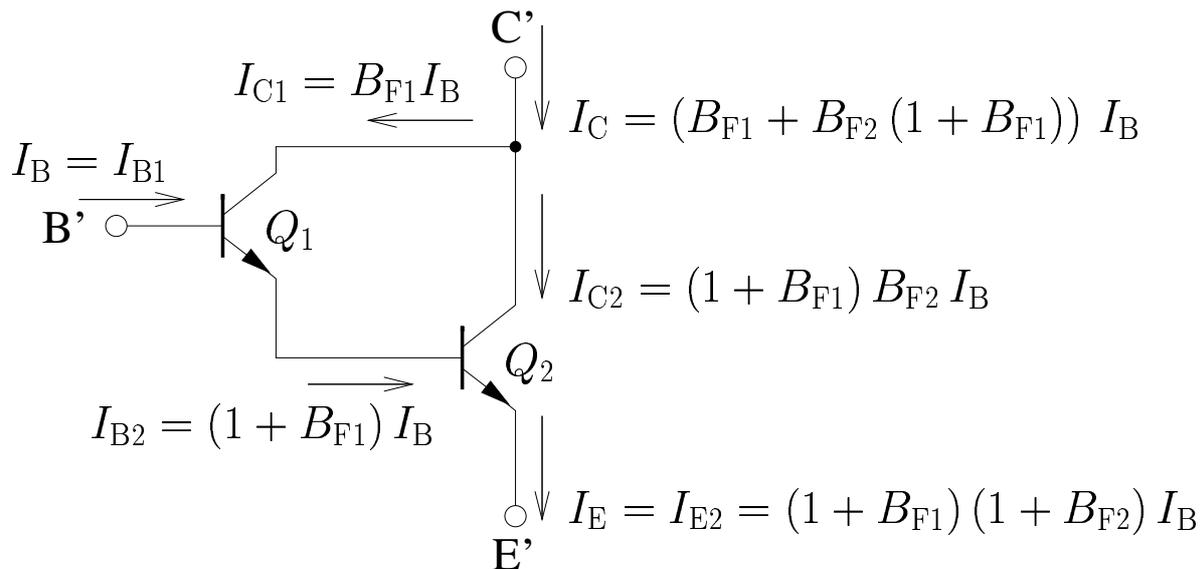


Darlington-Schaltung

Aufbau



Eigenschaften

- erhöhte Basis-Emitter-Spannung $U'_{BE} = U_{BE1} + U_{BE2} \approx 1.2 \text{ V}$
- erhöhter Eingangswiderstand

$$h'_{11e} = r'_{BE} = r_{BE1} + (1 + \beta_1) r_{BE2} \approx 2 r_{BE1}$$

- geringerer Ausgangswiderstand

$$\frac{1}{h'_{22e}} = r'_{CE} = r_{CE2} \parallel \frac{r_{CE1} + r_{BE1}}{1 + \beta_2} \approx r_{CE2} \parallel \frac{r_{CE1}}{\beta_2}$$

- erhöhte Stromverstärkung

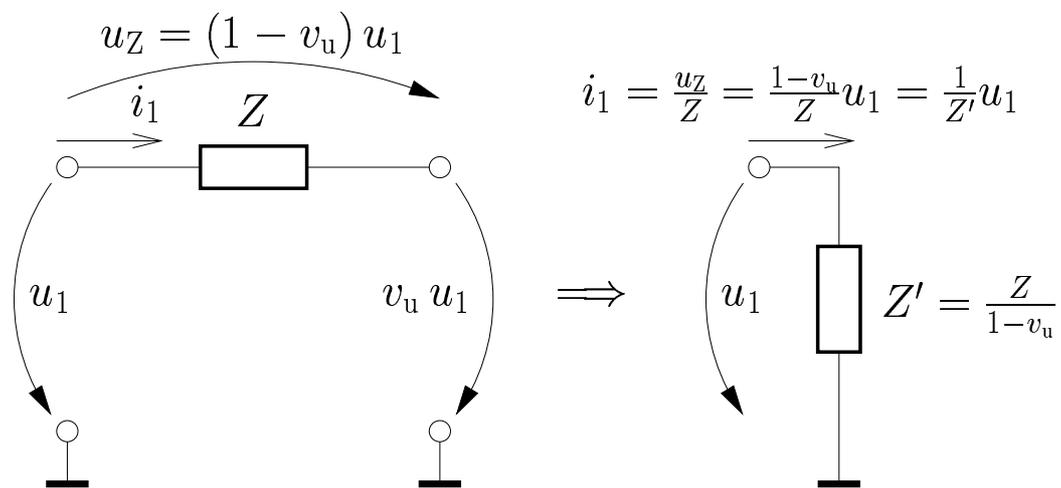
$$\beta' = \beta_1 + (1 + \beta_1) \beta_2 \approx \beta_1 \beta_2$$

Kaskode-Schaltung

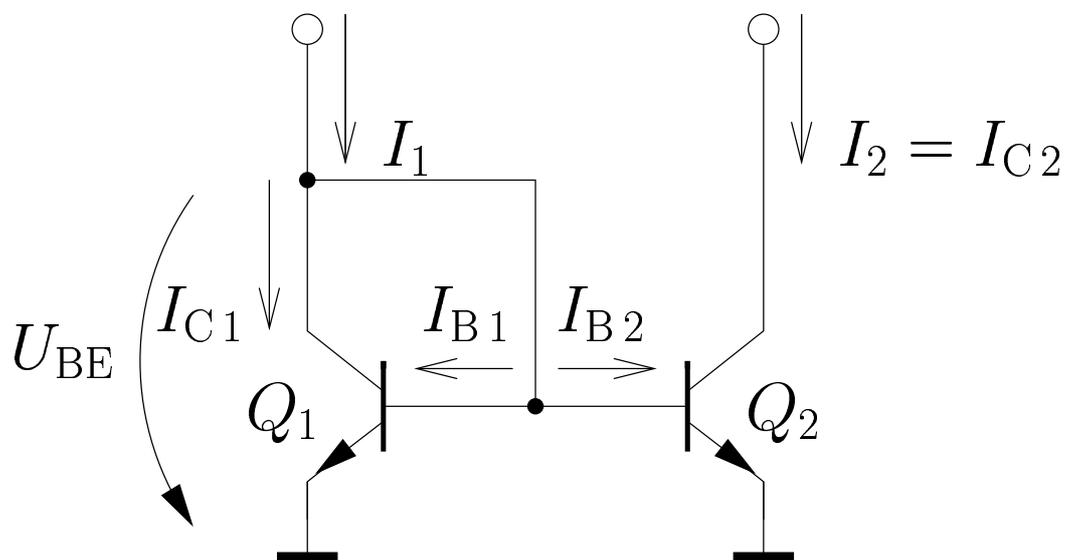
Eigenschaften

	Emitterstufe	Basisstufe	Gesamt
z_e	$r_{BE\ e}$	$\frac{r_{BE\ b}}{\beta_b}$	$z_{e\ e} = r_{BE\ e}$
z_a	$r_{CE\ e}$	$\beta_b r_{CE\ e} \dots \beta_b r_{CE\ b}$	$z_{a\ b} = \beta_b r_{CE\ e}$
v_u	$-\frac{r_{BE\ b} \beta_e}{r_{BE\ e} \beta_b} \approx -1$	$\beta_b \frac{R_L}{r_{BE\ b}}$	$\approx -v_{u\ b} = -\beta_b \frac{R_L}{r_{BE\ b}}$
v_i	β_e	$-\frac{\beta_b}{\beta_{b+1}} \approx -1$	$\approx -v_{i\ e} = -\beta_e$

Miller-Effekt



Stromspiegel



Eigenschaften

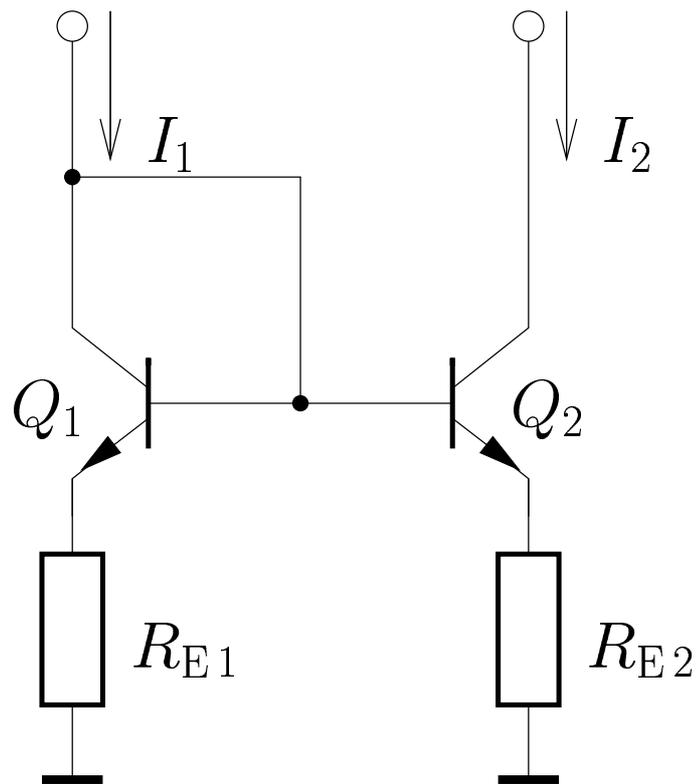
- Ausgangswiderstand

$$R_2 = r_{CE2}$$

- Stromspiegelverhältniss bei $U_2 = U_1$

$$k_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_C}{I_C + 2I_B} = \frac{B_F}{B_F + 2} \approx 1$$

Stromspiegel mit Stromgegenkopplung



Eigenschaften

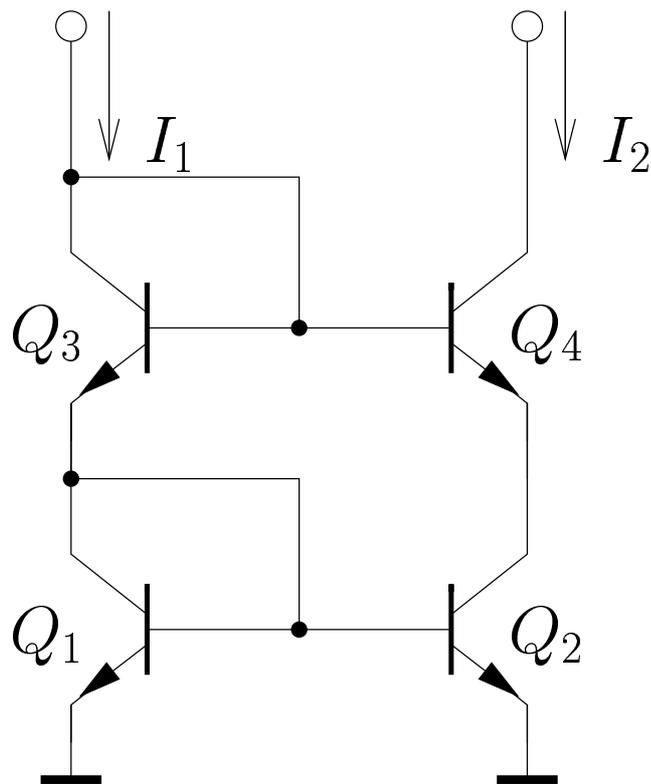
- Ausgangswiderstand

$$R_2 = B_{F2} \frac{R_{E2}}{r_{BE2}} r_{CE2}$$

- Stromspiegelverhältniss bei $U_2 = U_1$

$$k_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_{E1}}{R_{E2} + \frac{R_{E1} + R_{E2}}{B_F}} \approx \frac{R_{E1}}{R_{E2}}$$

Kaskode-Stromspiegel



Eigenschaften

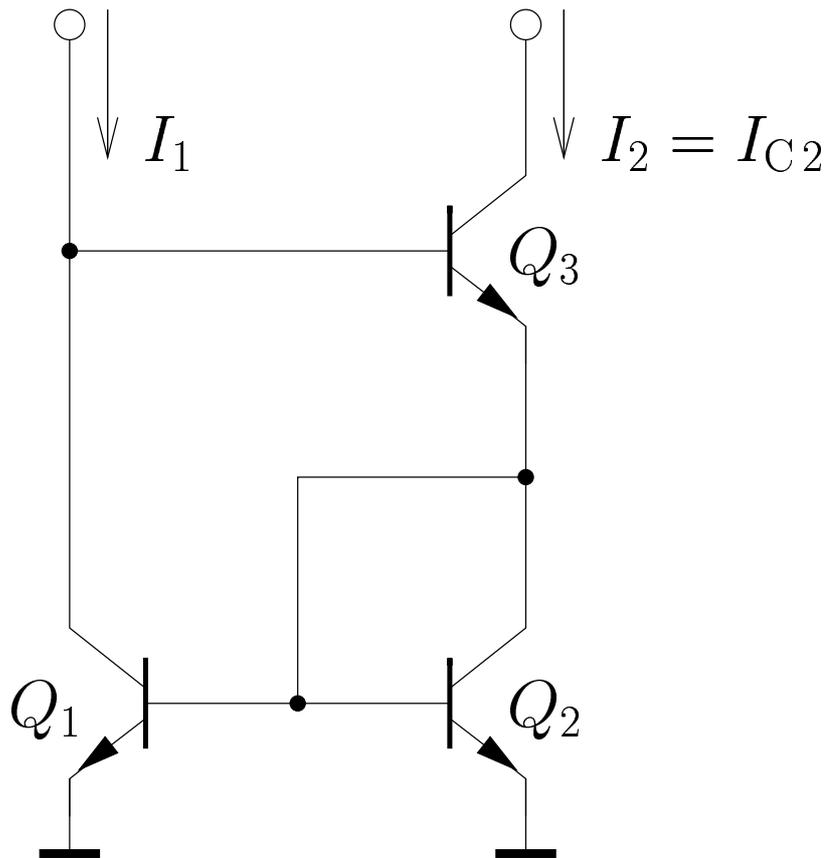
- Ausgangswiderstand

$$R_2 = r_{CE4} \left(1 + \frac{\beta}{1 + k_I} \right) \approx \frac{\beta r_{CE4}}{1 + k_I} \stackrel{k_I=1}{=} \frac{\beta r_{CE3}}{2}$$

- Stromspiegelverhältniss bei $U_2 = U_1$

$$k_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{1 + \frac{2}{B_F^2} + \frac{2}{B_F}} \stackrel{B_F \gg 1}{\approx} \frac{1}{1 + \frac{4}{B_F}}$$

Wilson-Stromspiegel



Eigenschaften

- Ausgangswiderstand

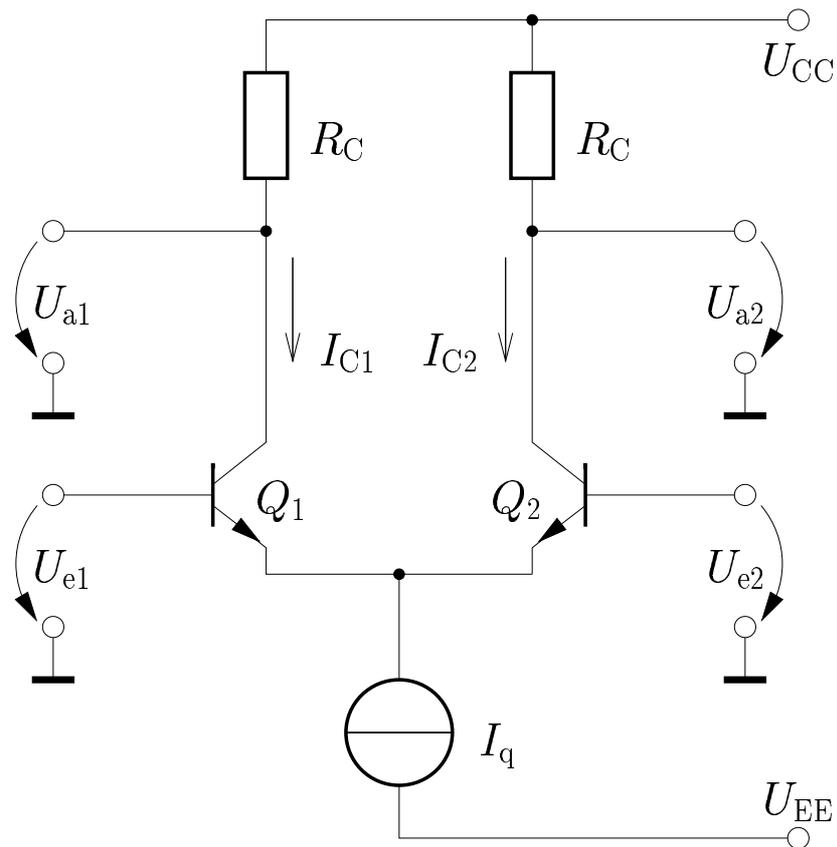
$$R_2 = r_{CE3} \left(1 + \frac{\beta}{1 + k_I} \right) \approx \frac{\beta r_{CE3}}{1 + k_I} \stackrel{k_I=1}{=} \frac{\beta r_{CE3}}{2}$$

- Stromspiegelverhältniss bei $U_2 = U_1$

$$k_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{1 + \frac{2}{B_F^2 + 2B_F}} \stackrel{B_F \gg 1}{\approx} \frac{1}{1 + \frac{2}{B_F^2}}$$

Differenzstufe

Gegentakt-Aussteuerung



Bei differentieller Aussteuerung

$$U_D = U_{e1} - U_{e2} = U_{BE1} - U_{BE2}$$

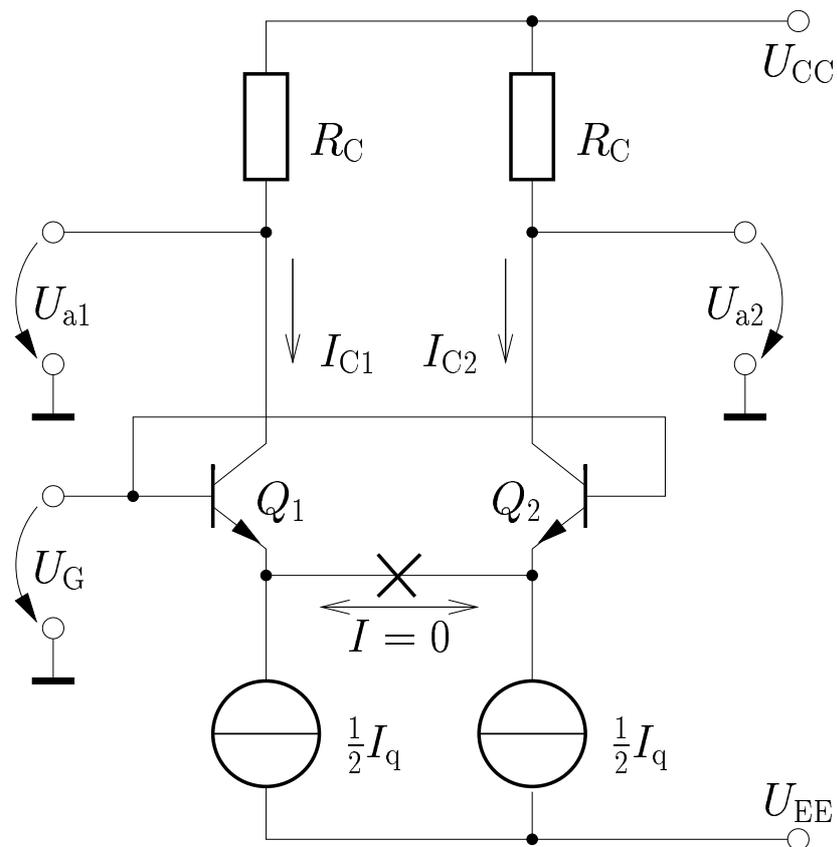
ergibt sich für die Ausgangsspannungen:

$$U_{a1} = U_{CC} - \frac{I_q R_C}{2} \left(1 + \tanh \frac{U_D}{2U_T} \right)$$

$$U_{a2} = U_{CC} - \frac{I_q R_C}{2} \left(1 - \tanh \frac{U_D}{2U_T} \right)$$

Differenzstufe

Gleichtakt-Aussteuerung



Bei Gleichtaktaussteuerung

$$U_G = \frac{U_{e1} + U_{e2}}{2}$$

sind beide Differenztransistoren mit dem Innenwiderstand der Stromquellen $2r_q$ stromgegekoppelte Emitterstufen:

- geringe Verstärkung
- hoher Eingangswiderstand

Differenzstufe

Eigenschaften

- **Differenzverstärkung**

$$v_D = \left. \frac{dU_{a1}}{dU_D} \right|_{U_D \approx 0} = - \left. \frac{dU_{a2}}{dU_D} \right|_{U_D \approx 0} = - \frac{I_q R_C}{4U_T}$$

- **Differenz-Eingangswiderstand:** Eingangswiderstand der Emitterstufe bei Stromgegenkopplung mit $\frac{r_{BE}}{\beta}$

$$r_D = 2r_{BE}$$

- **Gleichtaktverstärkung**

$$v_G = \left. \frac{dU_{a1}}{dU_G} \right|_{U_D=0} = \left. \frac{dU_{a2}}{dU_G} \right|_{U_D=0} = - \frac{R_C}{2r_q}$$

- **Gleichtakt-Eingangswiderstand:** Eingangswiderstand der Emitterstufe bei Stromgegenkopplung mit $2r_q$

$$r_G = 2\beta r_q$$

- **Gleichtaktunterdrückung** (*common mode rejection ratio* CMRR)

$$CMRR = \frac{v_D}{v_G} = \frac{I_q r_q}{2U_T}$$

- **Offset:** Durch Unsymmetrie tritt bei $U_D = 0$ eine Ausgangsspannung $U_{a1} \neq U_{a2}$ auf. Diejenige Eingangs-Differenzspannung, bei der die Unsymmetrie kompensiert ist und $U_{a1} = U_{a2}$ gilt, heißt *Offsetspannung* U_{offs} .