infty$ .

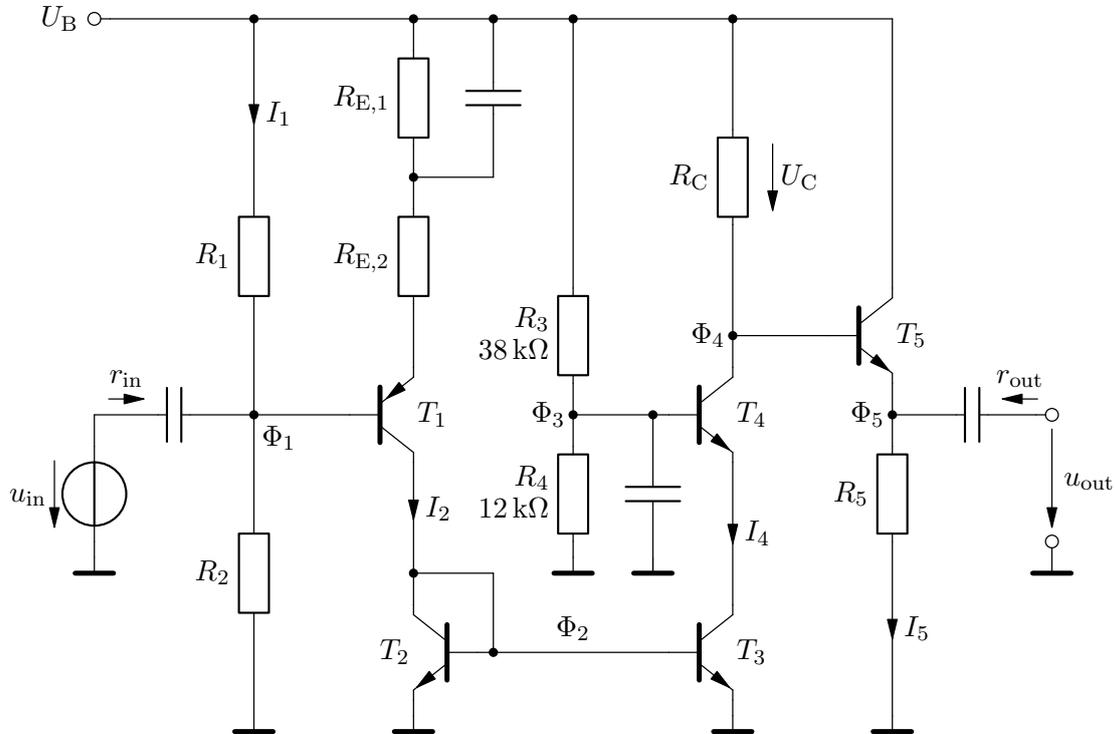


Abbildung 2.1

- 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  $\Phi_2$  und  $I_4$ ?
- 1 e) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_3$ .
- 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 Stromsteilheit 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.

A2/

a)  $T_1$ : Emitterschaltung

$T_4$ : Basisschaltung

$T_5$ : Kollektorschaltung

b)  $R_1 = \frac{U_B - \Phi_1}{I_1} = \frac{5V - 2V}{700\mu A} = 30k\Omega$

$R_2 = \frac{\Phi_1}{I_1} = \frac{2V}{700\mu A} = 20k\Omega$

c)  $R_E = \frac{U_B - (\Phi_1 - U_{BE,1})}{I_2} = \frac{5V - (2V - (-0,6V))}{1mA} = 2,4k\Omega$

d) Stromspiegel

$\Phi_2 = 0,6V$

$I_4 = I_2 = 1mA$

e)  $\Phi_3 = U_B \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 5V \cdot \frac{12k\Omega}{38k\Omega + 12k\Omega} = 1,2V$

f)  $R_C = \frac{U_B - \Phi_4}{I_4} = \frac{5V - 2,6V}{1mA} = 2,4k\Omega$

$R_5 = \frac{\Phi_4 - U_{BE}}{I_5} = \frac{2,6V - 0,6V}{5mA} = 400\Omega$

g)  $i_2 = -g_m' \cdot U_{BE} \quad | \quad g_m' \approx \frac{1}{R_{E,2}}, \quad U_{BE} = U_{in}$   
 $= -\frac{1}{R_{E,2}} \cdot U_{in}$

$\frac{i_2}{U_{in}} = -\frac{1}{R_{E,2}}$

h)  $i_4 / i_2 = 1$

i)  $\frac{U_C}{i_4} = R_C$

j)  $\frac{U_{out}}{U_C} = -1$

k)  $\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{U_{out}}{U_C} \cdot \frac{U_C}{i_4} \cdot \frac{i_4}{i_2} \cdot \frac{i_2}{U_{in}}$   
 $= -1 \cdot R_C \cdot \frac{1}{R_{E,2}} \stackrel{!}{=} 10$

$\Rightarrow R_{E,2} = R_C \cdot \frac{1}{10} = 240\Omega$

$R_{E,1} = R_E - R_{E,2} = 2160\Omega$

l)  $r_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{BE} + \beta \cdot R_{E,2}) = R_1 \parallel R_2$   
 $= \frac{30k\Omega \cdot 20k\Omega}{30k\Omega + 20k\Omega} = 12k\Omega$

$r_{out} = R_5 \parallel \left( \frac{r_{BE}}{\beta} + \frac{R_C}{\beta} \right) = R_5 \parallel \frac{1}{g_{m5}} \quad | \quad \frac{1}{g_{m5}} = \frac{U_T}{I_5} = \frac{25mV}{5mA} = 5\Omega$   
 $= 400\Omega \parallel 5\Omega \approx 5\Omega$

### 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  $I_{in} \geq 0$ .

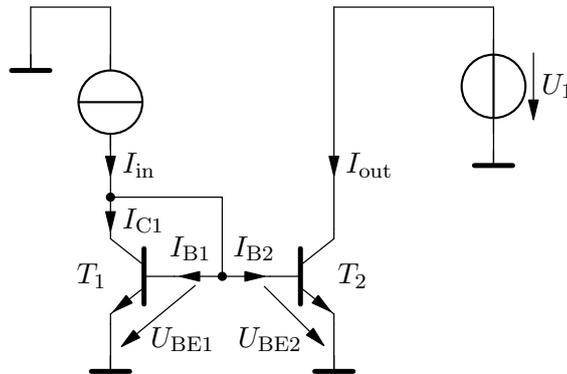


Abbildung 3.1: Transistorschaltung 1

- 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.

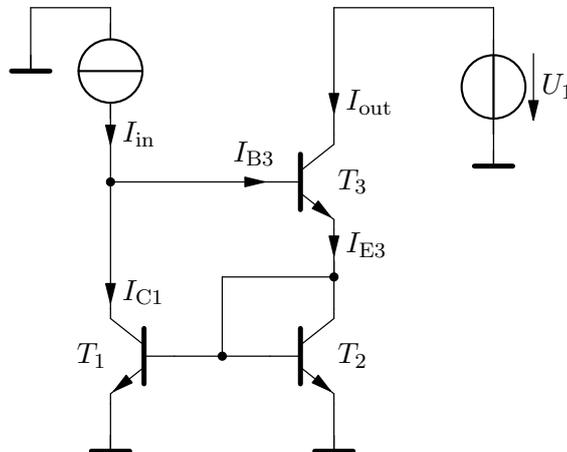


Abbildung 3.2: Transistorschaltung 2

- 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  $U_A \rightarrow \infty$ .

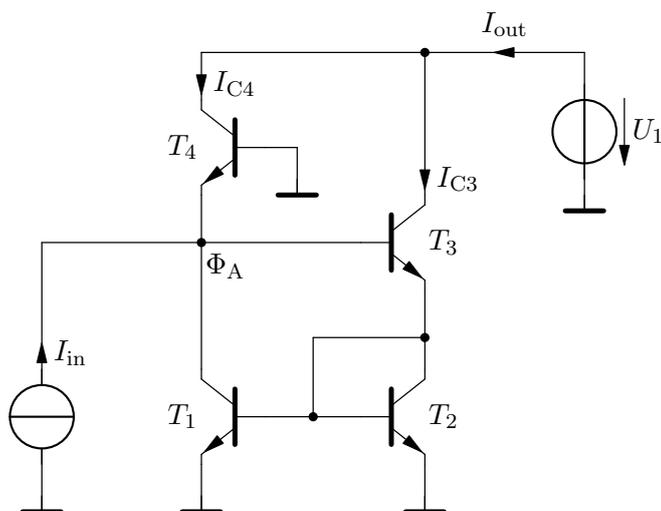


Abbildung 3.3: Transistorschaltung 3

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

1 k) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_A$ .

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  $\Phi_A$ .

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.

A3/

a)  $I_{B2} = \frac{I_{out}}{\beta}$

$$U_{BE,1} = U_{BE,2}$$

b)  $I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_{out}}{\beta}$

$$I_{C1} = I_{B2} \cdot \beta = I_{out}$$

c)  $I_{in} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} = I_{out} + 2 \cdot \frac{I_{out}}{\beta} = I_{out} \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) = I_{out} \cdot \frac{\beta + 2}{\beta}$

$$I_{out} = I_{in} \cdot \frac{\beta}{\beta + 2}$$

d) Stromspiegel

e)  $I_{E3} = I_{out} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta}$

f)  $I_{C1} = I_{E3} \cdot \frac{\beta}{\beta + 2} = I_{out} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot \frac{\beta}{\beta + 2} = I_{out} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta + 2}$

g)  $I_{B3} = \frac{I_{out}}{\beta}$

h)  $I_{in} = I_{C1} + I_{B3} = I_{out} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta + 2} + \frac{I_{out}}{\beta} = I_{out} \cdot \left(\frac{\beta^2 + \beta + \beta + 2}{\beta^2 + 2\beta}\right) = I_{out} \cdot \frac{\beta^2 + 2\beta + 2}{\beta^2 + 2\beta}$

$$I_{out} = I_{in} \cdot \frac{\beta^2 + 2\beta}{\beta^2 + 2\beta + 2}$$

i) Wilson - Stromspiegel

j)  $\frac{I_{out}}{I_{in}} = 1$

k)  $\Phi_A = 2 U_{BE} = 1,2V$

l)  $I_{C3} = I_{in}$

$$I_{C4} = 0$$

m)  $I_{out} = I_{C3} = I_{in}$

n)  $\Phi_A = -U_{BE} = -0,6V$

o)  $I_{C3} = 0$

$$I_{C4} = -I_{in}$$

p)  $I_{out} = I_{C4} = -I_{in}$

q) s. Diagramm

r) Stromgleichrichter

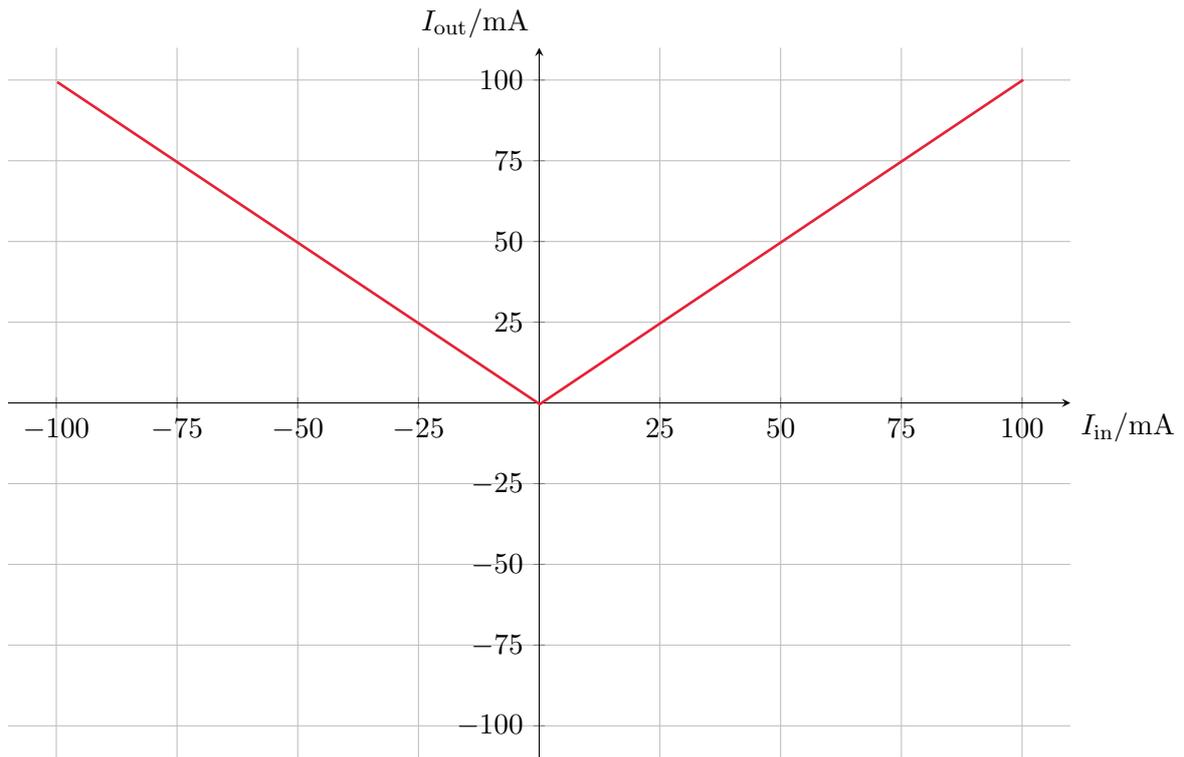


Abbildung 3.4: Diagramm für q)

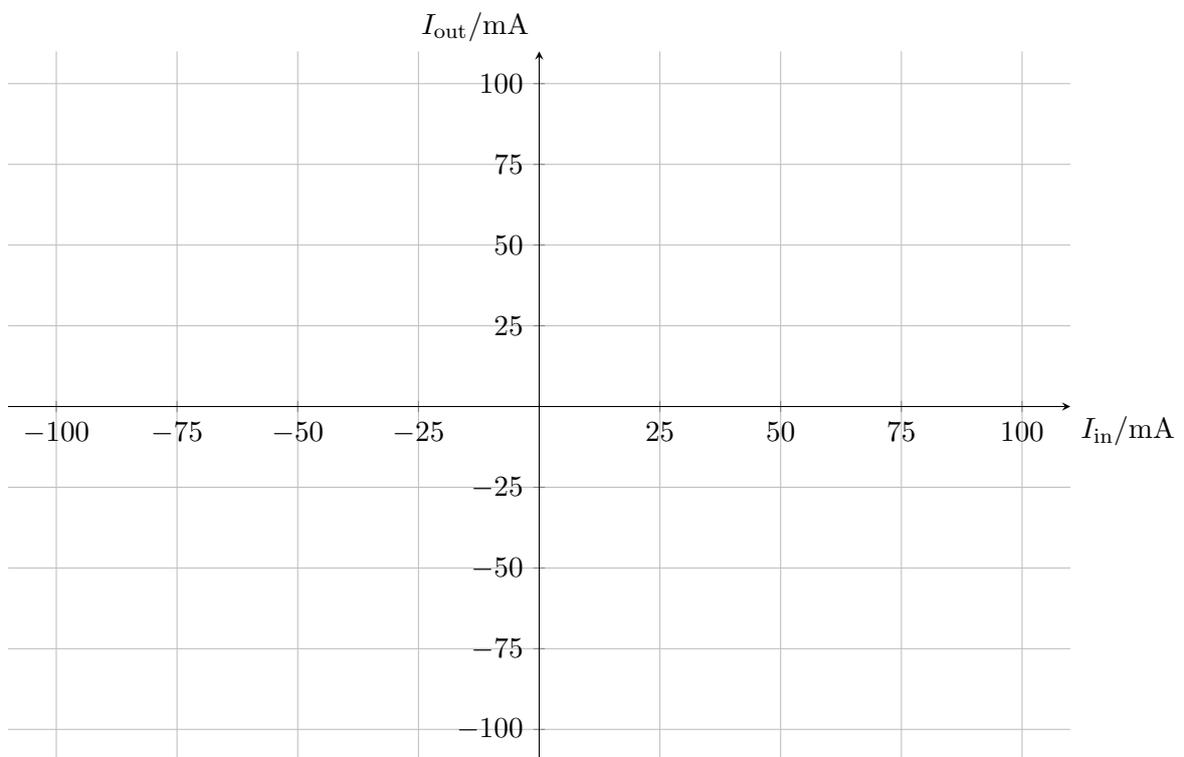


Abbildung 3.5: Reserve

### Aufgabe 4: (17 Punkte)

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

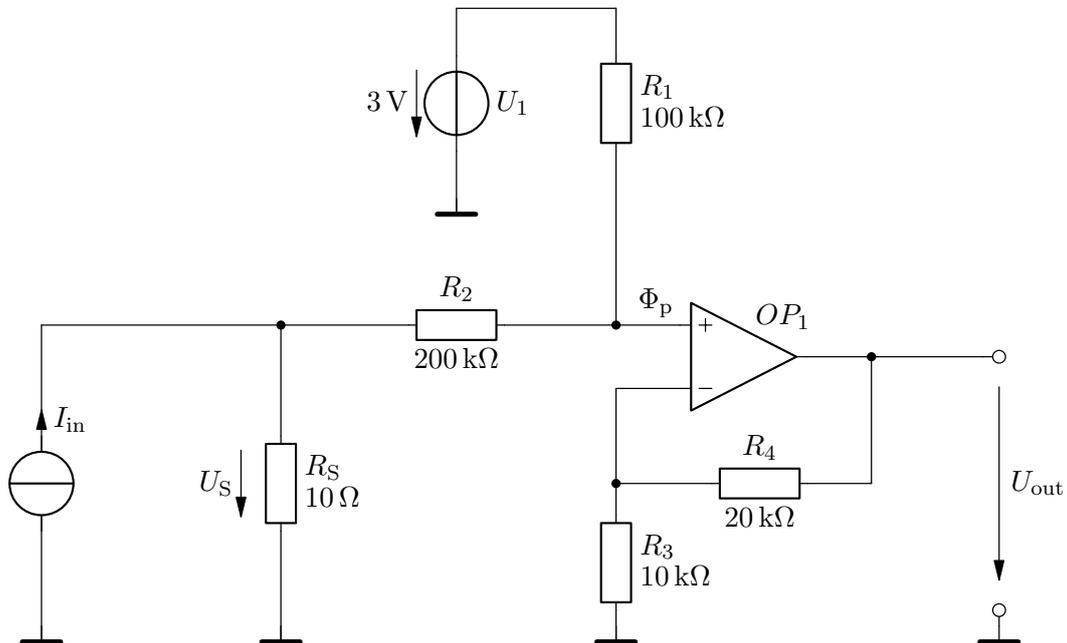


Abbildung 4.1

- 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  $\Phi_p$  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  $\Phi_p$  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  $\Phi_p$  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.

A4/

a)  $U_s = I_{in} \cdot R_s$ , da  $R_s \ll R_2$

b) Superposition:

$$\underline{U_s = 0}: \Phi_{P1} = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\underline{U_1 = 0}: \Phi_{P2} = U_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\underline{\text{Ges:}} \quad \Phi_p = \Phi_{P1} + \Phi_{P2} = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Alternativ: Spannungsteiler

$$\Phi_p = U_s + (U_1 - U_s) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

c)  $U_s = 0$

d)  $\Phi_p = 3V \cdot \frac{200\Omega}{200\Omega + 100\Omega} + 0 = 2V$

e) Nicht-invertierender Verstärker

f)  $U_{out} = \Phi_p \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 2V \cdot \left(1 + \frac{200\Omega}{100\Omega}\right) = 6V$

g)  $U_s = 300\mu A \cdot 10\Omega = 3V$

h)  $\Phi_p = 3V \cdot \frac{2}{3} + 3V \cdot \frac{1}{3} = 3V$

i)  $U_{out} = \Phi_p \cdot 3 = 3V \cdot 3 = 9V$

j)  $U_s = -300\mu A \cdot 10\Omega = -3V$

k)  $\Phi_p = 3V \cdot \frac{2}{3} + (-3V \cdot \frac{1}{3}) = 1V$

l)  $U_{out} = 1V \cdot 3 = 3V$

m)  $R_1 = R_2$  z.B.  $R_1 = R_2 = 100\Omega$

### 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  $U_F = 0,6\text{ V}$ .

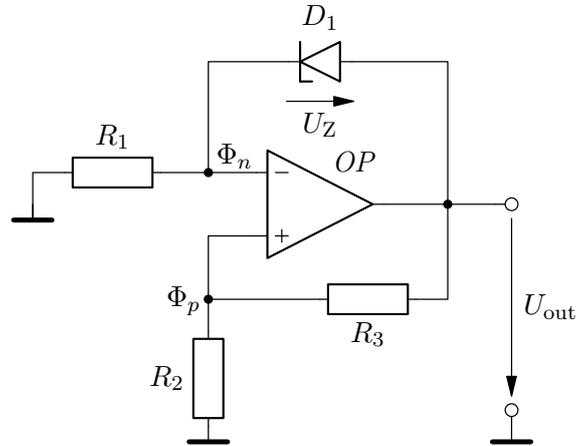


Abbildung 5.1

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

- 1 a) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_p$  in Abhängigkeit von  $U_{\text{out}}$ .
- 1 b) Bestimmen Sie das Potential  $\Phi_n$  in Abhängigkeit von  $U_{\text{out}}$  und  $U_Z$ .
- 2 c) Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}} = f(R_1, R_2, R_3, U_Z)$ .
- 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  $U_{\text{out}} = -10\text{ V}$  ergibt.

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

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

A5

a)  $\phi_p = U_{out} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$

b)  $\phi_n = U_{out} + U_z$

c) OP gegengekoppelt  $\Rightarrow \phi_p = \phi_n$

$$U_{out} + U_z = U_{out} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$U_{out} \cdot \left(1 - \frac{R_2}{R_2 + R_3}\right) = -U_z$$

$$U_{out} = -U_z \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

d) Referenzspannungsquelle

e)  $-10V \stackrel{!}{=} -5V \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_3}$

$$\Leftrightarrow \frac{R_2 + R_3}{R_3} \stackrel{!}{=} 2$$

$$\Leftrightarrow R_3 = R_2 \quad \text{z.B. } R_2 = R_3 = 10k\Omega$$

$$R_1 \text{ beliebig} \quad \text{z.B. } R_1 = 10k\Omega$$

f)  $\phi_p = U_{out} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$

g)  $\phi_n = U_{out} - U_F$

h) OP gegengekoppelt  $\Rightarrow \phi_p = \phi_n$

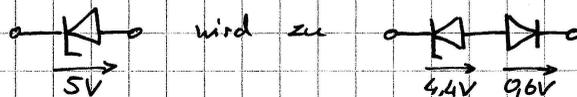
$$U_{out} - U_F = U_{out} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$U_{out} \cdot \left(1 - \frac{R_2}{R_2 + R_3}\right) = U_F$$

$$U_{out} = U_F \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

i) 1. Versorgungsspannung von 0...15V statt -15V...+15V

2. Antiseriell zu  $D_1$  weitere Diode,  $D_2$  dann mit  $U_z = 4,4V$



## 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  $15 \text{ V}$ . Der Operationsverstärker wird mit  $\pm U_B$  versorgt. Gehen Sie davon aus, dass der Operationsverstärker gegengekoppelt ist.

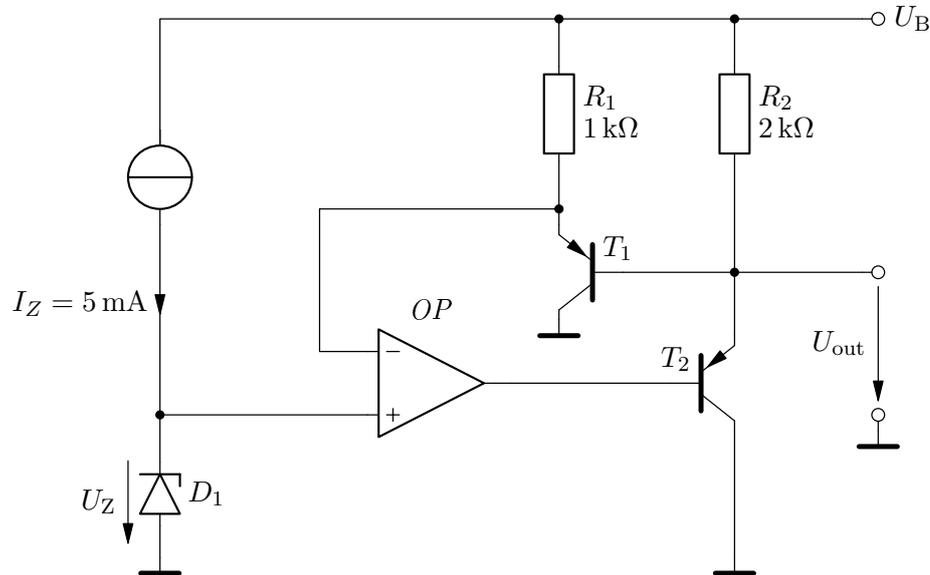


Abbildung 6.1

- 1 a) Bestimmen Sie in allgemeiner Form das Potential  $\Phi_p$  am negativen Eingang des Operationsverstärkers.
- 1 b) Bestimmen Sie in allgemeiner Form das Potential  $\Phi_n$  am positiven 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  $1,8 \text{ V}$  betragen. Wählen Sie eine geeignete Zenerdiode aus dem beigefügten Datenblatt (Abb. 6.2) aus.
- 3 f) Bestimmen Sie  $\frac{dU_{out}}{dT}$ .  
*Hinweis: Verwenden Sie für die Temperaturabhängigkeit von  $D_1$  einen geeigneten Wert aus dem Datenblatt in Abbildung 6.2 sowie einen Ihnen bekannten Zusammenhang zwischen  $U_{EB}$  und der Temperatur.*

TDZxxxJ	Working voltage $V_Z$ (V)		Differential resistance $r_{\text{dif}}$ ( $\Omega$ )		Reverse current $I_R$ ( $\mu\text{A}$ )		Temperature coefficient $S_Z$ (mV/K)	Diode capacitance $C_d$ (pF) <sup>[1]</sup>	Non-repetitive peak reverse current $I_{ZSM}$ (A) <sup>[2]</sup>
	$I_Z = 5 \text{ mA}$		$I_Z = 1 \text{ mA}$	$I_Z = 5 \text{ mA}$	Max	$V_R$ (V)	$I_Z = 5 \text{ mA}$		
	Min	Max	Max	Max			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 in allgemeiner Form das Potential  $\Phi_{E1}$  am Emmitter von  $T_1$ .
- 2 h) Dimensionieren Sie  $R_4$  so, dass sich 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?

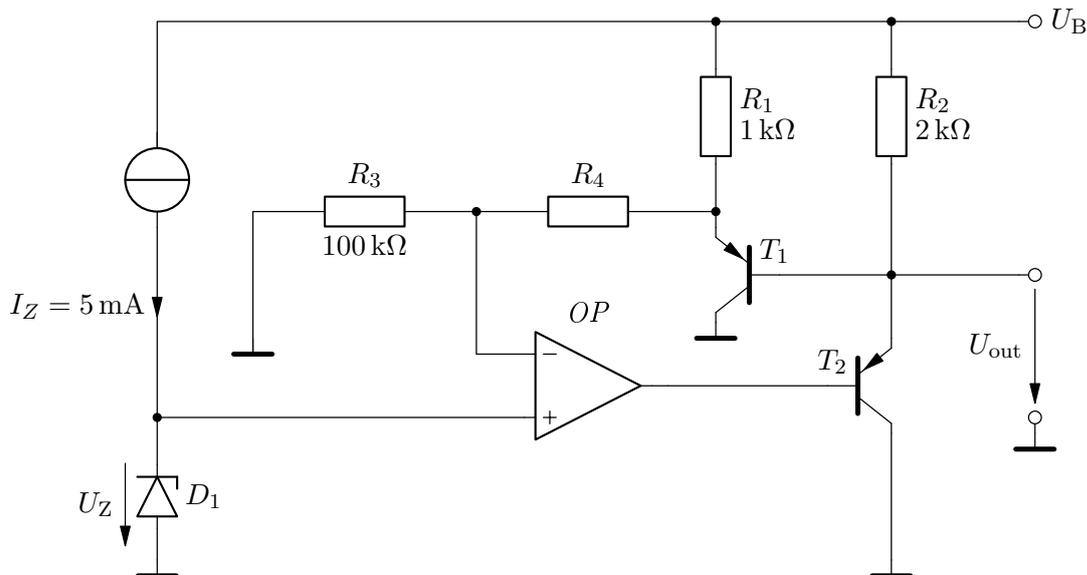


Abbildung 6.3

A6/

a)  $\Phi_p = U_z$

b)  $\Phi_n = \Phi_p = U_z$

c)  $U_{out} = \Phi_p - U_{EB} = U_z - U_{EB}$

d) Spannungsreferenz

e)  $U_z = U_{out} + U_{EB} = 1,8V + 0,6V = 2,4V$

$\Rightarrow TDZ 2V4J$

f)  $\frac{dU_{out}}{dT} = \frac{dU_z}{dT} - \frac{dU_{EB}}{dT} = -1,75 \frac{mV}{K} - (-2 \frac{mV}{K}) = +0,25 \frac{mV}{K}$

g)  $\Phi_{E1} = U_z \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$

h)  $U_{out} = \Phi_{E1} - 0,6V$

$$U_{out} + 0,6V = U_z \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

$$U_{out} + 0,6V - U_z = \frac{R_4}{R_3} \cdot U_z$$

$$1,2V = 2,4V \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

$$R_4 = \frac{1,2V}{2,4V} \cdot 100k\Omega = 50k\Omega$$

i)  $U_{out} = U_z \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - U_{EB}$

$$\frac{dU_{out}}{dT} = \frac{dU_z}{dT} \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - \frac{dU_{EB}}{dT}$$

$$= -1,75 \frac{mV}{K} \left(1 + \frac{50k\Omega}{100k\Omega}\right) - (-2 \frac{mV}{K})$$

$$= -2,625 \frac{mV}{K} + 2 \frac{mV}{K}$$

$$= -0,625 \frac{mV}{K}$$

Die Widerstände  $R_3$  und  $R_4$  erhöhen den Einfluss der Zenerspannung auf das Temperaturverhalten.

## 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  $\Phi_W$ . Wird der Magnetsensor von einem magnetischen Fluss  $\Phi_L$  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.

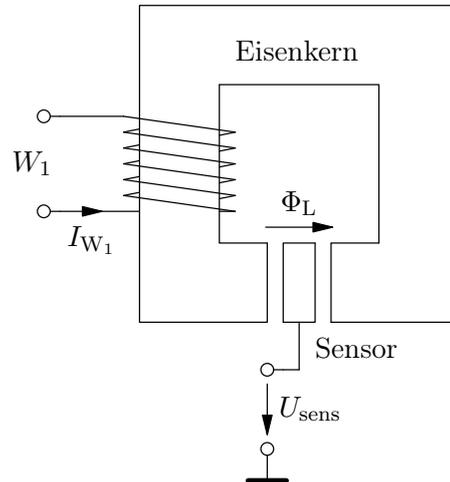


Abbildung 7.1: Einfache Messschaltung

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

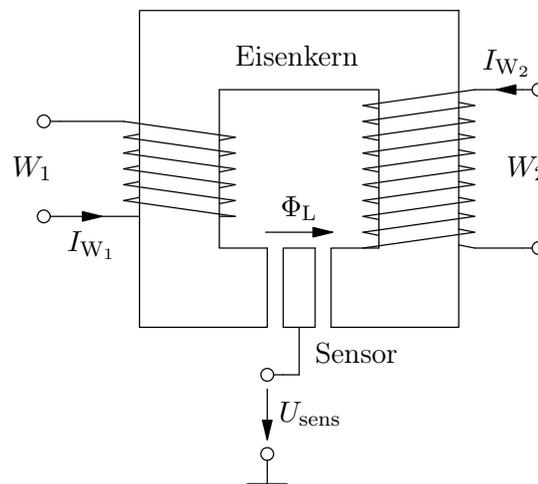


Abbildung 7.2: Ergänzte Messschaltung

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  $\Phi_{W_2}$  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  $I_{W_2}$ .

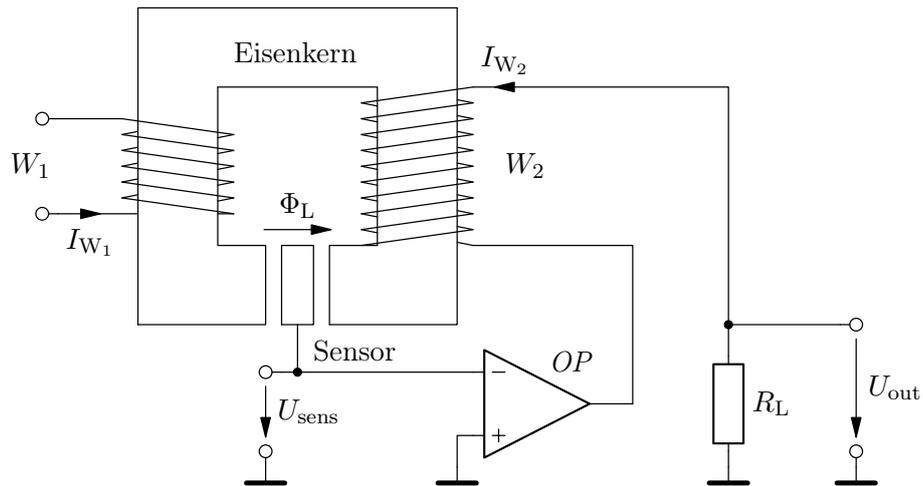


Abbildung 7.3: Verbesserte Messschaltung

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.

## A7/

a) s. Abb. 7.1

b) s. Abb. 7.2

$$c) U_{\text{sens},1} = N_1 \cdot I_{w1} \cdot k_s$$

$$U_{\text{sens},2} = -N_2 \cdot I_{w2} \cdot k_s$$

$$U_{\text{sens}} = U_{\text{sens},1} + U_{\text{sens},2} = (N_1 \cdot I_{w1} - N_2 \cdot I_{w2}) \cdot k_s$$

$$d) U_{\text{sens}} = 0$$

$$e) 0 \stackrel{!}{=} (N_1 \cdot I_{w1} - N_2 \cdot I_{w2}) \cdot k_s$$

$$I_{w1} \cdot N_1 = I_{w2} \cdot N_2$$

$$I_{w2} = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_{w1}$$

$$f) U_{\text{out}} = -I_{w2} \cdot R_L$$

$$g) U_{\text{out}} = -\frac{N_1}{N_2} I_{w1} \cdot R_L$$

$$h) U_{\text{out}} = -\frac{10}{1000} \cdot I_{w1} \cdot R_L = -\frac{1}{100} \cdot R_L \cdot I_{w1}$$

$$\frac{1}{100} \cdot R_L \stackrel{!}{=} 1 \text{ A}$$

$$R_L \stackrel{!}{=} 100 \cdot 1 \text{ A} = 100 \Omega$$

i) Der OP steuert seinen Ausgang so aus, dass  $\Phi_2$ , welcher durch  $I_{w2}$  erzeugt wird,  $\Phi_1$  kompensiert.

j) 1. Wicklungssinn von Wicklung  $W_2$  ändern

2. Zusätzlichen invertierenden Verstärker mit  $v = -1$  am Ausgang

...