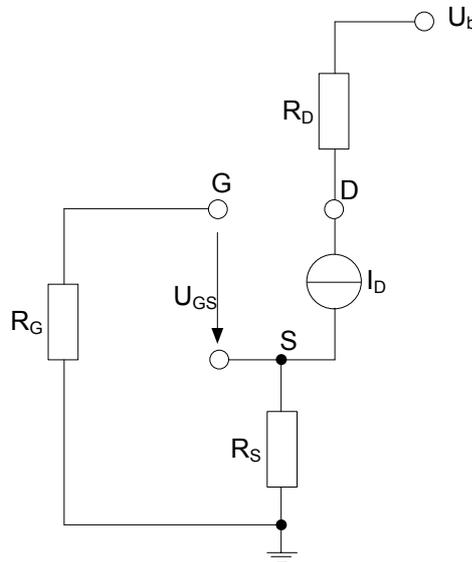


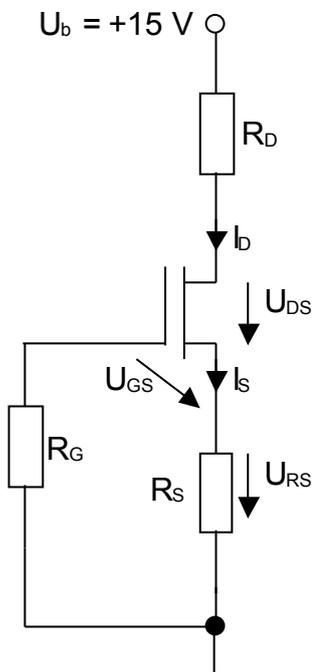
Aufgabe 8:

- 8.1 Großsignalverhalten: Sourceschaltung mit Stromgegenkopplung,
Kleinsignalverhalten: Sourceschaltung
Transistortyp: Selbstleitender n-Kanal MOSFET
- 8.2 Großsignalersatzschaltbild



- 8.3 Arbeitspunkt: U_{DS} , U_{GS} , für $I_D = 2 \text{ mA}$

1. Allgemeine Betrachtung der Schaltung:



Das Gate des MOSFET ist über R_G mit Masse verbunden. Da kein Strom in das Gate fließt, liegt das Gate ebenfalls auf Massepotential. Daraus folgt:

$$U_{GS} = -U_{RS}$$

Da $I_D = I_S$ ist, ist $U_{RS} = I_D R_S$

Mit $R_S = 500 \Omega$ und $I_D = 2 \text{ mA}$ wird $U_{RS} = 1 \text{ V} \Rightarrow U_{GS} = -1 \text{ V}$

2. Weg: **Annahme:** Der Arbeitspunkt der Schaltung liegt im aktiven Bereich (Sättigungsbereich). Damit gilt:

$$I_D = \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th})^2 = \frac{8 \text{ mA}}{4 \text{ V}^2} (U_{GS} + 2 \text{ V})^2$$

Daraus U_{GS} bestimmen. Es wird $U_{GS} = -1 \text{ V}$

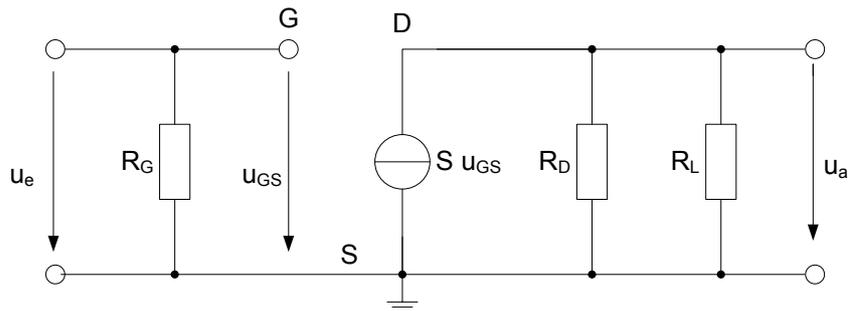
ABER !! Lsg über Quadratische Gl. liefert 2 Ergebnisse !!

Berechnung von U_{DS} :

$$U_b = I_D \cdot R_D + U_{DS} + I_D \cdot R_S \quad \Rightarrow \quad U_{DS} = U_b - I_D \cdot R_D - I_D \cdot R_S$$

$$U_{DS} = 15 \text{ V} - 5,4 \text{ V} - 1 \text{ V} = 8,6 \text{ V}$$

8.4 Kleinsignalersatzschaltbild



8.5 Steilheit im Arbeitspunkt

$$S = 2 \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th}) = 2 \frac{8 \text{ mA}}{4 \text{ V}^2} (-1 \text{ V} + 2 \text{ V}) = 4 \text{ mS}$$

8.6 Spannungsverstärkung

$$A = \frac{u_2}{u_1} = -S \cdot r_a$$

a) $R_L = \infty : r_a = R_D \rightarrow A = -S \cdot R_D = -4 \text{ mS} \cdot 2,7 \text{ k}\Omega = -10,8$

b) $R_L = 10 \text{ k}\Omega :$

$$r_a = (2,7 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega) = 2,125 \text{ k}\Omega$$

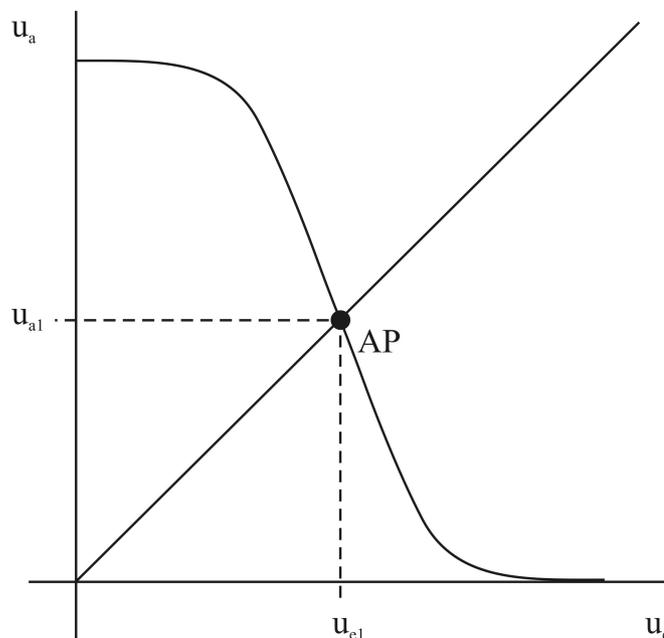
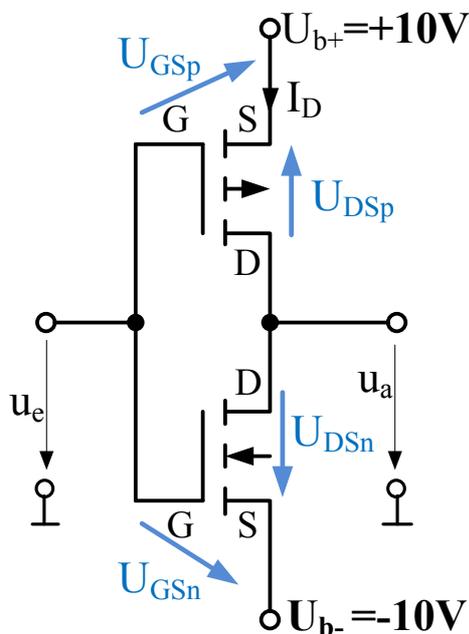
$$A = -4 \text{ mS} \cdot r_a = -4 \text{ mS} \cdot 2,125 \text{ k}\Omega = -8,5$$

Aufgabe 9:

9.1 $U_{th,n} = 3\text{ V}$, $U_{th,p} = -3\text{ V}$, $\beta = 153\ \mu\text{A/V}^2$
 $U_b = \pm 10\text{ V}$

Bed.: Arbeitspunkt bei $u_a = 0\text{ V}$ wenn $u_e = 0\text{ V}$

Allgemeine Betrachtung: Übertragungsfunktion



$$U_{GSn} = u_e - (U_{b-})$$

$$U_{GSp} = u_e - (U_{b+})$$

$$U_{DSn} = u_a - (U_{b-})$$

$$U_{DSp} = u_a - (U_{b+})$$

Definition AP: $u_a = u_e$

Wenn $u_e = 0\text{ V}$ ist, wird $U_{GSn} = +10\text{ V}$ und $U_{GSp} = -10\text{ V}$

Damit gilt: wenn $u_a = 0\text{ V}$ ist, wird $U_{DSn} = +10\text{ V}$ und $U_{DSp} = -10\text{ V}$

9.2

$$U_{GSn} = |U_{GSp}| = 10\text{ V} \quad , \quad U_{DSn} = |U_{DSp}| = 10\text{ V}$$

$$\text{prüfen, ob } U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th} \quad 10\text{ V} \geq 10\text{ V} - 3\text{ V} !!$$

Damit ist bewiesen: Im Arbeitspunkt sind beide Transistoren im Sättigungsbereich

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

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

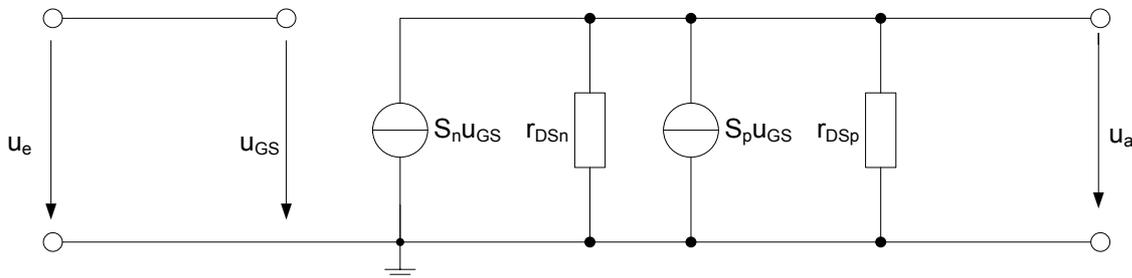
9.4 Verlustleistung im Arbeitspunkt

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

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

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

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

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:

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

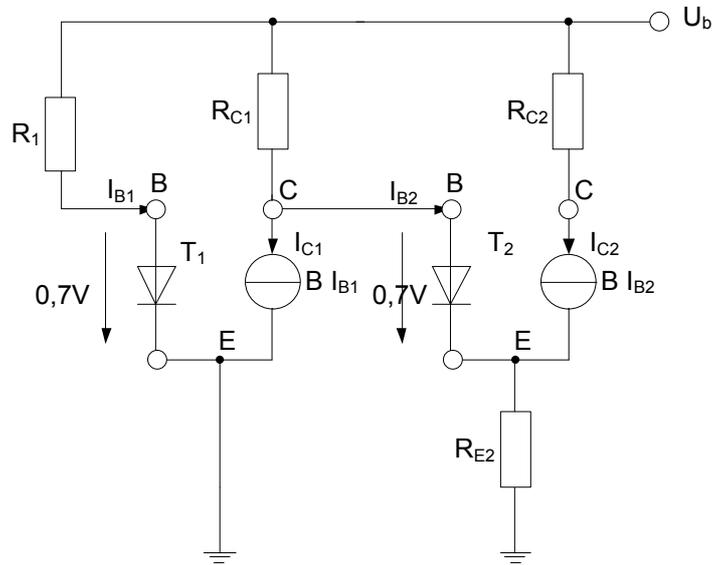
Aufgabe 10:

10.1 Grundsaltungen:

Großsignalverhalten: T₁: Emitterschaltung, T₂: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Kleinsignalverhalten: T₁: Emitterschaltung, T₂: Emitterschaltung

10.2 Großsignalersatzschaltbild



10.3

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

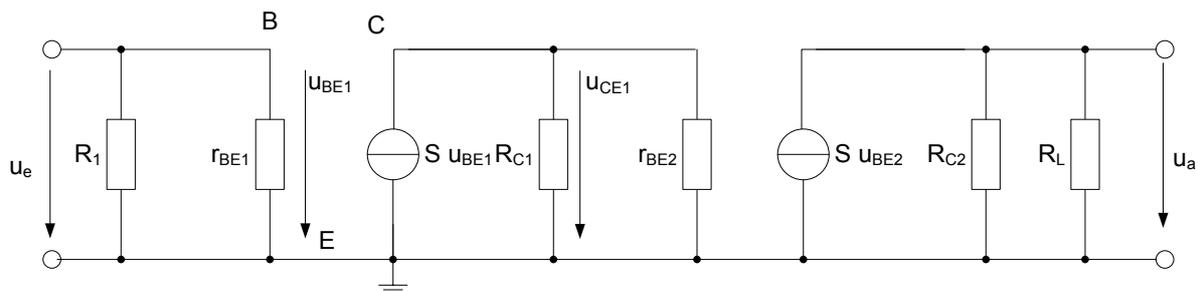
$$I_{C1} = 300 \cdot 10 \mu A = 3 mA$$

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

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

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

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