

Elektronische Schaltungen SS 2020

2. Tutoriumsblatt - Lösung

Bipolartransistoren

Hinweise: Die Lösungen sollen einen Weg aufzeigen, wie die Aufgaben gelöst werden können. Es gibt in einigen Fällen auch andere Wege, zur richtigen Lösung zu kommen. Diese Wege können und sollen in den Tutorien angesprochen werden.

– Abgabe –

Aufgabe 1

- Bei der Schaltung handelt es sich um eine Basisschaltung.
- Das Großsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 1 zu sehen.

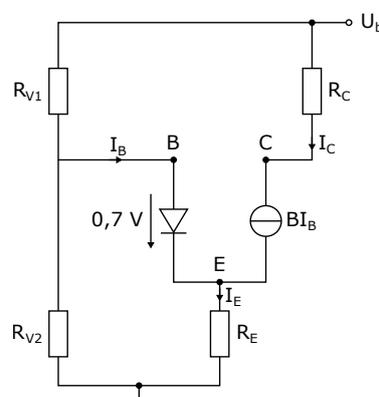


Abbildung 1

- Das Kleinsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 2 zu sehen.

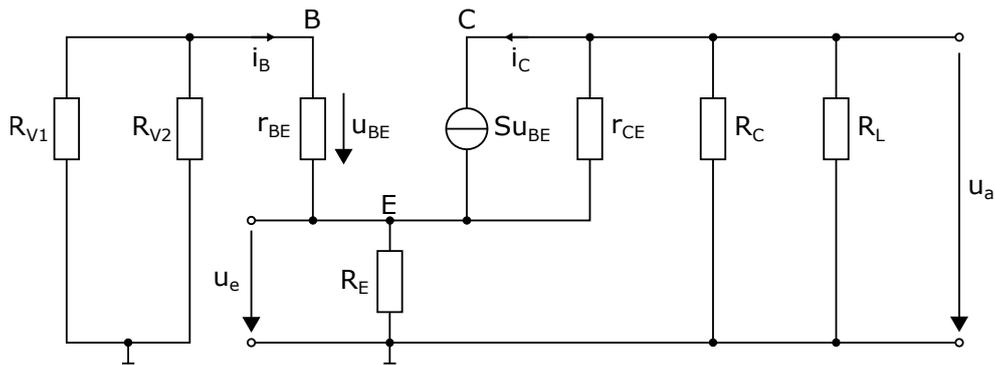


Abbildung 2

d) Um den Arbeitspunkt zu bestimmen, müssen die Größen I_B , I_C und U_{CE} berechnet werden.

$$U_B = U_b \frac{R_{V2}}{R_{V1} + R_{V2}} = 4,5 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - 0,7 \text{ V} = 3,8 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = 3,8 \text{ mA}$$

Daraus ergibt sich für die gesuchten Größen:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 9,5 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 3,8 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_b - I_C \cdot R_C - U_E = 6,64 \text{ V}$$

e) Die Spannungsverstärkung ergibt sich zu:

$$A \approx \frac{\beta \cdot (R_C \parallel R_L)}{r_{BE} + R_{BV}}$$

mit

$$R_{BV} = R_{V1} \parallel R_{V2} = 2,73 \text{ k}\Omega$$

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} = \frac{\beta \cdot U_T}{I_C} = 2,74 \text{ k}\Omega$$

Daraus folgt für A :

$$A = \frac{400 \cdot 1 \text{ k}\Omega}{2,74 \text{ k}\Omega + 2,73 \text{ k}\Omega} = 73,13$$

f) Der Kleinsignal-Eingangswiderstand berechnet sich zu:

$$r_e = R_E \parallel \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right)$$

mit

$$S = \frac{I_C}{U_T} = 146 \text{ mS}$$

folgt

$$r_e = 1 \text{ k}\Omega \parallel \left(\frac{1}{146 \text{ mS}} + \frac{2,73 \text{ k}\Omega}{400} \right) = 13,48 \Omega$$

g) Der Kleinsignal-Ausgangswiderstand berechnet sich zu:

$$r_a = R_C \parallel R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 2

a) Bei der Schaltung handelt es sich um eine Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung.

b) Das Großsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 3 zu sehen.

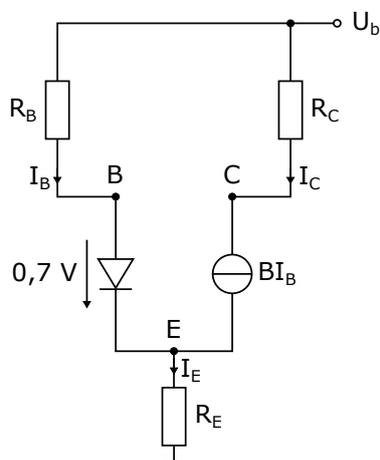


Abbildung 3

c) Das Kleinsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 4 zu sehen.

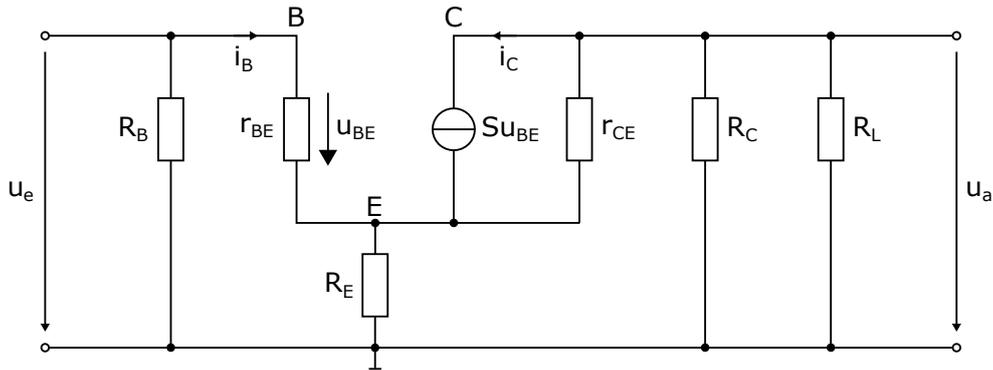


Abbildung 4

d) Die Ströme I_B und I_C können durch den rechten Pfad im Großsignalersatzschaltbild berechnet werden.

$$\begin{aligned}
 U_b &= I_C \cdot R_C + I_E \cdot R_E + U_{CE} \\
 U_b &= B \cdot I_B \cdot R_C + I_B(1 + B) \cdot R_E + U_{CE} \\
 I_B &= \frac{U_b - U_{CE}}{B \cdot R_C + (B + 1) \cdot R_E} = 2,96 \mu\text{A} \\
 I_C &= B \cdot I_B = 665,7 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

Der Widerstand R_B kann durch den linken Pfad im Großsignalersatzschaltbild berechnet werden.

$$R_B = \frac{U_B - 0,7\text{V} - I_E \cdot R_E}{I_B} = \frac{U_B - 0,7\text{V} - I_B \cdot (B + 1) \cdot R_E}{I_B} = 2,46 \text{M}\Omega$$

e) Die Steilheit berechnet sich zu

$$S = \frac{I_C}{U_T} = 25,6 \text{mS}$$

f) Die Kleinsignal Spannungsverstärkung berechnet sich zu

$$A = -\frac{S \cdot (R_C \parallel R_L)}{1 + S \cdot R_E} = -0,658$$

– Im Tutorium –

Aufgabe 3

Bei der Schaltung handelt es sich um eine Emitterschaltung.

a) In das Kennlinienfeld muss der Arbeitspunkt U_{CE}, I_C (siehe 5) eingetragen werden. Die Stromverstärkung im Arbeitspunkt kann berechnet werden zu:

$$B = \frac{I_C}{I_B} = \frac{37,5 \text{ mA}}{0,15 \text{ mA}} = 250$$

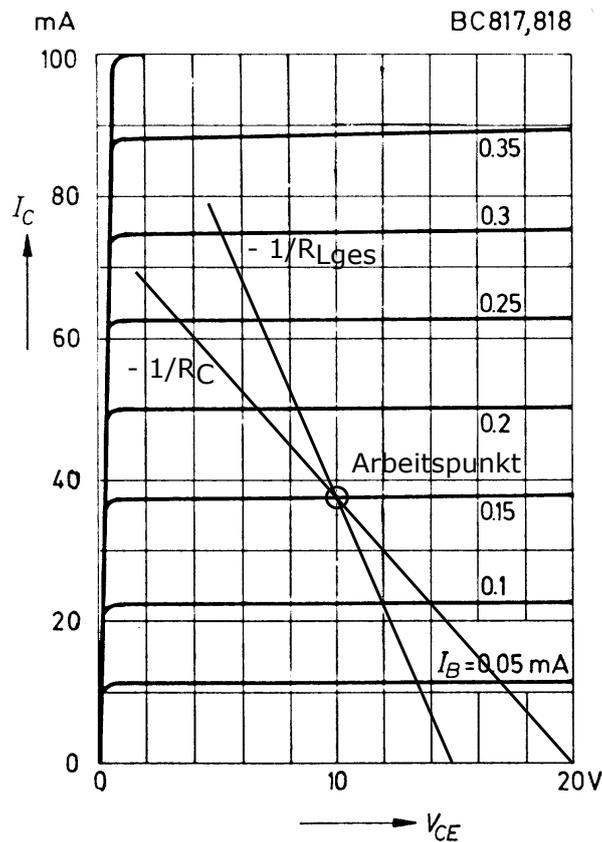


Abbildung 5

b) Wie angegeben muss die Lastgerade für R_C eingezeichnet werden. Hierfür werden zwei Punkte der Lastgerade benötigt.

1. Punkt: Arbeitspunkt

2. Punkt: $I_C = 0 \rightarrow U_{CE} = U_b = 20 \text{ V}$

Die Lastgerade schneidet I_C -Achse bei 75 mA (siehe Abbildung 5). R_B kann über die Steigung der Kennlinie berechnet werden

$$R_C = \frac{20 \text{ V} - 10 \text{ V}}{75 \text{ mA}} = 266,67 \Omega$$

oder aus dem rechten Pfad des Großsignalersatzschaltbildes:

$$R_C = \frac{20 \text{ V} - 10 \text{ V}}{37,5 \text{ mA}} = 266,67 \Omega$$

c) Aus dem linken Pfad des Großsignalersatzschaltbild ergibt sich

$$R_B = \frac{U_b - 0,7 \text{ V}}{I_B} = \frac{20 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{0,15 \text{ mA}} = 128,67 \text{ k}\Omega$$

d) Wechselstrombetrieb \rightarrow Kleinsignalersatzschaltbild

Daraus folgt für $R_{L, \text{ges}} = R_C \parallel R_L$ und mit $R_C = R_L$ wird $R_{L, \text{ges}} = R_C/2 = 133,3 \Omega$, d.h. im Arbeitspunkt muss Lastgerade mit doppelter Steigung eingetragen werden.

e) Die Kleinsignal Spannungsverstärkung berechnet sich zu

$$\begin{aligned} A &= -S \cdot (R_C \parallel R_L), \text{ mit } S = \frac{I_C}{U_T} = 1,44 \text{ S} \\ &= -1,44 \text{ S} \cdot 133,3 \Omega = -192 \end{aligned}$$

Aufgabe 4

a) Bei der Schaltung handelt es sich um eine Emitterschaltung, da das Eingangssignal an der Basis und das Ausgangssignal am Kollektor anliegt.

b) Das Großsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 6 zu sehen.

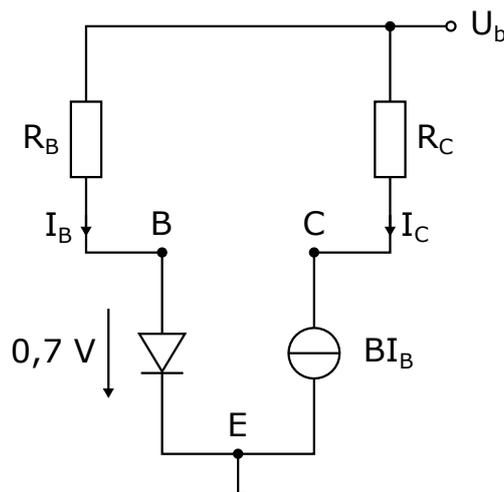


Abbildung 6

c) Das Kleinsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 7 zu sehen.

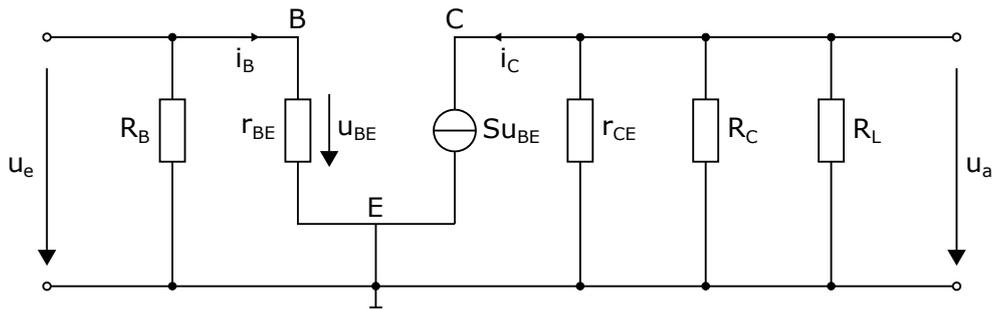


Abbildung 7

d) Der Basisvorwiderstand berechnet sich zu

$$U_b - 0,7\text{ V} - I_B \cdot R_B = 0$$

$$R_B = \frac{U_b - 0,7\text{ V}}{I_B} \rightarrow 1,13\text{ M}\Omega \leq R_B \leq 1,26\text{ M}\Omega$$

Aus der E24-Reihe liegt der Wert $1,2\text{ M}\Omega$ in diesem Wertebereich. Daraus ergibt sich der genaue Wert für I_B zu

$$I_B = \frac{U_b - 0,7\text{ V}}{R_B} = 9,42\text{ }\mu\text{A}$$

e) Der Kollektorvorwiderstand berechnet sich zu

$$U_b - I_C \cdot R_C - U_{CE} = 0$$

$$R_C = \frac{U_b - U_{CE}}{I_C} = \frac{U_b - U_{CE}}{B \cdot I_B} = 4,26\text{ k}\Omega$$

Der nächste Wert in der E24-Reihe ist $R_C = 4,3\text{ k}\Omega$. Daraus ergibt sich für U_{CE}

$$U_{CE} = U_b - I_C \cdot R_C = 5,94\text{ V}$$

f) Die Steilheit ergibt sich zu

$$S = \frac{I_C}{U_T} = 53,8\text{ mS}$$

g) Der Kleinsignal-Eingangswiderstand ergibt sich zu:

$$r_e = r_{BE} \parallel R_B, \text{ mit } r_{BE} = \frac{\beta}{S} = 2,785 \text{ k}\Omega$$

Da $R_B = 1,2 \text{ M}\Omega \gg r_{BE} = 2,785 \text{ k}\Omega$ folgt

$$r_e \approx r_{BE} = 2,785 \text{ k}\Omega$$

h) Die Kleinsignal-Spannungsverstärkung berechnet sich zu:

$$A = -S \cdot (R_C \parallel R_L)$$

$$A|_{R_L=\infty} = -S \cdot R_C = -231,3$$

$$A|_{R_L=R_C} = -S \cdot \frac{1}{2} \cdot R_C = -115,65$$

Aufgabe 5

a) Bei der Schaltung handelt es sich um eine Kollektorschaltung, da das Eingangssignal an der Basis und das Ausgangssignal am Emittor anliegt.

b) Das Kleinsignalersatzschaltbild ist auf zwei verschiedene Darstellungsweisen in Abbildung 8 zu sehen.

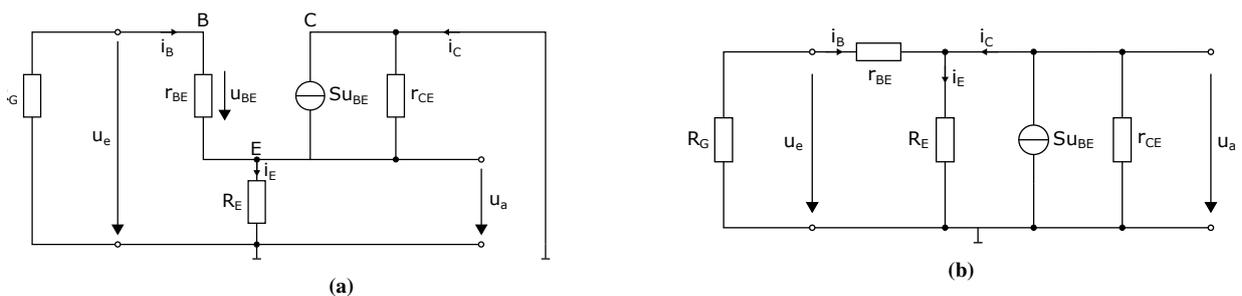


Abbildung 8

c) Der Kleinsignal-Eingangswiderstand berechnet sich zu:

$$r_e \approx r_{BE} + \beta R_E$$

mit

$$\begin{aligned} r_{\text{BE}} &= \frac{\beta}{S}, \text{ mit } S = \frac{I_{\text{C}}}{U_{\text{T}}} = 77 \text{ mS} \\ &= 2,6 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

folgt

$$r_{\text{e}} \approx 2,6 \text{ k}\Omega + 200 \cdot 2 \text{ k}\Omega \approx 402,6 \text{ k}\Omega$$

Der Kleinsignal-Ausgangswiderstand berechnet sich zu:

$$r_{\text{a}} \approx R_{\text{E}} \parallel \left(\frac{R_{\text{G}}}{\beta} + \frac{1}{S} \right) = 2 \text{ k}\Omega \parallel \left(\frac{100 \text{ k}\Omega}{200} + \frac{1}{77 \text{ mS}} \right) \approx 408 \Omega$$

d) Die Kleinsignal-Spannungsverstärkung berechnet sich zu

$$A = \frac{S \cdot R_{\text{E}}}{1 + S \cdot R_{\text{E}}} = \frac{77 \text{ mS} \cdot 2 \text{ k}\Omega}{1 + 77 \text{ mS} \cdot 2 \text{ k}\Omega} = 0,994$$