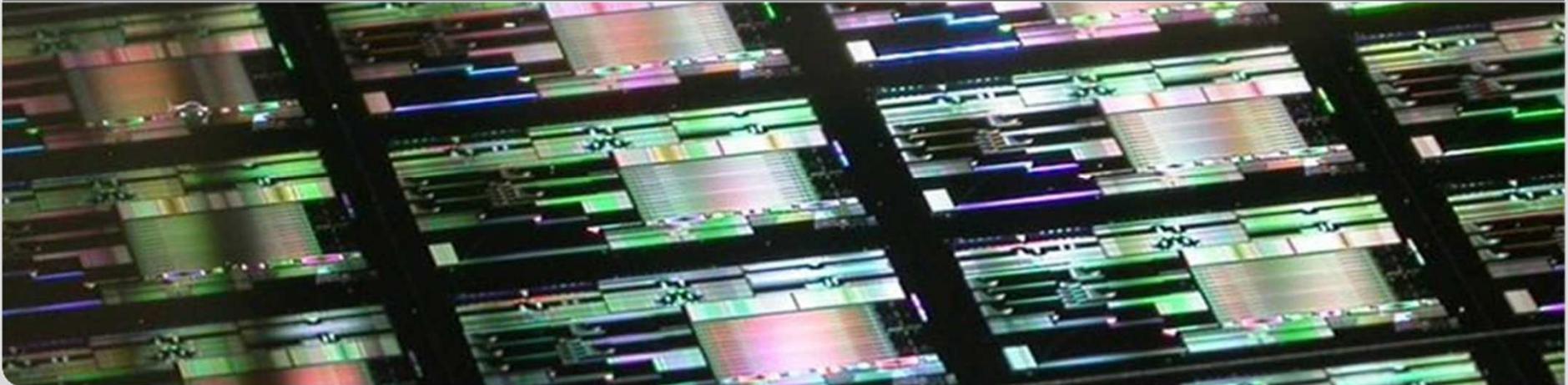
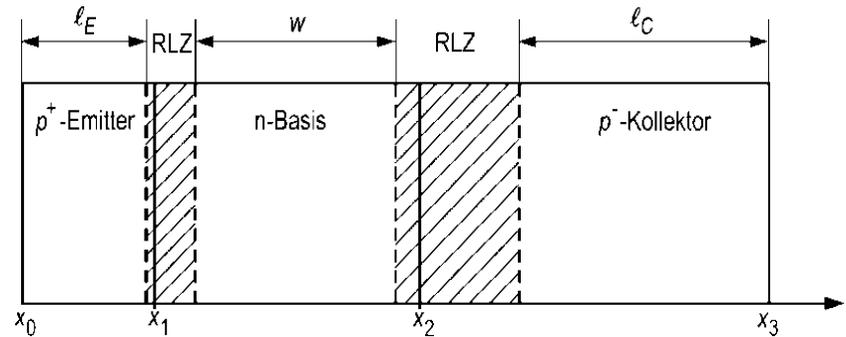


HLB Übung 12

WS 2015/2016



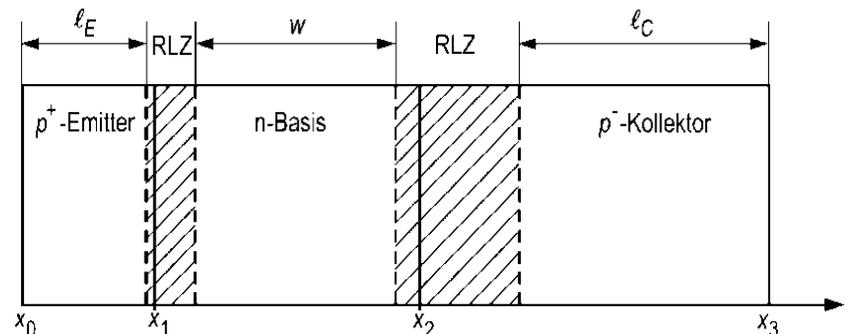
1.) Bipolartransistor



Betrachtet wird ein *pnp*-Transistor aus Silizium. Die Dotierungen von Emitter, Basis und Kollektor betragen $n_{AE} = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $n_{DB} = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $n_{AC} = 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Die zugehörigen physikalischen Längen betragen $(x_1 - x_0) = 1 \text{ } \mu\text{m}$, $(x_2 - x_1) = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$, $(x_3 - x_2) = 3 \text{ } \mu\text{m}$. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die Schottky-Näherung gilt, Störstellenerschöpfung vorliegt und die Temperatur $T = 300 \text{ K}$ beträgt. Die intrinsische Ladungsträgerdichte beträgt $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

- 1.1 Skizzieren Sie den Verlauf von Valenzband, Leitungsband und Fermi-Niveau für eine Basis-Emitter-Spannung $U_{BE} = 0 \text{ V}$ und eine Basis-Kollektor-Spannung $U_{BC} = 0 \text{ V}$. Markieren Sie die Raumladungszonen.

1.) Bipolartransistor

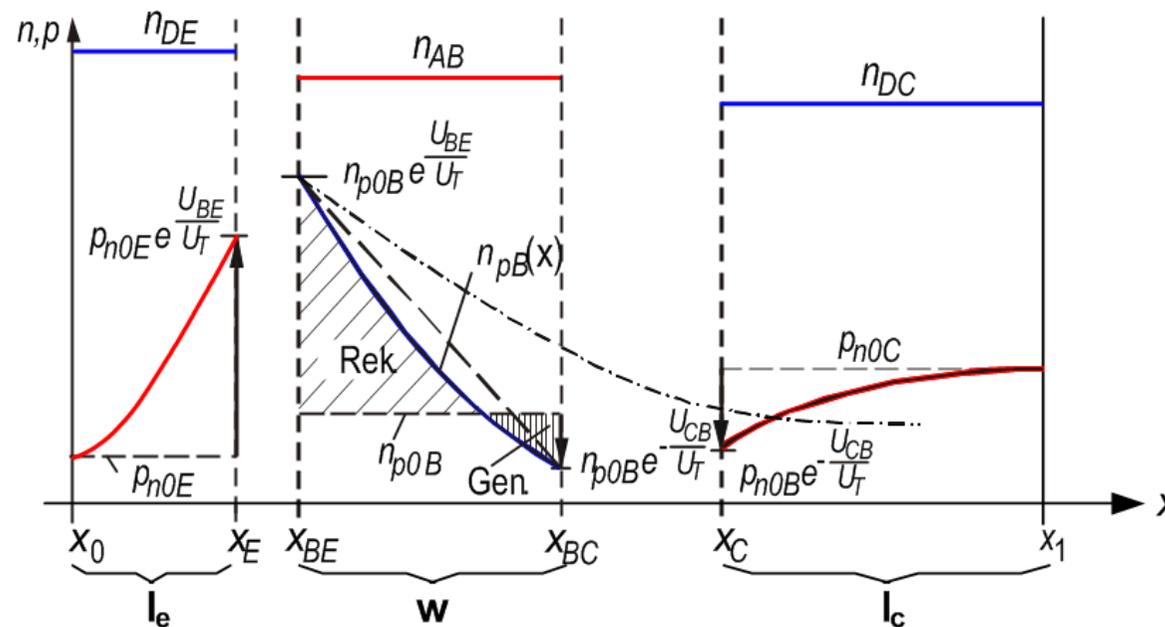


Betrachtet wird ein *pnp*-Transistor aus Silizium. Die Dotierungen von Emitter, Basis und Kollektor betragen $n_{AE} = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $n_{DB} = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $n_{AC} = 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Die zugehörigen physikalischen Längen betragen $(x_1 - x_0) = 1 \mu\text{m}$, $(x_2 - x_1) = 0,2 \mu\text{m}$, $(x_3 - x_2) = 3 \mu\text{m}$. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die Schottky-Näherung gilt, Störstellenerschöpfung vorliegt und die Temperatur $T = 300 \text{ K}$ beträgt. Die intrinsische Ladungsträgerdichte beträgt $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

- 1.2 Nun wird eine Basis-Emitter-Spannung $U_{BE} = -0,7 \text{ V}$ und eine Basis-Kollektor Spannung $U_{BC} = 0,8 \text{ V}$ angelegt.
- Werden die Übergänge dabei jeweils in Sperr- oder Durchlassrichtung gepolt? Welcher Betriebszustand des Transistors ergibt sich?
 - Werden die Raumladungszonen kleiner oder größer im Vergleich zu $U_{BE} = U_{BC} = 0$?
 - Skizzieren und beschriften Sie die Bandverläufe, sowie die Quasi-Fermi-Niveaus.
 - Skizzieren und beschriften Sie den Verlauf der Trägerdichten außerhalb der Raumladungszonen.

1.) Bipolartransistor

- Vergleich mit npn-Transistor aus Übung 11



Aufgabe 2) npn-Transistor

Gegeben ist ein npn-Si-Transistor in Emitterschaltung bei einer Temperatur von $T = 300\text{K}$ mit einer Basisweite von $w = 8 \cdot 10^{-5}\text{ cm}$ und einer Kleinsignal-Stromverstärkung $\beta_0 = 50$ nach folgendem Ersatzschaltbild:

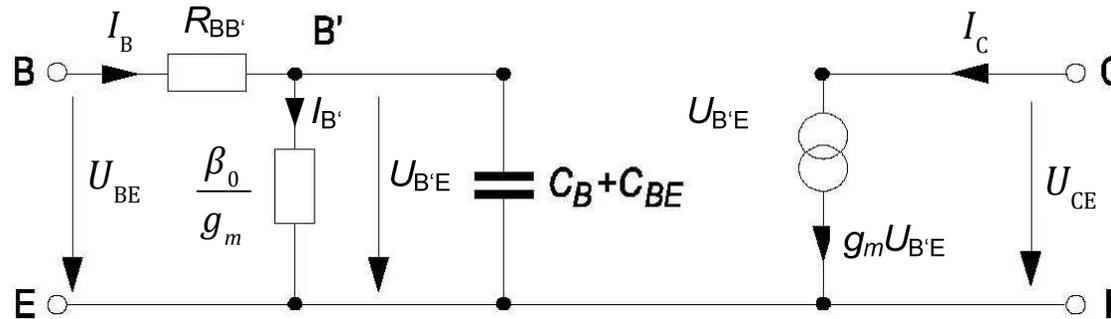


Fig. 1: Ersatzschaltbild eines npn-Transistors in Emitterschaltung

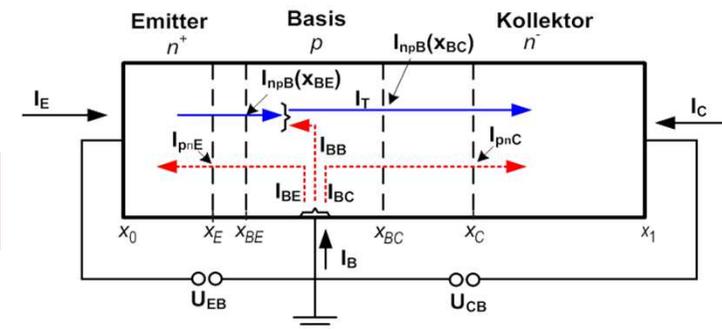
Im Arbeitspunkt $U_{B'E}$ fließt ein Kollektorstrom von $I_C = 2,5\text{ mA}$. Die Diffusionskonstante für Elektronen in der Basis ist $D_{nB} = 25\text{ cm}^2/\text{s}$. Der gesamte Basis-Bahnwiderstand wird mit $R_{BB'} = 20\ \Omega$ angenommen.

Hinweis: Benutzen Sie zur Bestimmung der Steilheit g_m folgende Gleichung:

$$g_m = \left. \frac{dI_C}{dU_{B'E}} \right|_{U_0} \approx \frac{|I_C|}{U_T} \quad (0.1)$$

a) Berechnen Sie die Eingangsimpedanz $Z_{1E} = U_{BE} / I_B$ für $f \rightarrow 0$.

$$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} \approx -\frac{\Delta I_T}{\Delta U_{BE}} = \frac{I_T}{U_T} \approx \frac{|I_C|}{U_T} \approx \frac{|I_C|}{\text{mA}} \approx 0,04\text{ S}$$



Aufgabe 2) npn-Transistor

Gegeben ist ein npn-Si-Transistor in Emitterschaltung bei einer Temperatur von $T = 300\text{K}$ mit einer Basisweite von $w = 8 \cdot 10^{-5}\text{ cm}$ und einer Kleinsignal-Stromverstärkung $\beta_0 = 50$ nach folgendem Ersatzschaltbild:

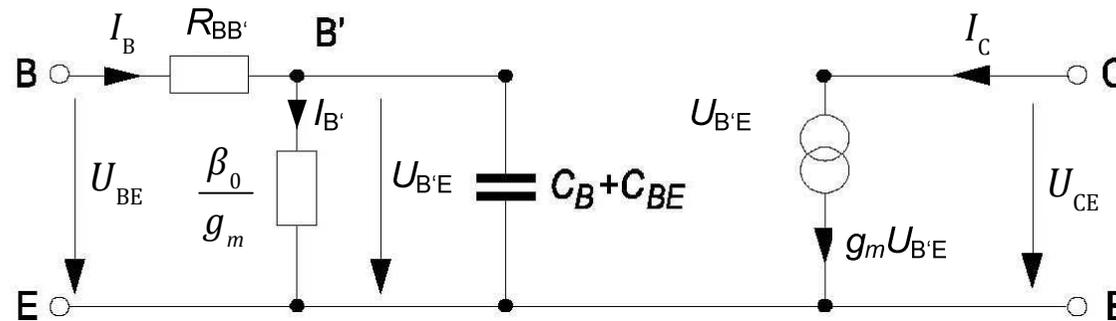


Fig. 1: Ersatzschaltbild eines npn-Transistors in Emitterschaltung

Im Arbeitspunkt $U_{B'E}$ fließt ein Kollektorstrom von $I_C = 2,5\text{ mA}$. Die Diffusionskonstante für Elektronen in der Basis ist $D_{nB} = 25\text{ cm}^2/\text{s}$. Der gesamte Basis-Bahnwiderstand wird mit $R_{BB'} = 20\ \Omega$ angenommen.

Hinweis: Benutzen Sie zur Bestimmung der Steilheit g_m folgende Gleichung:

$$g_m = \left. \frac{dI_C}{dU_{B'E}} \right|_{U_0} \approx \frac{|I_C|}{U_T} \quad (0.1)$$

- b) Berechnen Sie die an den Transistorklemmen wirksame Steilheit $g_m^* := \left. \frac{I_C}{U_{BE}} \right|_{U_{CE}=0}$ im

Grenzfall kleiner Frequenzen, also für $f \rightarrow 0$.

Aufgabe 2) npn-Transistor

Gegeben ist ein npn-Si-Transistor in Emitterschaltung bei einer Temperatur von $T = 300\text{K}$ mit einer Basisweite von $w = 8 \cdot 10^{-5}\text{ cm}$ und einer Kleinsignal-Stromverstärkung $\beta_0 = 50$ nach folgendem Ersatzschaltbild:

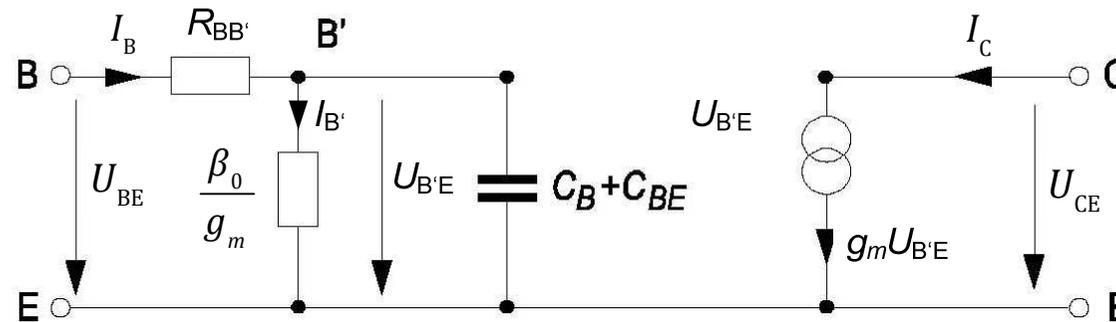


Fig. 1: Ersatzschaltbild eines npn-Transistors in Emitterschaltung

Im Arbeitspunkt $U_{B'E}$ fließt ein Kollektorstrom von $I_C = 2,5\text{ mA}$. Die Diffusionskonstante für Elektronen in der Basis ist $D_{nB} = 25\text{ cm}^2/\text{s}$. Der gesamte Basis-Bahnwiderstand wird mit $R_{BB} = 20\ \Omega$ angenommen.

Hinweis: Benutzen Sie zur Bestimmung der Steilheit g_m folgende Gleichung:

$$g_m = \left. \frac{dI_C}{dU_{B'E}} \right|_{U_0} \approx \frac{|I_C|}{U_T} \quad (0.1)$$

- c) Berechnen Sie die Basiskapazität C_B . Wie groß ist die Transitfrequenz f_T des Bauteils unter der Annahme, dass die Basiskapazität C_B sehr viel größer ist als die Basis-Emitter Kapazität C_{BE} ?

$$C_B = \frac{1}{2} \frac{w^2}{D_{npB}} g_m \quad f_T = \frac{1}{\pi} \frac{D_{npB}}{w^2}$$

Aufgabe 2) npn-Transistor

Gegeben ist ein npn-Si-Transistor in Emitterschaltung bei einer Temperatur von $T = 300\text{K}$ mit einer Basisweite von $w = 8 \cdot 10^{-5}\text{ cm}$ und einer Kleinsignal-Stromverstärkung $\beta_0 = 50$ nach folgendem Ersatzschaltbild:

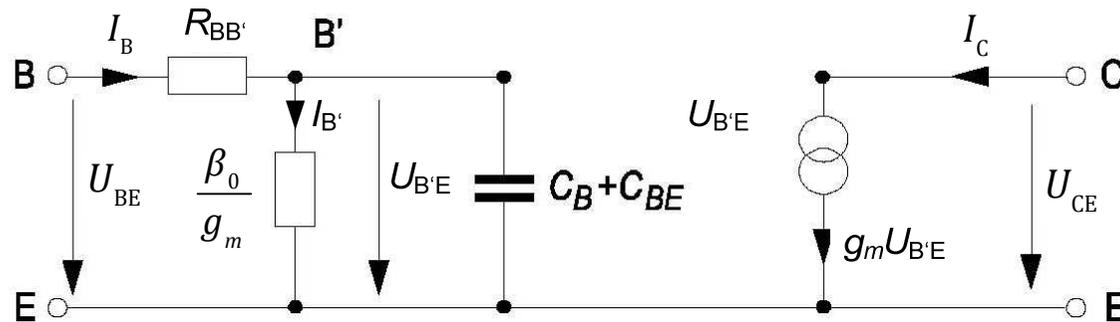


Fig. 1: Ersatzschaltbild eines npn-Transistors in Emitterschaltung

Im Arbeitspunkt $U_{B'E}$ fließt ein Kollektorstrom von $I_C = 2,5\text{ mA}$. Die Diffusionskonstante für Elektronen in der Basis ist $D_{nB} = 25\text{ cm}^2/\text{s}$. Der gesamte Basis-Bahnwiderstand wird mit $R_{BB'} = 20\ \Omega$ angenommen.

Hinweis: Benutzen Sie zur Bestimmung der Steilheit g_m folgende Gleichung:

$$g_m = \left. \frac{dI_C}{dU_{B'E}} \right|_{U_0} \approx \frac{|I_C|}{U_T} \quad (0.1)$$

- d) Zeichnen Sie anhand der Skizze das Niederfrequenz-Ersatzschaltbild für die Basisschaltung. Berechnen Sie die Eingangsimpedanz $Z_{2E} = U_{EB}/I_E$ für $f \rightarrow 0$.