

Elektronische Schaltungen SS 2022

5. Tutoriumsblatt

Grundlagen analoger Schaltungstechnik

Infos zur Abgabe

Abgabefrist: **10.07.2022** online über Ilias

Abzugebende Aufgaben: **Aufgabe 2** (Handschriftlich, eingescannt als .pdf)

Aufgabe 4 a)-c) (Handschriftlich, eingescannt als .pdf)

Aufgabe 1 (Gegenkopplung)

Gegeben sei die Schaltung nach Abb. 1 und es gilt: $U_b = 10\text{ V}$, $U_{BE} = 0,7\text{ V}$, $R_F = 174\text{ k}\Omega$, $R_C = 6\text{ k}\Omega$, $R_L = 2,5\text{ k}\Omega$, $B = \beta = 125$. Die Kondensatoren können für Wechselspannungen als Kurzschluss betrachtet werden.

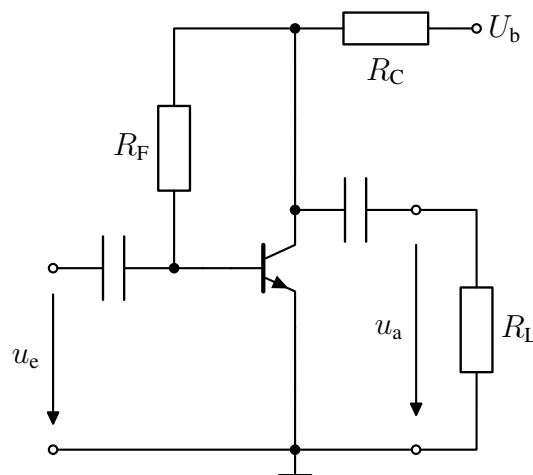


Abbildung 1

- In welcher Grundschaltung wird der Transistor betrieben?
- In welchem Arbeitspunkt (I_B , I_C , U_{CE}) wird die Schaltung betrieben?

c) Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung in Abb. 1.

d) Was ist der Vor- und Nachteil der Schaltung aus Abb. 1?

Für die weiteren Teilaufgaben kann der Early-Effekt, sowie der Strom I_B durch r_{BE} vernachlässigt werden.

e) Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung $A_0 = u_a/u_e$ der Schaltung.

f) Berechnen Sie den Kleinsignal-Eingangswiderstand r_e sowie den Kleinsignal-Ausgangswiderstand r_a der Schaltung mit Hilfe des Miller-Theorems.

Aufgabe 2 (Differenzverstärker)

Gegeben ist eine Transistorschaltung nach Abb. 2. Beide Transistoren haben eine Stromverstärkung von $B = \beta = 440$. Die Widerstände haben die Werte $R_{C1} = R_{C2} = 500 \Omega$ und $R_E = 500 \Omega$. Die Versorgungsspannung beträgt $U_b = \pm 5 \text{ V}$. Im Arbeitspunkt soll für die Basis-Emitter Spannungen $U_{BE,T1} = U_{BE,T2} = 0,84 \text{ V}$ gelten. Für die Temperaturspannung gilt $U_T = 26 \text{ mV}$. Es kann außerdem angenommen werden, dass $I_C \gg I_B$. Der Early-Effekt kann vernachlässigt werden.

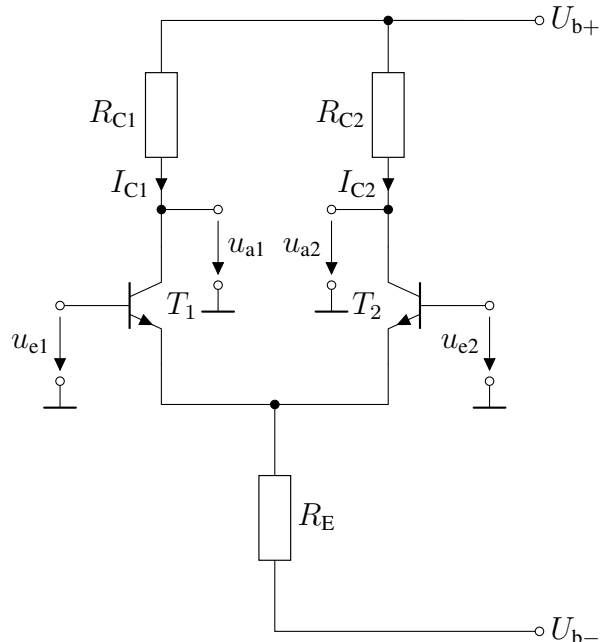


Abbildung 2

- a) Berechnen Sie I_{C1} , I_{C2} , U_{CE1} und U_{CE2} im Arbeitspunkt der beiden Transistoren, wenn gilt: $U_{e1} = U_{e2} = 0 \text{ V}$.
- b) Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für ein Gleichtaktsignal an den Eingängen. Nutzen Sie die Symmetrie-Eigenschaften der Schaltung aus.
- c) Berechnen Sie den Gleichtakt-Eingangswiderstand r_e der Schaltung.
- d) Berechnen Sie die Gleichtakt-Spannungsverstärkung $A_G = u_{a1,2}/u_G$ der Schaltung.
- e) Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für ein Gegentaktsignal an den Eingängen. Nutzen Sie die Symmetrie-Eigenschaften der Schaltung aus.
- f) Berechnen Sie die Gegentakts-Spannungsverstärkung $A_D = u_a/u_D = (u_{a2} - u_{a1})/(u_{e2} - u_{e1})$ der Schaltung.
- g) Berechnen Sie den Gleichtaktunterdrückungsfaktor CMRR der Schaltung.

Aufgabe 3 (Frequenzgang)

Ein Verstärker wird mit einer Signalquelle gespeist, wie in Abb. 3. Die Quelle besitzt ein Innenwiderstand R_g und am Ausgang befindet sich eine Last R_L . Folgende Angaben sind bekannt:

Parameter	Symbol	Wert
Quellenwiderstand	R_g	50Ω
Lastwiderstand	R_L	20Ω
Kleinsignal-Eingangswiderstand des Verstärkers	r_e	$25 \text{ k}\Omega$
Kleinsignal-Spannungsverstärkung	A_0	-20
Serieller Kleinsignal-Ausgangswiderstand des Verstärkers	r_a	1Ω
Gesamte Eingangskapazität	C_e	$15,9 \text{ pF}$
Gesamte Ausgangskapazität	C_a	2 pF

Tabelle 1

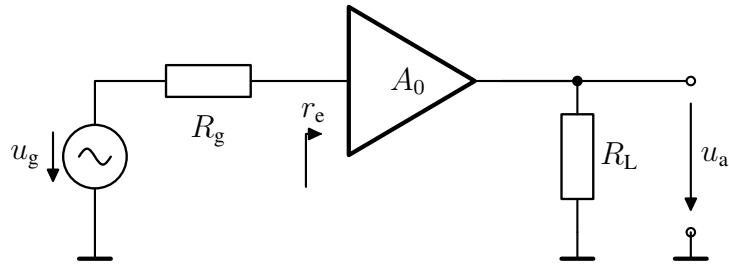


Abbildung 3: Verstärkerschaltung

- a) Zeichnen Sie das vollständige Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung.
- b) Finden Sie die Betriebsspannungsverstärkung der gesamten Schaltung $A_{\text{ges}} = u_a/u_g$ für niedrige Frequenzen, sowie die Eingangs- und Ausgangspolstelle.
Hinweis: Die Herleitung kann evtl. durch die Umwandlung der Spannungsquellen in äquivalente Stromquellen vereinfacht werden.
- c) Skizzieren Sie den Betrag der Betriebsspannungsverstärkung in ein Bode-Diagramm.
- d) Die Schaltung wird nun über einen Widerstand $R_F = 200 \, \Omega$ rückgekoppelt (siehe Abb. 4). Ergänzen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild und vereinfachen Sie dieses mithilfe des Miller-Theorems.

Hinweis: Es kann angenommen werden, dass $u_a/u_e \gg 1$.

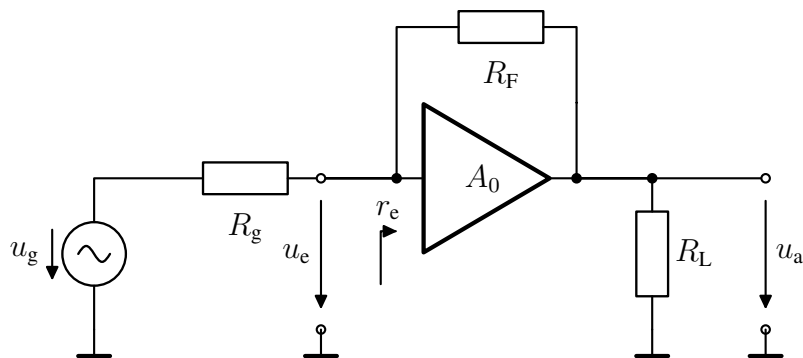


Abbildung 4: Verstärkerschaltung mit Rückkopplung

- e) Wie ändern sich die Polstellen? Skizzieren Sie erneut den Betrag der Betriebsspannungsverstärkung in ein Bode-Diagramm.

Aufgabe 4 (Operationsverstärker 741)

Nachdem nun die meisten grundlegenden Schaltungsblöcke der analogen Schaltungstechnik behandelt wurden, soll zum Abschluss eine sehr weit verbreitete Schaltung, der Operationsverstärker 741, analysiert und berechnet werden. Eine vereinfachte Form¹ des OpAmp 741 ist in Abb. 5 gegeben. Die folgenden Werte sind gegeben: $\beta_{\text{nnp}} = 200$, $\beta_{\text{pnp}} = 20$, $|U_{\text{A,nnp}}| = 100 \text{ V}$, $|U_{\text{A,pnp}}| = 50 \text{ V}$, $U_{\text{T}} = 26 \text{ mV}$, $U_{\text{BE}} = 0,7 \text{ V}$, $r_{\text{CE},11} = 50 \text{ k}\Omega$, $r_{\text{CE},12} = 100 \text{ M}\Omega$. Außerdem kann angenommen werden, dass $U_{\text{A}} \gg U_{\text{CE}}$ und $I_{\text{C}} \gg I_{\text{B}}$ gilt. Am Ausgang des OpAmps ist eine Last von $R_{\text{L}} = 100 \Omega$ angeschlossen, durch die ein Strom von $I_{\text{L}} = 25 \text{ mA}$ fließen soll.

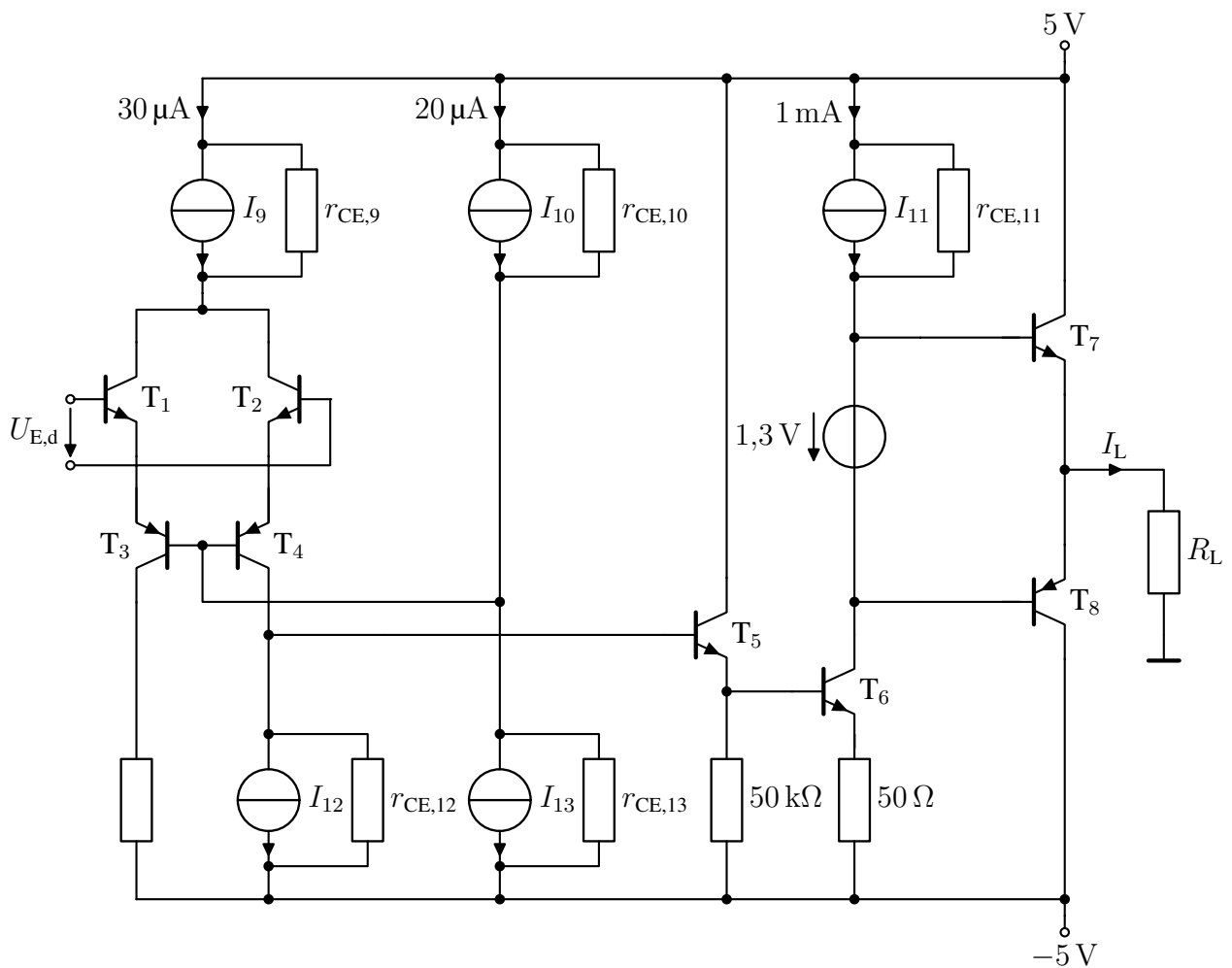


Abbildung 5

- a)** Was sind die drei Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers?

¹Für die vereinfachte Form wurde die Arbeitspunkteinstellung idealisiert, die aktiven Lasten vereinfacht und die Schutzschaltungen weggelassen.

- b) Der OpAmp 741 besteht aus fünf Stufen. Geben Sie an aus welchen Transistoren die jeweiligen Stufen bestehen und in welcher Grundschaltung die Transistoren betrieben werden.
- c) Berechnen Sie den Gegentakt-Eingangswiderstand $r_{e,D}$ des OpAmps 741.
- d) Nun soll die Gegentakt-Spannungsverstärkung des OpAmps 741 berechnet werden. Berechnen Sie hierzu zuerst die Einzelverstärkungen der fünf Stufen und im Anschluss die Gesamtverstärkung. Es kann angenommen werden, dass der Eingangswiderstand der letzten Stufe unendlich groß ist.
- e) Berechnen Sie den Gegentakt-Ausgangswiderstand $r_{a,D}$ des OpAmps 741. Gehen Sie davon aus, dass immer nur einer der beiden Transistoren T_7 und T_8 leitet.

– Zusatz –

Aufgabe 5 (Konstantstromquelle)

Gegeben ist die Schaltung einer Konstantstromquelle nach Abbildung 6. Die Bauelemente haben folgende Daten:

$$T_1: B = \beta = 400, U_{BE} = 0,7 \text{ V}, |U_A| = 300 \text{ V}, U_{CE,A} = 3 \text{ V};$$

$$D_1: U_D = 0,7 \text{ V bei } I_D = I_B; R_E = 1 \text{ k}\Omega, U_b = 15 \text{ V}.$$

Mit der Stromquelle soll ein konstanter Strom $I_a = 2 \text{ mA}$ eingestellt werden.

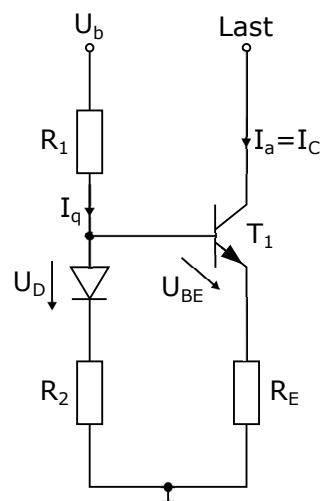


Abbildung 6

- a) Berechnen Sie die den Strom I_q und die Werte der Widerstände R_1 und R_2 .

b) Berechnen Sie den Kleinsignal-Ausgangswiderstand $r_a = \frac{u_a}{i_a} \big|_{u_e=0}$ der Konstantstromquelle im Arbeitspunkt. Zeichnen Sie hierfür das Kleinsignalersatzschaltbild für $u_e = 0$ und lösen Sie die zugehörigen Maschen- und Knotengleichungen.

c) Welche Aufgabe hat die Diode D_1 in der Schaltung?