

Bestimmung von U_{CE1}

$$U_{CE1} = U_b - I_{C1} \cdot R_{C1} = 15 \text{ V} - 3 \text{ mA} \cdot 3,3 \text{ k}\Omega = 5,1 \text{ V}$$

Bestimmung von I_{C2}

$$\text{mit: } I_{E2} \approx I_{C2} = \frac{U_{E2}}{R_{E2}} = \frac{U_{C1} - 0,7 \text{ V}}{R_{E2}} = \frac{5,1 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1,1 \text{ k}\Omega} = 4 \text{ mA}$$

Bestimmung von S_1 und S_2

$$S_1 = \frac{I_{C,A1}}{U_T} = \frac{3 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 115,3 \text{ mS}$$

$$S_2 = \frac{I_{C,A2}}{U_T} = \frac{4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 153,8 \text{ mS}$$

d) Das Kleinsignalersatzschaltbild ist in Abbildung 2 zu sehen.

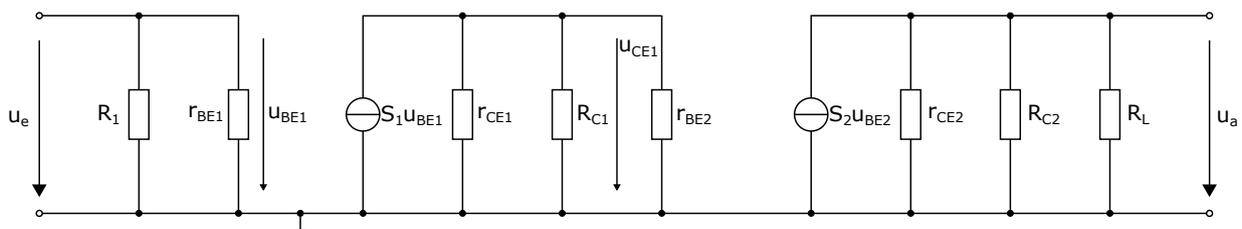


Abbildung 2

e) Berechnung von r_{e2} :

$$r_{e2} = \frac{\beta}{S_2} = \frac{300}{153,8 \text{ mS}} = 1,95 \text{ k}\Omega$$

Berechnung von A_g :

$$A_g = A_1 \cdot A_2$$

$$A_1 = -S_1 \cdot r_{a1} \quad \text{mit: } r_{a1} = r_{CE1} \parallel R_{C1} \parallel r_{BE2} = R_{C1} \parallel \frac{\beta}{S_2} = 1,23 \text{ k}\Omega$$

$$= -141,8$$

$$A_2 = -S_2 \cdot r_{a2} \quad \text{mit: } r_{a2} = r_{CE2} \parallel R_{C2} \parallel R_L = R_{C2} \parallel R_L = 500 \Omega$$

$$= -76,9$$

$$A_g = 10904$$

Aufgabe 2 (Stromquelle)

a) Bestimmung von $R_2 = \frac{U_{R2}}{I_D}$

$$U_{R2} + U_D = U_{BE} + U_{RE}$$

$$\text{mit: } U_D = U_{BE}, I_E = I_B + I_C = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\begin{aligned} U_{R2} &= R_E \cdot I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 1 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ mA} \left(1 + \frac{1}{400}\right) = 2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$I_D = I_B = \frac{I_C}{\beta} = 5 \mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_D} = \frac{2 \text{ V}}{5 \mu\text{A}} = 400 \text{ k}\Omega$$

Bestimmung von I_q

$$I_q = I_D + I_B = 10 \mu\text{A}$$

Bestimmung von R_1

$$R_1 = \frac{U_b - 0,7 \text{ V} - U_{R2}}{I_q} = \frac{12,3 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} = 1,23 \text{ M}\Omega$$

b) Berechnung des Ausgangswiderstandes:

$$r_a = r_{CE} = \frac{|U_a| + U_{CE,A}}{I_{C,A}} = \frac{(300 + 3) \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 151,5 \text{ k}\Omega$$

c) Durch die Diode wird die Temperaturabhängigkeit verringert. Die Diode wird üblicherweise durch einen identischen Transistor mit einer kurzgeschlossenen Basis-Kollektor-Diode realisiert und hat damit die gleiche Temperaturabhängigkeit wie die Basis-Emitter-Diode des Transistors wodurch diese temperaturabhängige Spannungsänderung kompensiert wird.

Aufgabe 3 (Differenzverstärker)

a) Die Transistoren T_1 und T_2 bewirken vorrangig die Differenzverstärkung. Die Transistoren T_5 und T_6 stellen die aktive Last dar und bilden mit T_5/M einen Stromspiegel. Die Transistoren T_3 und T_3/N bilden ebenfalls einen Stromspiegel.

b) $U_{a(1,2)}$ im Arbeitspunkt:

$$U_{a(1,2)} = +U_b - U_{DS(T4,T5)} = 3,3 \text{ V} - 2,3 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

c) Die Steilheit berechnet sich zu

$$S_{(1,2)} = \beta(U_{GS} - U_{th}) = 1 \text{ mA/V}^2(1,5 \text{ V} - 0,5 \text{ V}) = 1 \text{ mS}$$

d) Aus den angegebenen Steigungen der Ausgangskennlinien im Arbeitspunkt können die differentiellen Drain-Source Widerstände r_{DS} der Transistoren bestimmt werden.

p-Kanal:

$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right| = \frac{5 \mu\text{A}}{1 \text{ V}} = 5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega} \rightarrow r_{DS(T4,T5)} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega}} = 200 \text{ k}\Omega$$

n-Kanal:

$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right| = \frac{2 \mu\text{A}}{1 \text{ V}} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega} \rightarrow r_{DS,T3} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega}} = 500 \text{ k}\Omega$$

e) Definition von Gegentaktverstärkung:

$$A_D = \frac{u_{a(1,2)}}{u_{e,D}}$$

Zur Bestimmung der Gegentaktverstärkung ist es hilfreich, das Kleinsignalersatzschaltbild zu zeichnen. Die Transistoren T_4 , T_5 und T_3 werden mit ihrem differentiellen Drain-Source Widerstand ersetzt. Bei einem differentiellen Eingangssignal fällt über $r_{DS,3}$ keine Spannung ab. Somit entsteht eine virtuelle Masse an der Source der Transistoren T_1 und T_2 . Durch die Symmetrie entspricht diese Schaltung zwei Sourceschaltungen. Damit ergibt sich:

$$A_D = -\frac{S_1}{2}(r_{DS,T1} \parallel r_{DS,T4}) \approx -\frac{S_1}{2}r_{DS,T4} = -\frac{1 \text{ mS}}{2} \cdot 200 \text{ k}\Omega = -100$$

bzw.

$$A_D = -\frac{S_2}{2}(r_{DS,T2} \parallel r_{DS,T5}) \approx -\frac{S_2}{2}r_{DS,T5} = -\frac{1 \text{ mS}}{2} \cdot 200 \text{ k}\Omega = -100$$

f) Definition von Gleichtaktverstärkung:

$$A_D = \frac{u_{a(1,2)}}{u_{e,G}}$$

Auch hier ist es sinnvoll das Kleinsignalersatzschaltbild zu zeichnen. Durch Ausnutzung der Symmetrie kann $r_{CE,T3}$ in zwei Source-Widerstände aufgeteilt mit dem Wert $2r_{CE,T3}$. Nun fließt kein Strom zwischen der Source von T_1 und T_2 . Für Gleichtaktsignale verhält sich diese Schaltung wie zwei Sourceschaltungen mit Stromgegenkopplung . Damit ergibt sich:

$$A_G = -\frac{r_{DS,T1} \parallel r_{DS,T5}}{2r_{DS,T3}} \approx -\frac{r_{DS,T5}}{2r_{DS,T3}} - \frac{200 \text{ k}\Omega}{2 \cdot 500 \text{ k}\Omega} = -0,2$$

g) Die Gleichtaktunterdrückung berechnet sich zu

$$\text{CMRR} = \frac{|A_D|}{|A_G|} = \frac{100}{0,2} = 500$$