

## Elektronische Schaltungen SS 2022

### 3. Übungsblatt

#### Bipolartransistoren

#### Aufgabe 1 (Großsignalanalyse - I/U Kennlinie, Arbeitspunkt)

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 1. Die Stromverstärkung des Transistors ist  $B = \beta = 200$  und seine Early-Spannung beträgt  $|U_A| = 50 \text{ V}$ . Die Versorgungsspannung beträgt  $U_b = 4 \text{ V}$ . Der Lastwiderstand beträgt  $R_L = 50 \Omega$  und der Kollektor-Widerstand ist  $R_C = 250 \Omega$ . Die Temperaturspannung beträgt  $U_T = 26 \text{ mV}$ .

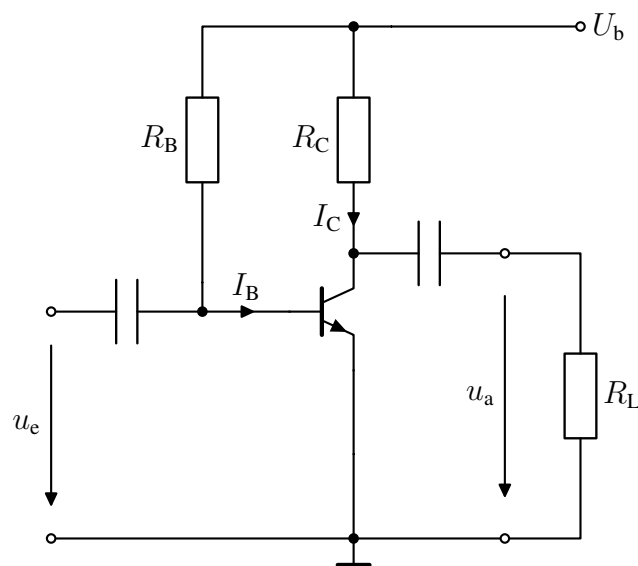
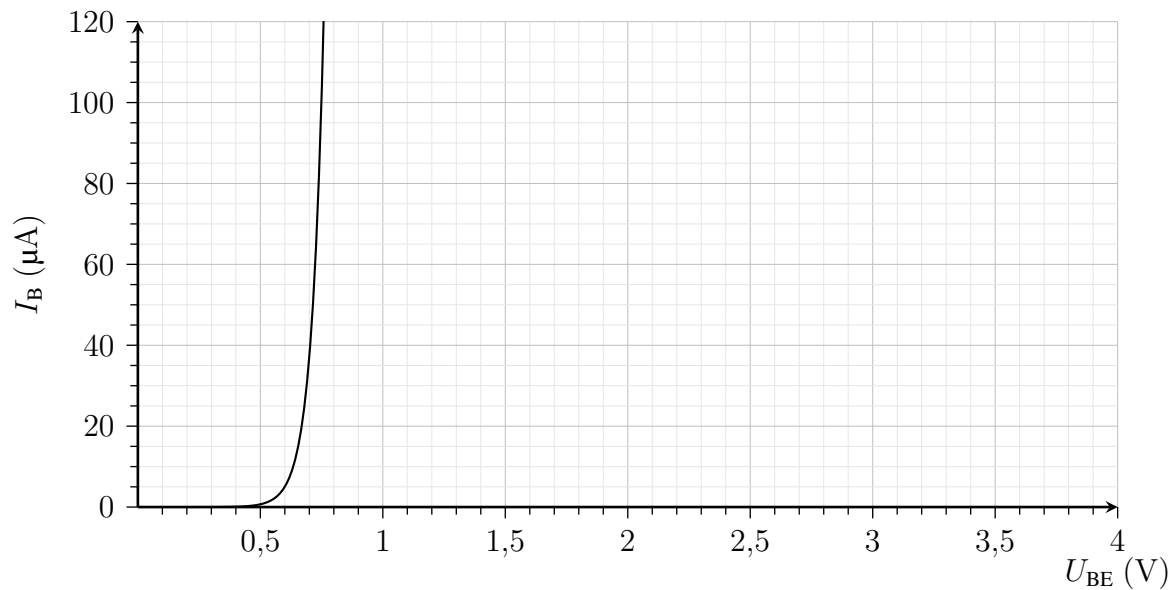


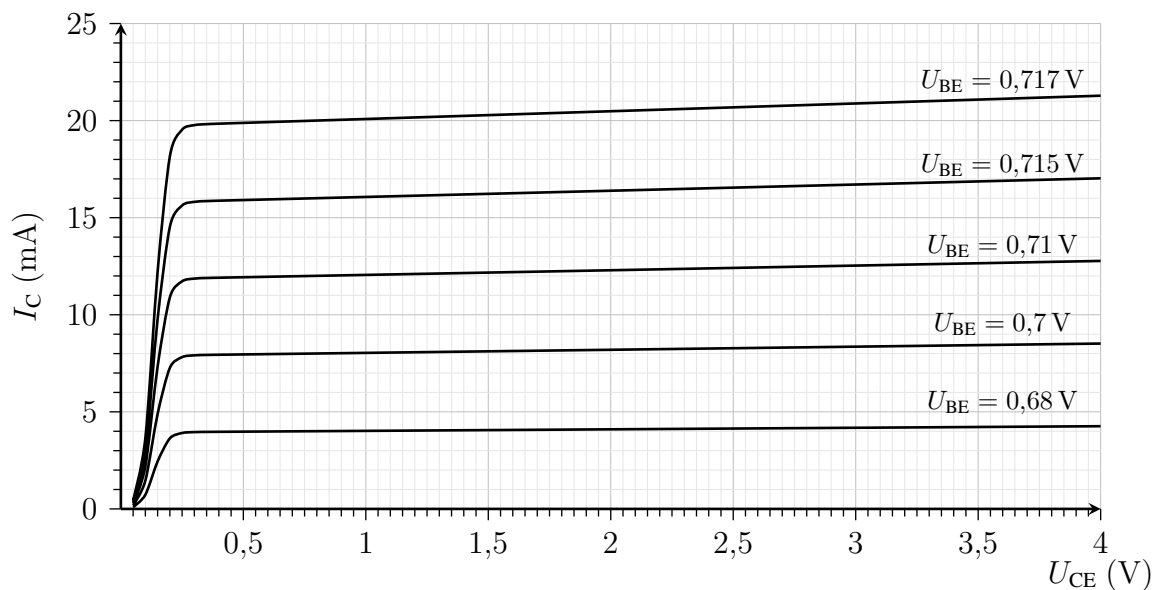
Abbildung 1

- In welcher Grundschaltung wird der Transistor betrieben?
- Die Eingangskennlinie des Transistors ist in Abbildung 2 gegeben. Ermitteln Sie den Widerstand  $R_B$ , mit dem eine Basis-Emitter-Spannung  $U_{BE}$  von  $0,7 \text{ V}$  im Arbeitspunkt eingestellt werden kann. Stellen Sie hierfür eine sinnvolle Widerstandsgerade auf und tragen Sie diese in Abbildung 2 ein.



**Abbildung 2:** Eingangskennlinie des Bipolartransistors in Abbildung 1.

c) Abbildung 3 zeigt das Ausgangskennlinienfeld des Bipolartransistors in Abbildung 1. Zeichnen Sie die entsprechende Lastgerade für den Widerstand  $R_C$  ein und markieren Sie den Arbeitspunkt in Abbildung 3. Welche Spannung  $U_{CE}$  fällt im Arbeitspunkt am Transistor ab?



**Abbildung 3:** Ausgangskennlinienfeld des Bipolartransistors in Abbildung 1.

d) Was ist der Early-Effekt? Woran kann man in Abbildung 3 erkennen, dass Early-Effekt vorhanden ist?

- e) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung? Durch welches Bauteil lässt sich der Early-Effekt im Kleinsignalersatzschaltbild modellieren?
- f) Bestimmen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung der Schaltung.
- g) Bestimmen Sie den Kleinsignal-Eingangs- und -Ausgangswiderstand der Schaltung.

## Aufgabe 2 (Arbeitspunktbestimmung, Kleinsignalanalyse)

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 4. Der Transistor besitzt die folgenden Charakteristiken:  $B = \beta = 250$ ,  $|U_A| = 100 \text{ V}$ . Im Arbeitspunkt fließt ein Strom von  $I_C = 10 \text{ mA}$  und es gilt  $U_{BE} = 0,9 \text{ V}$ . Die Näherung  $I_C \approx I_E$  kann angenommen werden. Die Vorspannung beträgt  $U_b = 5 \text{ V}$ , der Lastwiderstand beträgt  $R_L = 100 \Omega$ . Außerdem gilt  $R_C = 200 \Omega$  und  $U_T = 26 \text{ mV}$ . Falls Vereinfachungen angenommen werden, geben Sie diese an.

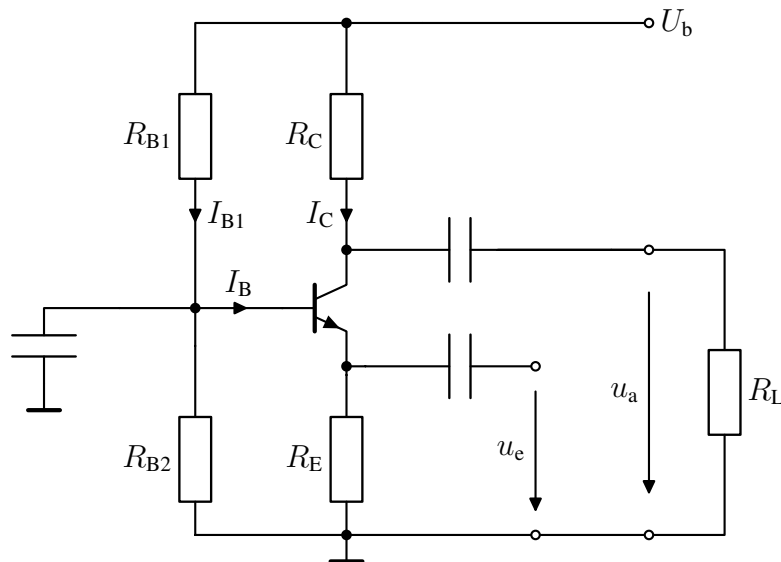


Abbildung 4

- a) In welcher Grundschaltung wird der Transistor betrieben?
- b) Zwischen Kollektor und Emitter soll eine Spannung von  $U_{CE} = 2 \text{ V}$  abfallen. Finden Sie einen passenden Emitter-Widerstand  $R_E$ , um diesen Arbeitspunkt einzustellen.
- c) Die Widerstände  $R_{B1}$  und  $R_{B2}$  sollen so gewählt werden, dass  $I_{B1} = 10I_B$  und dass sich die o.g. Basis-Emitter-Spannung  $U_{BE}$  einstellt. Finden Sie die Widerstände  $R_{B1}$  und  $R_{B2}$ .

d) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung aus Abb. 4.

e) Finden Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $A$  der Schaltung, den Kleinsignal-Eingangswiderstand  $r_e$  und den Kleinsignal-Ausgangswiderstand  $r_a$ . Wie unterscheidet sich diese Schaltung von der in Aufgabe 1? Für diese Teilaufgabe kann der Early-Effekt vernachlässigt werden.

### Aufgabe 3 (Designaufgabe mit LTSpice)

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 5. Am Eingang des Verstärkers werden Frequenzen im Bereich  $10 \text{ kHz} < f_0 \leq 10 \text{ MHz}$  erwartet. Der Innenwiderstand der Signalquelle ist  $R_g = 5 \Omega$ . Das Signal soll um den Faktor  $A_{0,\text{dB}} = 50 \text{ dB}$  verstärkt werden. Der Lastwiderstand beträgt  $R_L = 600 \Omega$ . Im Folgenden soll der Verstärker schrittweise entworfen werden.

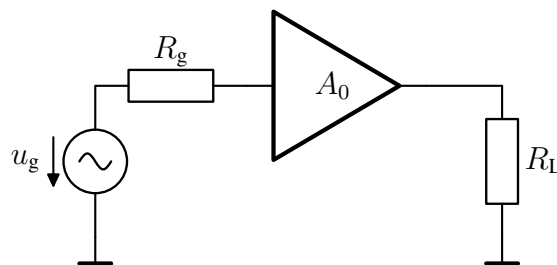


Abbildung 5

Nutzen Sie für die LTSpice Simulation den BC547C Transistor. Die Early-Spannung des Transistors beträgt  $|U_A| = 52,64 \text{ V}$ .

a) Die Signalquelle soll möglichst unbelastet bleiben, sodass ein möglichst großer Anteil der Signalspannung am Eingang des Verstärkers abfällt. Welche Grundschiung eignet sich am besten, um den Verstärker zu realisieren?

b) Laut Datenblatt darf der Transistor bis zu einer maximalen Kollektor-Emitter-Spannung von  $U_{\text{CE,Max}} = 45 \text{ V}$  und einem maximalen Kollektorstrom von  $I_{\text{C,Max}} = 100 \text{ mA}$  betrieben werden. Plotten Sie das Ausgangskennlinienfeld des Transistors in diesem Bereich und bestimmen Sie den Arbeitspunkt ( $I_C$  und  $U_{\text{CE}}$ ), um maximale Aussteuerbarkeit am Ausgang zu erreichen.

c) Ermitteln Sie anhand von Simulationen die Basis-Emitter-Spannung  $U_{\text{BE}}$ , den Basis-Strom  $I_B$  und die Steilheit  $S$  des Transistors im Arbeitspunkt. Wie muss  $R_C$  gewählt werden, um die gewünschte Verstärkung zu erreichen? Welche Versorgungsspannung  $U_b$  wird dann benötigt?

- d)** Entwerfen Sie einen Spannungsteiler als Bias-Netzwerk, um den ausgewählten Arbeitspunkt einzustellen. Der Strom durch das Bias-Netzwerk soll ungefähr 10 Mal größer als der Basis-Strom des Transistors sein.
- e)** Fügen Sie nun die Signalquelle inkl. Innenwiderstand  $R_g$ , den Lastwiderstand  $R_L$  und die Koppelkondensatoren hinzu. Der Koppelkondensator am Eingang soll 62 nF und der Koppelkondensator am Ausgang soll 82 nF betragen. Untersuchen Sie das Frequenzverhalten der Schaltung anhand einer AC-Simulation zwischen 1 kHz und 1 GHz. Erklären Sie den Verlauf des Frequenzgangs in wenigen Worten.
- f)** Es wird ein Eingangssignal der Form  $u_g(t) = U_0 \cdot \sin(2\pi f_0 t)$  angelegt, wobei  $f_0 = 1$  MHz beträgt. Simulieren Sie den Zeitverlauf der Ausgangsspannung  $u_a(t)$  jeweils für  $U_0 = 1$  mV und  $U_0 = 200$  mV. Plotten Sie jeweils das Ausgangssignal für eine Dauer von 10 Perioden. Wie unterscheiden sich die Ausgangssignale?