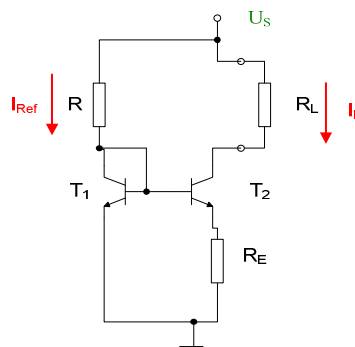


7.3 Stromspiegelschaltung

1. Zeichnen Sie einen Stromspiegel mit einem Übersetzungsverhältnis von Eins. Erläutern Sie die Funktion der Schaltung und berechnen Sie den Fehler des Übersetzungsverhältnisses.
2. Berechnen Sie das Übersetzungsverhältnis $\frac{I_L}{I_{\text{Ref}}}$ der unten gezeichneten Schaltung unter der Voraussetzung, dass $B_{N1} \neq B_{N2}$ ist. Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis? Wovon hängt der Fehler des Übersetzungsverhältnisses ab?



3. Leiten Sie die Dimensionierungsgleichung für R_E her.
Hinweis: Beide Transistoren sind gleich. $U_{BE1} = U_{BE2}$; $B_{N1} = B_{N2}$)
4. Dimensionieren Sie die Schaltung für ein Übersetzungsverhältnis von 100 und einem Laststrom von $1\mu\text{A}$.
5. Simulieren Sie die Abhängigkeit des Laststroms vom Lastwiderstand unter PSPICE.

1. Übersetzungsverhältnis 1:1

$$U_{BE1} = U_{BE2}$$

$$I_{B1} = I_{B2}$$

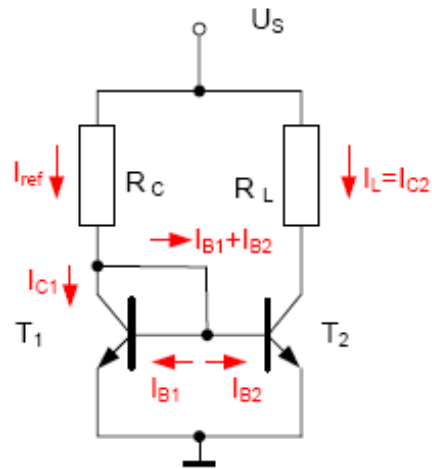
$$I_{ref} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} \quad \text{mit } B_{N1} = B_{N2} \Rightarrow$$

$$I_{ref} = I_{C1} + \frac{I_{C1}}{B_{N1}} + \frac{I_{C2}}{B_{N2}} \ddot{U} = \frac{1}{1 + \frac{2}{B_N}}$$

$$I_{ref} = I_{C1} \left(1 + \frac{1}{B_{N1}} \right) + \frac{I_{C2}}{B_{N2}}$$

$$\frac{I_{ref}}{I_{C2}} = \frac{I_{C1} \left(1 + \frac{1}{B_{N1}} \right)}{I_{C2}} + \frac{1}{B_{N2}}$$

$$\frac{I_{ref}}{I_{C2}} = \frac{A_{N1} \cdot I_{ES1} \cdot e^{\frac{U_{BE1}}{U_T} \left(1 + \frac{1}{B_{N1}} \right)}}{A_{N2} \cdot I_{ES2} \cdot e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}}} + \frac{1}{B_{N2}}$$



$$I_{C1} = A_{N1} \cdot I_{ES1} \cdot e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}}$$

$$I_{C2} = I_L = A_{N2} \cdot I_{ES2} \cdot e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}}$$

$$\text{mit } A_{N1} = A_{N2} \text{ und } I_{ES1} = I_{ES2} \Rightarrow$$

$$\ddot{U} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{B_{N1}} \right) \cdot e^{\frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{U_T}} + \frac{1}{B_{N2}}}$$

$$\text{mit } U_{BE1} = U_{BE2} \Rightarrow$$

$$\ddot{U} = \frac{1}{1 + \frac{1}{B_{N1}} + \frac{1}{B_{N2}}}$$

$$\text{mit } B_{N1} = B_{N2} \Rightarrow$$

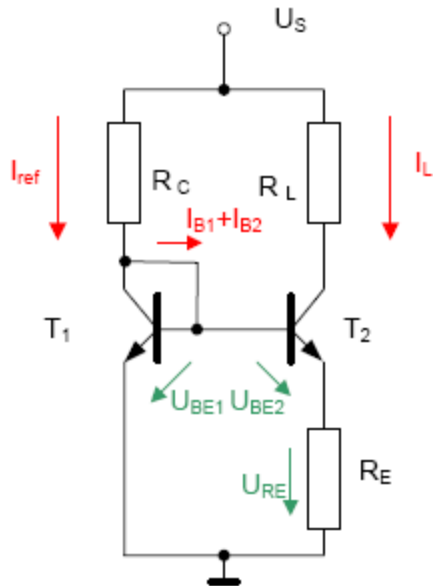
$$\ddot{U} = \frac{1}{1 + \frac{2}{B_N}}$$

$$\Delta \ddot{U} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{B_N}} = 1 - \frac{B_N}{B_N + 2} = \frac{B_N + 2}{B_N + 2} - \frac{B_N}{B_N + 2} = \frac{2}{B_N + 2} \approx \frac{2}{B_N}$$

$$\Delta \ddot{U} \approx \frac{2}{B_N} = \frac{2}{100} = 0,02$$

$$\frac{\Delta \ddot{U}}{\ddot{U}} = 0,02 \approx 2\%$$

2. Übersetzungsverhältnis allgemein



$$\frac{I_L}{I_{ref}} = \frac{I_{C2}}{I_{C1} + I_{B1} + I_{B2}} = \frac{I_{C2}}{I_{C1} + \frac{I_{C1}}{B_{N1}} + \frac{I_{C2}}{B_{N2}}}$$

$$\ddot{U} = \frac{I_{C2}}{I_{C1} \left(\frac{1+B_{N1}}{B_{N1}} \right) + \frac{I_{C2}}{B_{N2}}}$$

$$\ddot{U} = \frac{A_{N2} \cdot I_{ES2} \cdot e^{\frac{U_{BE1} - U_{RE}}{U_T}}}{A_{N1} \cdot I_{ES1} \cdot e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}} \left(\frac{1+B_{N1}}{B_{N1}} \right) + \frac{I_{C1}}{B_{N2}} A_{N2} \cdot I_{ES2} \cdot e^{\frac{U_{BE1} - U_{RE}}{U_T}}}$$

$$\Downarrow$$

$$= \frac{1}{A_{N1}} \quad U_{BE2} = U_{BE1} - U_{RE}$$

$$\ddot{U} = \frac{1}{\left(\frac{1+B_{N2}}{B_{N2}} \right) \frac{I_{ES1}}{I_{ES2}} \cdot \frac{e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}}}{e^{\frac{U_{BE1} - U_{RE}}{U_T}}} + \frac{1}{B_{N2}}} = \frac{B_{N2}}{(1+B_{N2}) \cdot \frac{I_{ES1}}{I_{ES2}} \cdot e^{\frac{U_{RE}}{U_T}} + 1} \quad A_{N1} = \frac{B_{N1}}{B_{N1} + 1} \quad A_{N2} = \frac{B_{N2}}{B_{N2} + 1}$$

$$\ddot{U} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{B_{N2}}\right) \cdot \frac{I_{ES1}}{I_{ES2}} \cdot e^{\frac{U_{RE}}{U_T}} + \frac{1}{B_{N2}}}$$

Für $I_{ES1} = I_{ES2}$ und B_{N2} genügend groß gilt:

$$\ddot{U} = \frac{1}{e^{\frac{U_{RE}}{U_T}}} < 1$$

3. Dimensionierung von R_E

$$\frac{I_{Ref}}{I_L} = e^{\frac{U_{RE}}{U_T}} = e^{\frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{U_T}}$$

$$R_E = \frac{U_T}{I_L} \ln \frac{I_{Ref}}{I_L}$$

4. Dimensionierung für $\ddot{U} = 100$ und $I_L = 1\mu A$

$$R_E = \frac{26mV}{1\mu A} \ln 100$$

$$\underline{\underline{R_E = 119,7k\Omega}}$$