

9.3 I_D bei $|U_A| = 200V$, AP liegt im Sättigungsbereich(9.2)

$$\begin{aligned}
 I_D &= \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 \left(1 + \frac{U_{DS}}{|U_A|} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 153 \frac{\mu A}{V^2} (10V - 3V)^2 \left(1 + \frac{10V}{200V} \right) \\
 &= 76,5 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 49V^2 \cdot 1,05 = 3,936 mA
 \end{aligned}$$

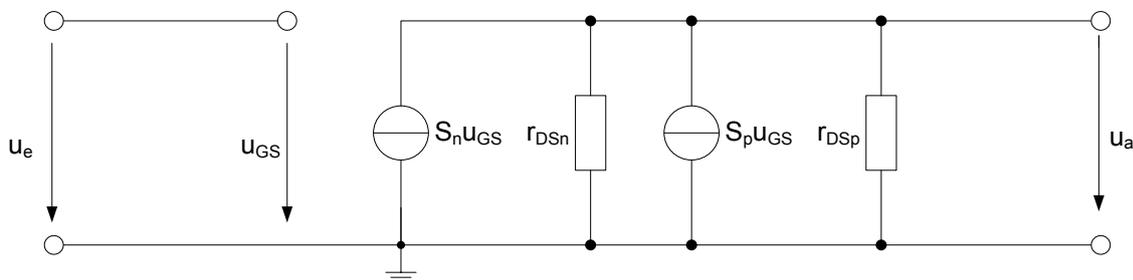
9.4 Verlustleistung im Arbeitspunkt

$$P_V = U \cdot I = U_b \cdot I_{D,A} = 20V \cdot 3,936 mA = 78,7 mW$$

9.5 Steilheit im Arbeitspunkt

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = \beta \cdot (U_{GS} - U_{th}) \cdot \left(1 + \frac{U_{DS}}{|U_A|} \right) \\
 &= 153 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 7V \cdot 1,05 = 1,125 mS
 \end{aligned}$$

9.6 Kleinsignal-Ersatzschaltbild :



9.7 Verstärkung A im Arbeitspunkt

$$A = \frac{u_a}{u_e} = - \frac{(S_n \cdot u_{GS} + S_p \cdot u_{GS}) \cdot (r_{DSn} \parallel r_{DSp})}{u_e} \stackrel{\substack{u_{GS}=u_e \\ S_n=S_p=S \\ r_{DSn}=r_{DSp}=r_{DS}}}{=} - \frac{u_e (2S \cdot \frac{r_{DS}}{2})}{u_e} = -S \cdot r_{DS}$$

$$r_{DSn} = r_{DSp} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D}$$

Berechnung von r_{DS}

$$r_{DS} = (|U_A| + U_{DS,A}) / I_{D,A} = 210V / 3,936 mA = 53,476 k\Omega$$

oder: Für 2 verschiedene Drain-Source Spannungen den Drainstrom berechnen:

1. Wert (Drainstrom im Arbeitspunkt): $I_{D1} = I_{DA} = 3,936 \text{ mA}$

2. Wert, z.B. bei $U_{DS} = 20 \text{ V}$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{th}) \cdot \left(1 + \frac{20 \text{ V}}{200 \text{ V}} \right) = 3,748 \text{ mA} \cdot 1,1 = 4,123 \text{ mA}$$

Damit ΔI_D bestimmen: $\Delta I_D = 4,123 \text{ mA} - 3,936 \text{ mA} = 187 \mu\text{A}$

mit $\Delta U_{DS} = 20 \text{ V} - 10 \text{ V} = 10 \text{ V}$ wird dann

$$\Rightarrow r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} = \frac{10 \text{ V}}{187 \mu\text{A}} = 53,476 \text{ k}\Omega$$

Damit kann die Verstärkung bestimmt werden:

$$A = -S \cdot r_{DS} = -1,125 \text{ mS} \cdot 53,476 \text{ k}\Omega = -60,2$$

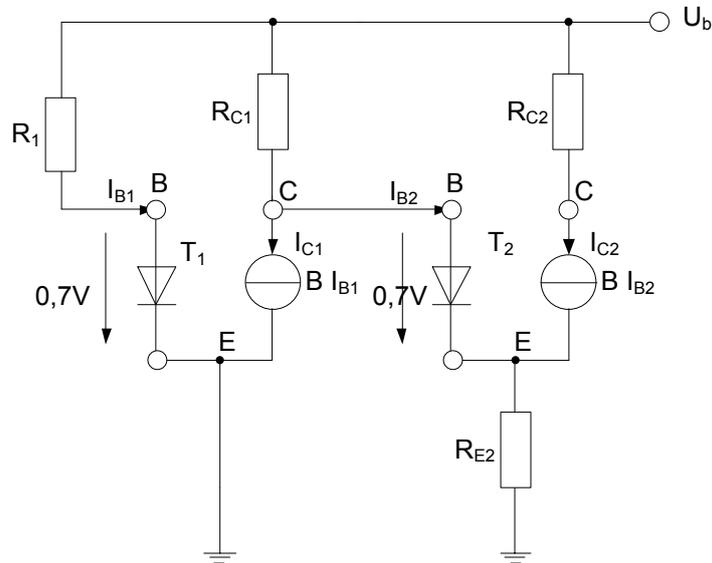
Aufgabe 10:

10.1 Grundsaltungen:

Großsignalverhalten: T₁: Emitterschaltung, T₂: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Kleinsignalverhalten: T₁: Emitterschaltung, T₂: Emitterschaltung

10.2 Großsignalersatzschaltbild



10.3

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} \quad \text{mit} \quad I_{B1} = \frac{U_b - 0,7V}{R_1} = \frac{15V - 0,7V}{1,43M\Omega} = \frac{14,3V}{1,43M\Omega} = 10\mu A$$

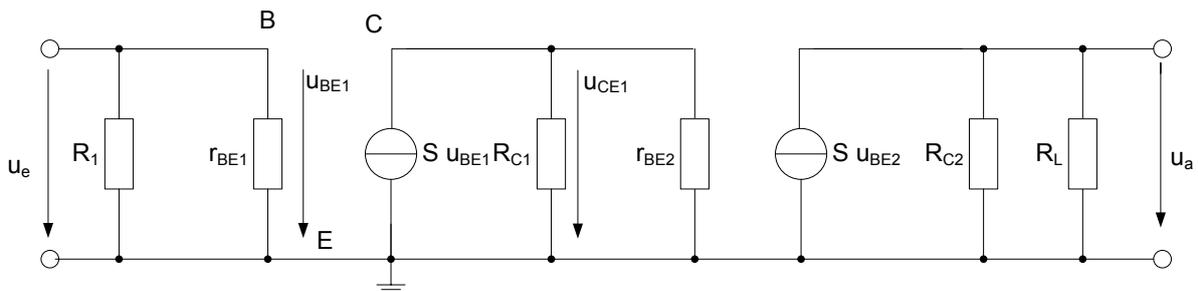
$$I_{C1} = 300 \cdot 10\mu A = 3mA$$

$$U_{CE1} = U_b - R_{C1} \cdot I_{C1} = 15V - 3,3k\Omega \cdot 3mA = 15V - 9,9V = 5,1V$$

$$\text{Mit } I_{C2} \approx I_{E2} \quad \text{und} \quad I_{E2} = \frac{U_{E2}}{R_{E2}} = \frac{U_{C1} - 0,7V}{R_{E2}} = \frac{4,4V}{1,1k\Omega} = 4mA \quad \text{ist} \quad I_{C2} = 4mA$$

$$S_1 = \frac{I_{C1,A}}{U_T} = \frac{3mA}{26mV} = 115,4mS \quad S_2 = \frac{I_{C2,A}}{U_T} = \frac{4mA}{26mV} = 153,8mS$$

10.4 Kleinsignalersatzschaltbild



10.5

$$u_{e,T2} = u_{CE1} \Rightarrow r_{e2} = \frac{\beta}{S_2} = \frac{300}{153,8 \text{ mS}} = 1,95 \text{ k}\Omega$$

$$A_g = A_1 \cdot A_2$$

$$A_1 = -S_1 \cdot r_{a1} \quad \text{mit} \quad r_{a1} = R_{C1} \parallel r_{e2} = \frac{3,3 \text{ k}\Omega \cdot 1,95 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega + 1,95 \text{ k}\Omega} = 1,225 \text{ k}\Omega$$

$$A_1 = -115,4 \text{ mS} \cdot 1,225 \text{ k}\Omega = -141,4$$

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

$$A_2 = -153,8 \text{ mS} \cdot 500 \Omega = -76,9$$

$$A_g = A_1 \cdot A_2 = -141,4 \cdot (-76,9) = 10873$$

Aufgabe 11:

11.1 I_q , R_1 und R_2 bestimmen:

Es gilt: $U_{BE} + U_{RE} = U_D + U_{R2}$

mit: $I_D = I_B = I_C / \beta = 5 \mu A$ und $U_D = U_{BE} = 0,7 V$

ist: $I_q = I_D + I_B = 10 \mu A$

$$U_{R2} = U_{RE} \Rightarrow R_2 = \frac{U_{R2}}{I_B} = \frac{2 V}{5 \mu A} = 400 k\Omega$$

Es ist: $U_b - U_D - I_q \cdot R_1 - I_B \cdot R_2 = 0$

damit wird

$$R_1 = \frac{U_b - U_D - U_{R2}}{I_q} = \frac{15 V - 0,7 V - 2 V}{10 \mu A} = 1,23 M\Omega$$

11.2

$$r_a = r_{CE} + R_E = \frac{|U_A| + U_{CE,A}}{I_{C,A}} + R_E = \frac{303 V}{2 mA} + 1 k\Omega = 152,5 k\Omega$$

11.3 Durch die Diode in der Schaltung nach Bild 11.1 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 12:

11.1. Wenn $U_{GS} = 1,5 \text{ V}$ ist, und $u_e = 0\text{V} + \hat{u}_e \sin \omega t$ folgt: $U_{e2} = 0 \text{ V}$

$$U_a \text{ im Arbeitspunkt: } U_a = +U_b - U_{DS,T5} = +3,3 \text{ V} - 2,3 \text{ V} = +1 \text{ V}$$

11.2. Steilheit:

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

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

p-Kanal:

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

n-Kanal:

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

Definitionen:

Gegentaktverstärkung:

$$A_D = \frac{u_{a2}}{u_{e1}} = \frac{u_{a1}}{u_{e2}} = A_{\text{Drain}} \cdot A_{\text{Gate}} = \frac{S \cdot R_S}{1 + S \cdot R_S} \cdot S \cdot R_D \approx S \cdot R_D \Big|_{S \cdot R_S \gg 1} \approx S \cdot r_{DS,p}$$

Gleichtaktverstärkung:

$$A_G = \frac{u_{a1}}{u_{e1}} = \frac{u_{a2}}{u_{e2}} \approx -\frac{R_D}{2R_S} = -\frac{r_{DS,p}}{2r_{DS,n}}$$

In dieser Aufgabe ist: $u_{e2} = 0\text{V}$ und $u_{e1} = u_e$. Damit ergibt sich

Damit werden:

11.4 Gegentaktverstärkung: $A_D \approx S \cdot r_{DS,p} = 1 \text{ mS} \cdot 200 \text{ k}\Omega = 200$
da $S R_S = 200 \gg 1$

11.5 Gleichtaktverstärkung: $A_G = -\frac{r_{DS,p}}{2 \cdot r_{DS,n}} = -\frac{200 \text{ k}\Omega}{2 \cdot 500 \text{ k}\Omega} = -0,2$

11.6 Gleichtaktunterdrückung: $CMRR = \frac{|A_D|}{|A_G|} = \frac{200}{0,2} = 1000$