

Elektronische Schaltungen SS 2021

5. Übungsblatt

Verstärkerschaltungen

Aufgabe 1 (Einfache Verstärkerstufe)

Gegeben sei die Schaltung nach Abbildung 1 und es gilt $U_b = 15\text{ V}$, $R_{B2} = 50\text{ k}\Omega$, $R_E = 1,1\text{ k}\Omega$. Der Transistor soll im Arbeitspunkt von $U_{BE} = 0,7\text{ V}$, $I_C = 2\text{ mA}$ und $U_{CE} = 5\text{ V}$ betrieben werden. Für die Temperaturspannung gilt $U_T = 26\text{ mV}$ und die Stromverstärkung beträgt $B = \beta = 290$. Es können außerdem die folgenden Annahmen getroffen werden: Die Kondensatoren können für Wechselspannungen als Kurzschluss betrachtet werden, der Early Effekt kann vernachlässigt werden, $I_B \ll I_q$ und $I_C \gg I_B$.

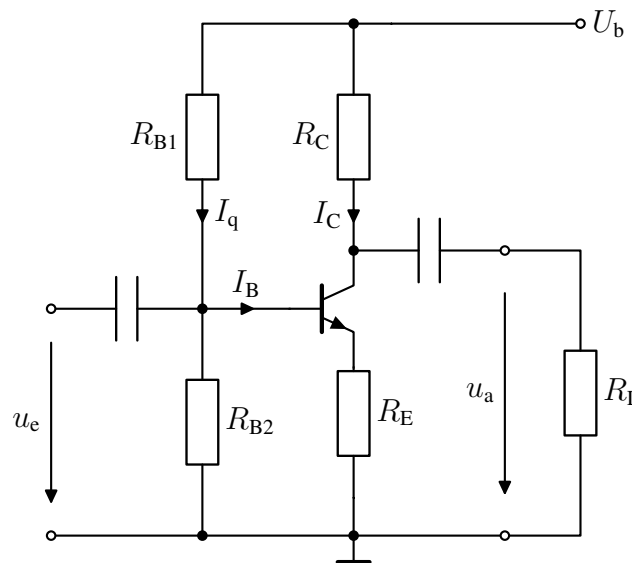


Abbildung 1

- In welcher Grundschaltung wird der Transistor betrieben?
- Berechnen Sie die Widerstandswert für R_{B1} und R_C , damit der Transistor im gegebenen Arbeitspunkt betrieben werden kann.

- c) Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung in Abbildung 1.
- d) Berechnen Sie den Kleinsignal Eingangswiderstand r_e der Schaltung.
- e) Berechnen Sie jeweils den Kleinsignal Ausgangswiderstand r_a und die Kleinsignal-Spannungsverstärkung A der Schaltung für 1) $R_L = \infty$ und 2) $R_L = 3,9 \text{ k}\Omega$.
- f) Was sind die Vor- und Nachteile der Schaltung aus Abbildung 1?

Aufgabe 2 (Frequenzverhalten von Verstärkerschaltungen)

Teil 1: Emitterschaltung

Gegeben ist die Emitterschaltung in Abb. 2. Der Transistor soll im Arbeitspunkt von $U_{BE} = 0,9 \text{ V}$, $U_{CE} = 1,5 \text{ V}$ und $I_C = 2 \text{ mA}$ betrieben werden. Die parasitären Kapazitäten des Transistors betragen $C_{BE} = 3 \text{ pF}$ und $C_{BC} = 500 \text{ fF}$. Die Stromverstärkung beträgt $B = \beta = 250$. Die Versorgungsspannung beträgt $U_{cc} = 1,9 \text{ V}$ und es gilt $R_C = R_L = 200 \Omega$, sowie $R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega$. Die eingesetzte Spannungsquelle u_g besitzt einen Innenwiderstand von $R_g = 10 \Omega$.

Außerdem gilt für die Temperaturspannung $U_T = 26 \text{ mV}$ und der Early-Effekt kann vernachlässigt werden. Die Koppelkondensatoren können für Wechselspannungen als Kurzschluss betrachtet werden.

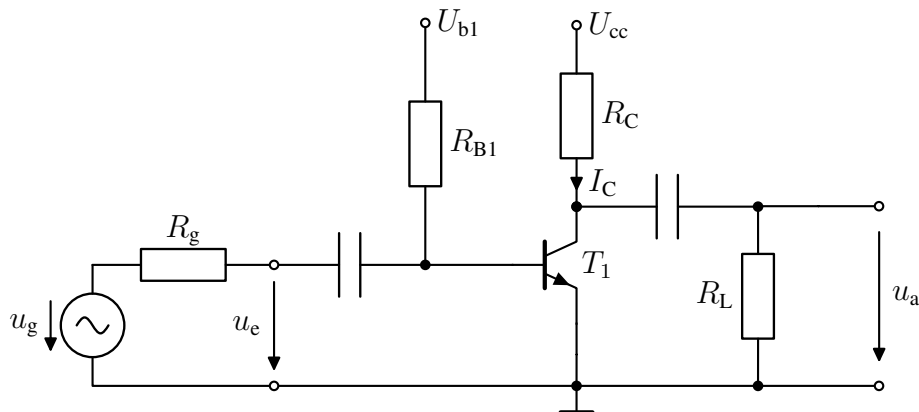


Abbildung 2

- a) Zeichnen Sie das vollständige Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Emitterschaltung aus Abb. 2.
- b) Geben Sie die Niederfrequenz-Betriebsspannungsverstärkung $A_{B0} = \frac{u_a}{u_g}$ der Schaltung aus Abb. 2 an.

- c) Berechnen Sie mit Hilfe des Miller Theorems die Ein- und Ausgangskapazität der Emitterschaltung und zeichnen Sie das resultierende, vereinfachte Kleinsignal-Ersatzschaltbild.
- d) Skizzieren Sie den Betrag der Betriebsspannungsverstärkung für die gegebene Emitterschaltung. Berechnen Sie hierfür die 3 dB-Grenzfrequenz und nehmen Sie dafür an, dass diese von der Eingangskapazität dominiert wird.
- e) Beschreiben Sie kurz in Worten, wodurch die Bandbreite einer Emitterschaltung für hohe Frequenzen begrenzt wird.

Teil 2: Zweistufiger Verstärker aus Emitter- und Basisschaltung

Nun soll der Transistor T_1 in Emitterschaltung mit einem Transistor T_2 in Basisschaltung wie in Abb. 3 erweitert werden. Für T_1 und T_2 werden die gleichen Transistoren verwendet. Der Arbeitspunkt von T_1 (U_{BE} , U_{CE} , I_C) soll unverändert bleiben. Außerdem soll T_2 im gleichen Arbeitspunkt wie T_1 betrieben werden. Außerdem gilt für $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$ und es kann angenommen werden, dass sowohl I_{B1} als auch I_{B2} gegenüber I_C vernachlässigt werden können.

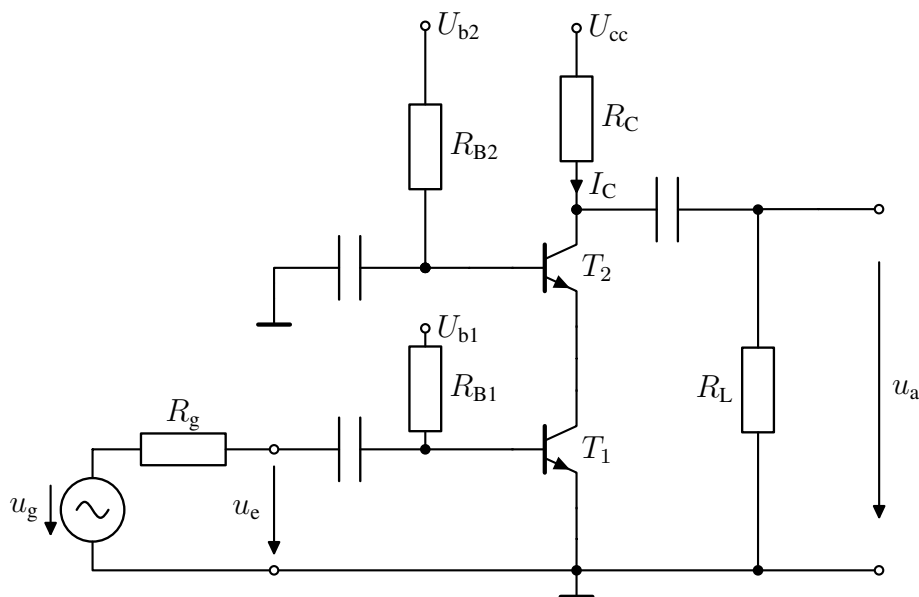


Abbildung 3

- f) Wie wird diese 2-stufige Verstärkerschaltung genannt?
- g) Welche Versorgungsspannungen U_{b2} und U_{cc} müssen angelegt werden, damit der Transistor T_2 im gleichen Arbeitspunkt wie T_1 aus Abb. 2 betrieben wird?

- h)** Zeichnen Sie das vollständige Kleinsignal-ESB der Schaltung aus Abb. 3.
- i)** Berechnen Sie die Niederfrequenz-Betriebsspannungsverstärkung $A_{B0} = \frac{u_a}{u_g}$ der Schaltung aus Abb. 3.
- j)** Berechnen Sie erneut die Eingangskapazität der Schaltung. Welche 3 dB-Bandbreite ergibt sich nun, was fällt Ihnen auf?
- Hinweis:* Es kann angenommen werden, dass die 3 dB-Grenzfrequenz von der Eingangskapazität dominiert wird.

Aufgabe 3 (Differenzverstärker)

Für einen Differenzverstärker mit MOSFETs vom Anreicherungstyp nach Abbildung 4 sollen grundlegende Berechnungen durchgeführt werden. Die Daten der Transistoren sind: $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$, $U_{\text{th}} = 0,5 \text{ V}$, $U_{\text{GS}(T_1, T_2)} = 1,5 \text{ V}$. Die Vorspannung beträgt $U_b = 3,3 \text{ V}$. Der Arbeitspunkt der Transistoren T_1 , T_2 soll bei $U_{\text{DS}} = 2,5 \text{ V}$ und $I_D = 500 \mu\text{A}$ sein, wobei der Early-Effekt für die beiden Transistoren T_1 und T_2 vernachlässigt werden kann.

Im Arbeitspunkt der p-Kanal Transistoren (T_4 , T_5) beträgt die Steigung der Ausgangskennlinie:

$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{\text{DS}}} \right| = \frac{5 \mu\text{A}}{1 \text{ V}} \text{ und die Drain-Source Spannung } |U_{\text{DS,A}}| = 2,3 \text{ V}.$$

Im Arbeitspunkt des n-Kanal Transistors (T_3) beträgt die Steigung der Ausgangskennlinie:

$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{\text{DS}}} \right| = \frac{2 \mu\text{A}}{1 \text{ V}} \text{ und die Drain-Source Spannung } |U_{\text{DS,A}}| = 1,8 \text{ V}.$$

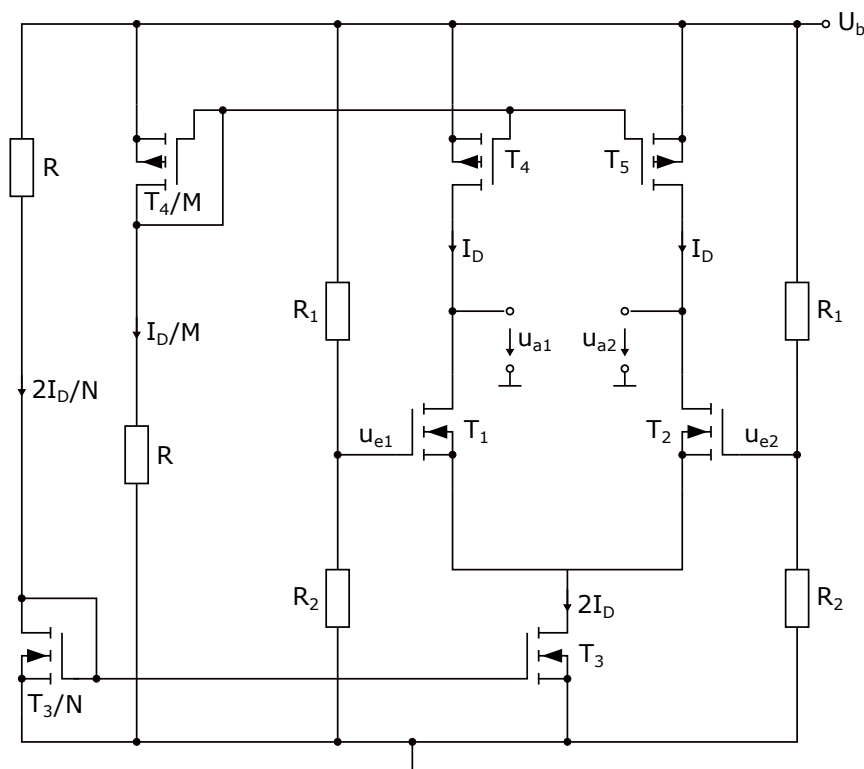


Abbildung 4

- a) Identifizieren Sie das Transistorpaar, das vorrangig die Differenzverstärkung bewirkt. Welche Funktion haben die übrigen Transistoren?

- b)** Berechnen Sie die Spannung U_{a1} und U_{a2} im Arbeitspunkt.
- c)** Berechnen Sie die Steilheit der Transistoren T_1 und T_2 im Arbeitspunkt.
- d)** Berechnen Sie die differentiellen Widerstände r_{DS} der p-Kanal Transistoren T_4 , T_5 und des n-Kanal Transistors T_3 .
- e)** Berechnen Sie die Gegentaktverstärkung der Schaltung.
- f)** Berechnen Sie die Gleichtaktverstärkung der Schaltung.
- g)** Berechnen Sie den Gleichtaktunterdrückungsfaktor (CMRR) der Schaltung.