

Lösung Aufgabe 12 (CMOS –Verstärkerschaltung)

 12.1 U_{DS} , U_{GS} , I_D im Arbeitspunkt

Mit $U_b = 12\text{ V}$ wird aufgrund des Spannungsteilers U an den Gates der Transistoren:

$$U_{GS} = \frac{1}{2} U_b = 6\text{ V}$$

Da die Transistoren gleiche Schwellspannungen und den gleichen Faktor β besitzen, muss dies der ideale Arbeitspunkt für anlognen Betrieb sein. In diesem Fall ist auch $U_{DS} = 6\text{ V}$. I_D ist dann:

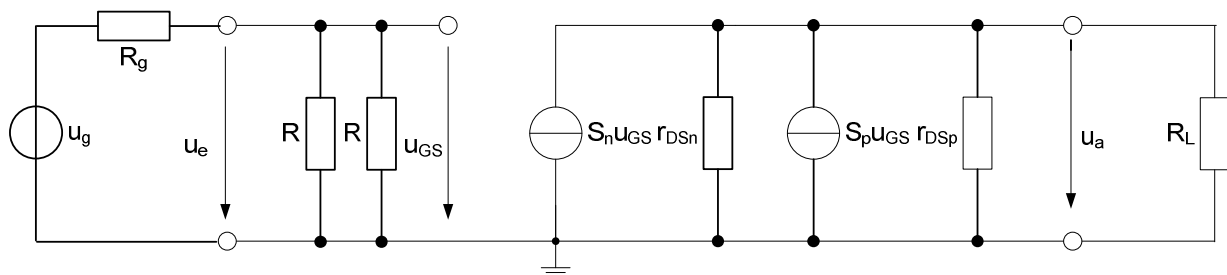
$$I_D = \frac{\beta}{2} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2 \left(1 + \frac{U_{DS}}{U_A} \right) = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} (6\text{ V} - 2\text{ V})^2 \cdot \left(1 + \frac{6\text{ V}}{400\text{ V}} \right)$$

$$|I_D| = 8\text{ mA} \cdot (1,015) = 8,12\text{ mA}$$

 12.2 Eingangswiderstand r_{ein} der Schaltung:

Wechselstrombetrieb: $\Rightarrow$ Kondensatoren sind Kurzschlüsse

Wechselstromersatzschaltbild zeichnen !



Zur Berechnung des Eingangswiderstandes des Verstärkers ist nur der linke Teil von Interesse.

(r_e = Widerstand, mit dem die Spannungsquelle belastet wird)

$$r_e = R \parallel R = \frac{1}{2} R = 5\text{ M}\Omega$$

Damit wird die Eingangsspannung zu:

$$u_e = u_g \frac{r_e}{r_e + R_g} = 0,03\text{ V} \frac{5\text{ M}\Omega}{5\text{ M}\Omega + 1\text{ M}\Omega} = 0,03\text{ V} \frac{5}{6} = 0,025\text{ V}$$

12.3 Steilheit und Spannungsverstärkung

$$S = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = \beta \cdot (U_{GS} - U_{th}) \cdot \left(1 + \frac{U_{DS}}{|U_A|}\right) = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \cdot (6 \text{ V} - 2 \text{ V}) \cdot \left(1 + \frac{6 \text{ V}}{400 \text{ V}}\right)$$

$$S = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot 1,015 = 4,06 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Die Spannungsverstärkung ist:

$$A = \frac{u_a}{u_e} = - \frac{(S_n \cdot u_{GS} + S_p \cdot u_{GS}) \cdot (r_{DSn} \parallel r_{DSp} \parallel R_L)}{u_e} \quad \begin{matrix} u_{GS}=u_e \\ S_n=S_p=S \\ r_{DSn}=r_{DSp}=r_{DS} \end{matrix}$$

$$= - \frac{u_e (2S \cdot (r_{DSn} \parallel r_{DSp} \parallel R_L))}{u_e} = -2 \cdot S \cdot (r_{DSn} \parallel r_{DSp} \parallel R_L) = -2 \cdot S \cdot r_a$$

Bestimmung von r_a :

Zuerst muss nun r_{DS} bestimmt werden.

1. Lösungsweg:

Allgemein ist $r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D}$, der Kehrwert der Steigung der Kennlinie, auf der wir den

Arbeitspunkt haben. Wir benötigen also ein ΔI_D für ein ΔU_{DS} . Nehmen wir z.B. $U_{DS} = 12 \text{ V}$ und berechnen I_D :

$$I_D = \frac{\beta}{2} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2 \left(1 + \frac{U_{DS}}{U_A}\right) = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} (6 \text{ V} - 2 \text{ V})^2 \cdot \left(1 + \frac{12 \text{ V}}{400 \text{ V}}\right)$$

$$I_D = 8 \text{ mA} \cdot (1,03) = 8,24 \text{ mA}$$

In 12.1 haben wir I_D im Arbeitspunkt für $U_{DS} = 6 \text{ V}$ berechnet. Damit wird

$$r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} = \frac{U_{DS2} - U_{DS1}}{I_{D2} - I_{D1}} = \frac{6 \text{ V}}{120 \mu\text{A}} = 50 \text{ k}\Omega$$

2. Lösungsweg:

Die Summe von Early-Spannung und U_{DS} bilden und durch den Drainstrom I_D im Arbeitspunkt dividieren:

$$r_{DS} = \frac{|U_A| + U_{DS,A}}{I_{D,A}} = \frac{400 \text{ V} + 6 \text{ V}}{8,12 \text{ mA}} = 50 \text{ k}\Omega$$

Damit wird r_a :

$$r_a = r_{DSn} \parallel r_{DSp} \parallel R_L = 7143 \Omega$$

Berechnung von A:

$$A = -2 \cdot S \cdot r_a = -2 \cdot 4,05 \frac{mA}{V} \cdot 7143 \frac{V}{A} = -57,85$$

12.4 Kapazitive Eigenschaften von CMOS

Allgemein gilt für einen MOSFET: $C_{GS} = C'_{ox} \cdot w \cdot l$

In der Aufgabe ist aber nur w_n und nicht w_p angegeben. deshalb erst einmal w_p berechnen:

es ist
$$\beta_n = \beta_p = \beta = \mu_n \cdot C'_{ox} \cdot \frac{w_n}{l} = \mu_p \cdot C'_{ox} \cdot \frac{w_p}{l}$$

damit wird
$$w_p = w_n \frac{\mu_n}{\mu_p} = w_n \frac{1200}{400} = 3 \cdot w_n = 15 \mu m$$

Jetzt können wir die Gate-Source Kapazitäten der beiden Transistoren berechnen.

$$C_{GSn} = C'_{ox} \cdot w_n \cdot l = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{t_{ox}} \cdot w_n \cdot l = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 4,6}{20 \cdot 10^{-9} m} 5 \cdot 10^{-6} m \cdot 1 \cdot 10^{-6} m$$

$$C_{GSn} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{F}{m^2} \cdot 5 \cdot 10^{-12} m^2 = 10 \cdot 10^{-15} F = 10 fF$$

$$C_{GSp} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{F}{m^2} \cdot 15 \cdot 10^{-12} m^2 = 30 fF$$

$$C_{ein} = C_{GSn} + C_{GSp} = 40 fF$$

Mit Werten in ()

$$C_{GSn} = C'_{ox} \cdot w_n \cdot l = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{t_{ox}} \cdot w_n \cdot l = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 4,52}{24 \cdot 10^{-9} m} 5 \cdot 10^{-6} m \cdot 1 \cdot 10^{-6} m$$

$$C_{GSn} = 1,66675 \cdot 10^{-3} \frac{F}{m^2} \cdot 5 \cdot 10^{-12} m^2 = 10 \cdot 10^{-15} F = 8,33 fF$$

$$C_{GSp} = 1,66675 \cdot 10^{-3} \frac{F}{m^2} \cdot 15 \cdot 10^{-12} m^2 = 25 fF$$

$$C_{ein} = C_{GSn} + C_{GSp} = 33,33 fF$$

12.5 Blindwiderstand des Eingangs der CMOS-Schaltung

Bisher haben wir uns nur mit dem ohmschen Eingangswiderstand einer Schaltung befasst. Hier soll nun erstmals eine Betrachtung der Eingangsimpedanz vorgenommen werden. Dazu benötigen wir den minimalen Blindwiderstand, d.h. X_C bei der oberen Grenzfrequenz.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{\text{ein}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20000 \frac{1}{s} \cdot 40 \cdot 10^{-15} \frac{As}{V}} = 198,94 \text{ M}\Omega$$

Mit Werten in()

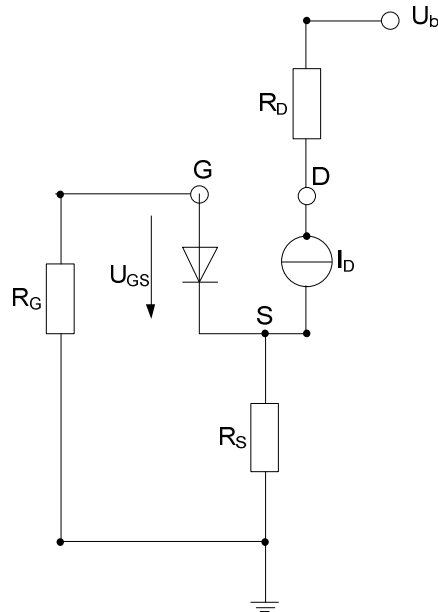
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{\text{ein}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20000 \frac{1}{s} \cdot 33,33 \cdot 10^{-15} \frac{As}{V}} = 238,75 \text{ M}\Omega$$

Der ohmsche Eingangswiderstand der Schaltung war $r_{\text{ein}} = 5 \text{ M}\Omega$. Er ist hier noch sehr viel kleiner, als die durch die Eingangskapazität verursachte Reaktanz und bestimmt damit wesentlich den tatsächlichen Eingangswiderstand.

Lösung Aufgabe 13

13.1 Sourceschaltung mit Gleichstromgegenkopplung

13.2 Großsignalersatzschaltbild



13.3 Der Drainstrom I_{D0} ist definiert, als der Strom im Sättigungsbereich des Kennlinienfeldes bei $U_{GS} = 0 \text{ V} \Rightarrow I_{D0} = 10 \text{ mA}$

13.4

Da $I_D = I_S$ ist:

$$R_S = \frac{-U_{GS}}{I_D} = \frac{2 \text{ V}}{2,5 \text{ mA}} = 800 \, \Omega$$

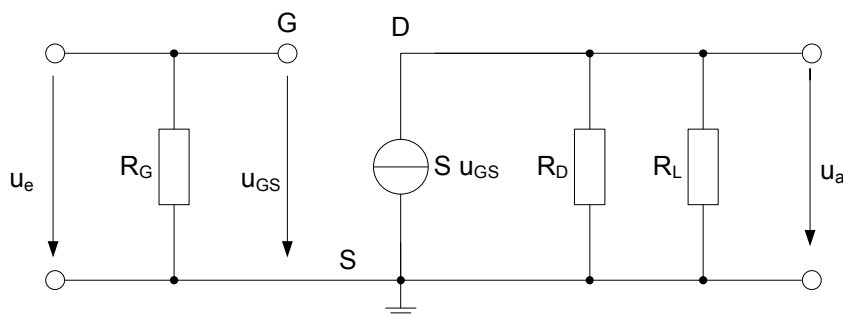
13.5 Die Einstellung des Arbeitspunkts der Schaltung erfolgt durch Gleichspannungen. Zwischen U_b und Masse liegt R_D , der Transistor (U_{DS}) und R_S . Der Gesamtwiderstand ist damit: $R_D + R_S = 4,4 \text{ k}\Omega$. Die Lastgerade hat damit die Steigung: $-1 / (R_D + R_S)$

oder : $I = U_b / (R_D + R_S)$ für $U_{DS} = 0 \Rightarrow I = 20 \text{ V} / 4,4 \text{ k}\Omega = 4,545 \text{ mA}$

$U_{DS} = U_b = 20 \text{ V}$ für $I_D = 0$

$\Rightarrow$ Gerade zeichnen zwischen $U_{DS} = U_b = 20 \text{ V}$, $I_D = 0$ und $U_{DS} = 0 \text{ V}$, $I_D = 4,545 \text{ mA}$ (siehe Kennlinienfeld nächste Seite – durchgezogene Linie)

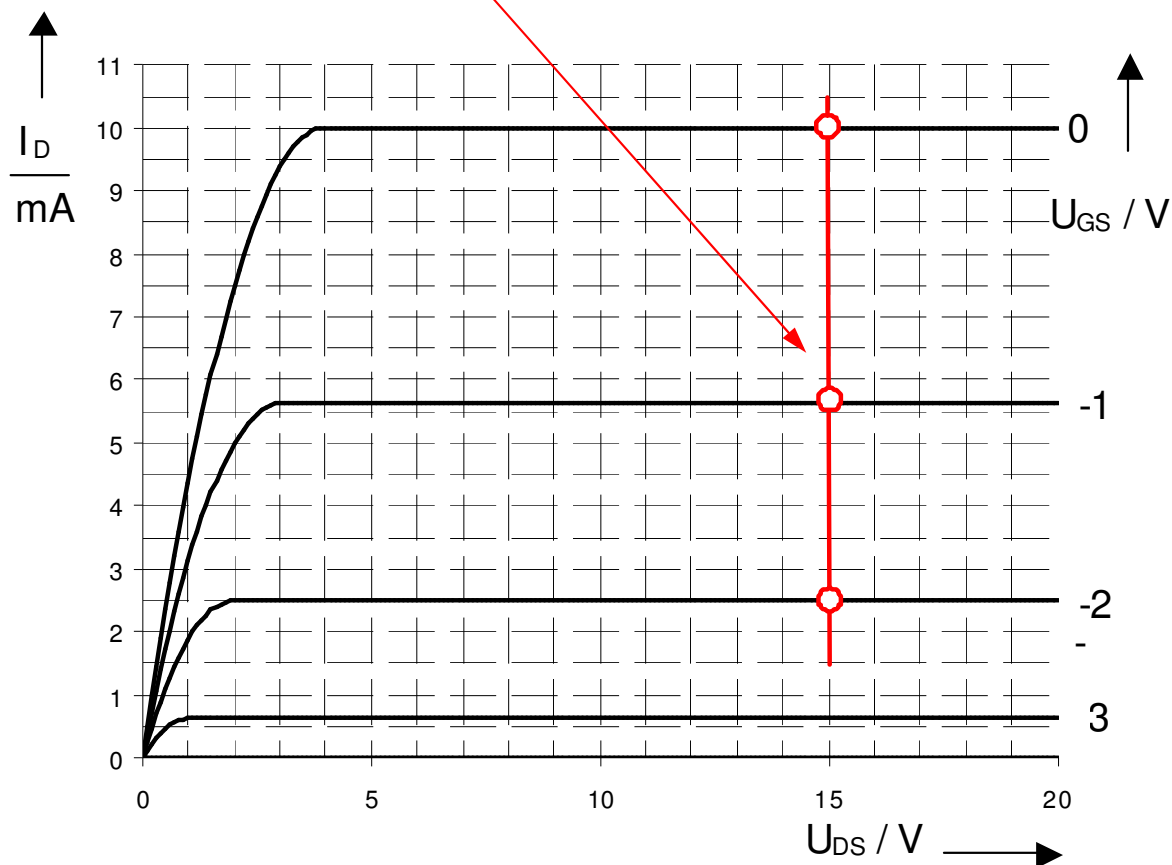
13.6



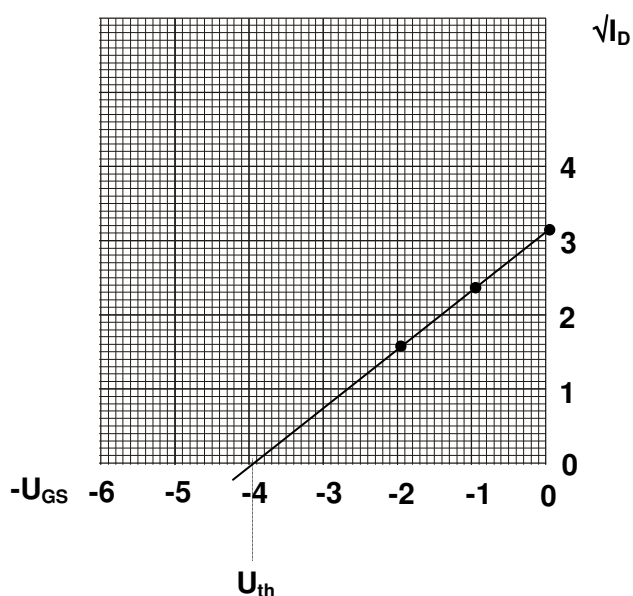
13.7 Eingangswiderstand: Der differentielle Eingangswiderstand des Transistors wird als sehr groß ($\Rightarrow \infty$) angenommen. Deshalb gilt:

$$r_e = R_G = 820 \text{ k}\Omega$$

13.8 Aus Kennlinienfeld Wertepaare ermitteln, $\sqrt{I_D}$ ausrechnen und in Diagramm eintragen.



U_{GS}/V	I_D/mA	$\sqrt{I_D}$
0	10	3,16
-1	5,6	2,37
-2	2,5	1,58



Der Schnittpunkt mit der U_{GS} -Achse ist die Schwellspannung.

13.9 Die Steilheit S ist definiert als:

$$S = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = 2 \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th}) \quad \text{mit } U_{GS} = -2 \text{ V}, \quad U_{th} = -4 \text{ V} \quad \text{und } I_{D0} = 10 \text{ mA}$$

$$\text{wird: } S = 2 \frac{10 \text{ mA}}{16 \text{ V}^2} (-2 \text{ V} + 4 \text{ V}) = 2,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Die Spannungsverstärkung der Schaltung ist:

$$A = \frac{u_a}{u_e}, \quad u_e = u_{GS}, \quad u_a = -S \cdot u_{GS} (R_D \parallel R_L)$$

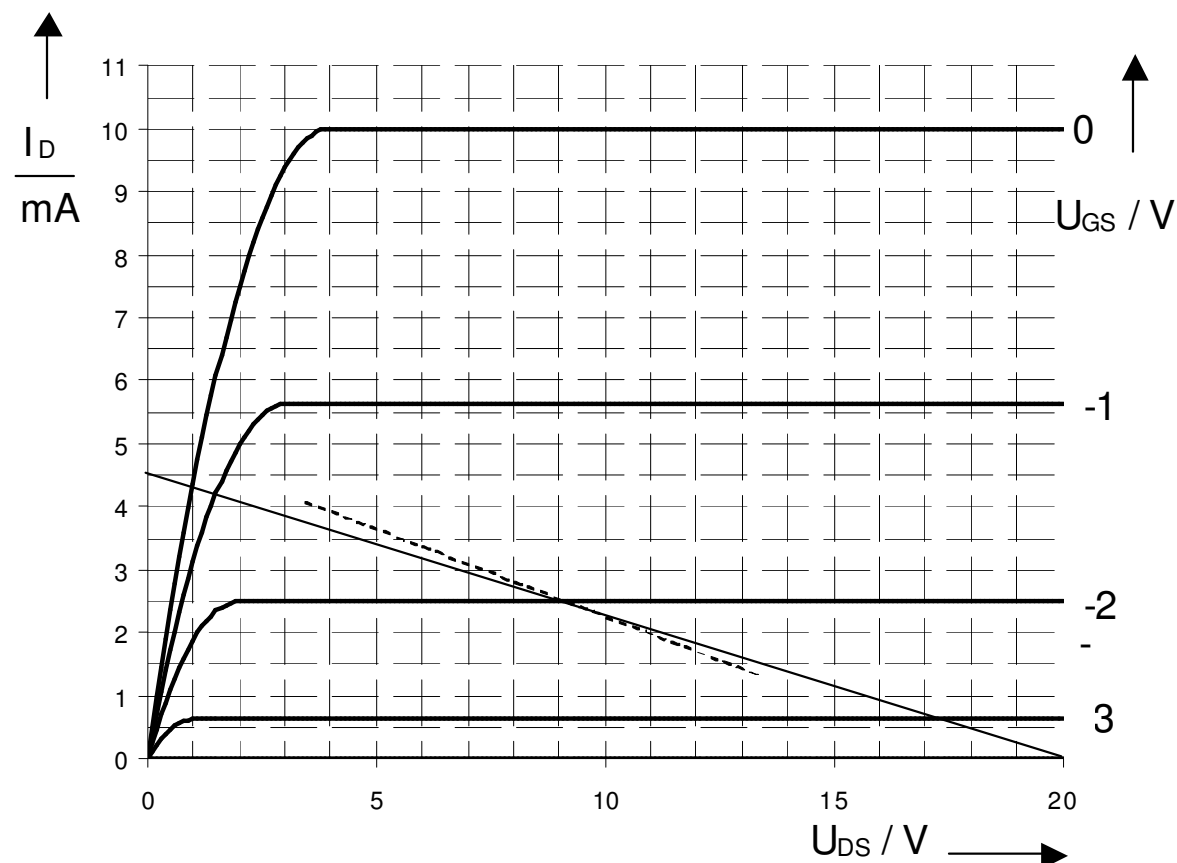
$$A = -S (3,6 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ M}\Omega) = -2,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}} 3,6 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{A}} = -9$$

13.10

Der Lastwiderstand bei Wechselspannung ist $R_D \parallel R_L \approx 3,6 \text{ k}\Omega$.

$\Rightarrow$ Die Steigung der Lastgeraden im Arbeitspunkt ist: $-1 / 3,6 \text{ k}\Omega = -0,277 \text{ mA} / \text{V}$

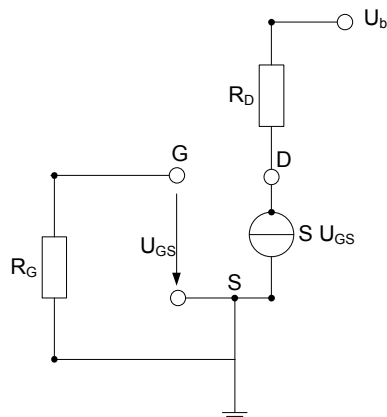
(gestrichelte Gerade im Kennlinienfeld)



Lösung Aufgabe 14

14.1 Sourceschaltung

14.2 Großsignalersatzschaltbild



14.3 Der sogenannte lineare oder ohmsche Bereich eines Feldeffekttransistors ist der Bereich des Kennlinienfeldes, in dem die Kennlinie noch ansteigt. Es gilt: $U_{DS} < U_{GS} - U_{th}$

Der Sättigungsbereich (Arbeitsbereich für analoge Schaltungen) ist der Bereich des Kennlinienfeldes, in dem die Kennlinie einen etwa konstanten Strom liefert. Es gilt:

$$U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$$

Folgende Werte sind gegeben: $U_{th} = -1,5 \text{ V}$, $U_{GS} = 2 \text{ V}$, $U_{DS} = 2 \text{ V}$

$\Rightarrow 2 \text{ V} < 3,5 \text{ V} \Rightarrow$ linearer Bereich

$$I_D = 2 \cdot \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} \left[(U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{(U_{DS})^2}{2} \right]$$

$$I_D = 2 \cdot \frac{5 \text{ mA}}{(-1,5 \text{ V})^2} \left[(2 \text{ V} - (-1,5 \text{ V})) \cdot 2 \text{ V} - \frac{(2 \text{ V})^2}{2} \right]$$

$$I_D = \frac{10 \text{ mA}}{2,25 \text{ V}^2} [7 \text{ V}^2 - 2 \text{ V}^2] = 22,2 \text{ mA}$$

14.4 Wenn der Arbeitspunkt bei der Hälfte der Versorgungsspannung liegen soll, dann muss gelten:

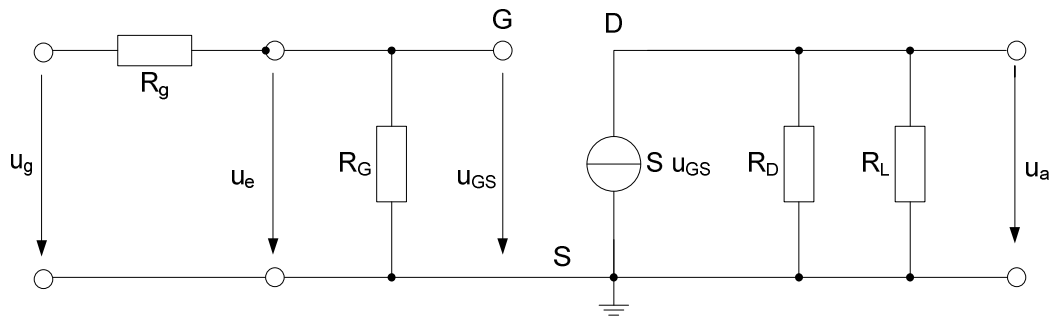
$$R_D = \frac{\frac{U_b}{2}}{I_{D0}} = \frac{10 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

14.5 Steilheit

$$S = 2 \cdot \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th})$$

$$\text{bei } U_{GS} = 0 \text{ V}, \quad : S = 2 \cdot \frac{5 \text{ mA}}{2,25 \text{ V}^2} (1,5 \text{ V}) = 6,6 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

14.6 Kleinsignalersatzschaltbild



14.7 Widerstandswert für U_G

Mit der Bedingung $u_e = \pm 0,05 \text{ V}$ und $u_g = \pm 0,1 \text{ V}$ und $I_G = 0$ gilt:

$$u_e = u_g \frac{R_G}{R_G + R_g} \Rightarrow R_G = R_g \frac{u_e}{u_g - u_e} = R_g = 510 \text{ k}\Omega$$

14.8 Betrag der Spannungsverstärkung soll minimal 10 werden

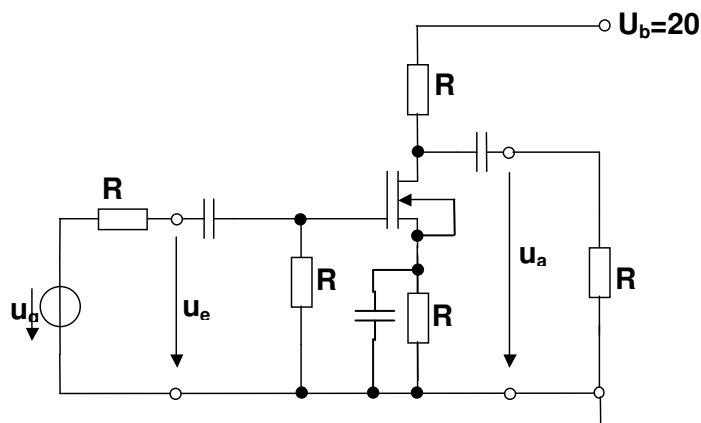
mit $|A| = S R_{\text{Leff}} \geq 10$ und $S = 6,67 \text{ mA/V}$

wird $R_{\text{Leff}} \geq 1500 \Omega$

$$R_{\text{Leff}} = \frac{R_D \cdot R_L}{R_D + R_L} \Rightarrow R_L = \frac{R_D \cdot R_{\text{Leff}}}{R_D - R_{\text{Leff}}} = \frac{2000 \Omega \cdot 1500 \Omega}{(2000 - 1500) \Omega} = 6000 \Omega$$

14.9 Der Arbeitspunkt kann nur durch Hinzufügen eines Widerstands am Source eingestellt werden.

Um die Wechselspannungsverstärkung zu erhalten muss noch ein C parallel geschaltet werden. (Sorceschaltung mit Gleichstromgegenkopplung)



$$I_D = \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th})^2 = \frac{5 \text{ mA}}{(-1,5 \text{ V})^2} (-0,5 \text{ V} - (-1,5 \text{ V}))^2 \Rightarrow I_D = \frac{5 \text{ mA}}{2,25 \text{ V}^2} [1 \text{ V}^2] = 2,22 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow R_S = \frac{0,5 \text{ V}}{2,22 \text{ mA}} = 225 \Omega \quad ; \quad U_{DS} = U_b - I_D (R_D + R_S) = 20 \text{ V} - 2,22 \text{ mA} \cdot 2225 \Omega = 15,05 \text{ V}$$

Damit U_{DS} wieder 10 V wird, muss R_D größer werden, aber bei einer anderen Gate-Source Spannung ändert sich auch die Steilheit.

$$U_b = R_D \cdot I_D + U_{DS} + R_S \cdot I_D \Rightarrow 20 \text{ V} = R_D \cdot I_D + 10 \text{ V} + 0,5 \text{ V} \Rightarrow R_D = \frac{9,5 \text{ V}}{2,22 \text{ mA}} = 4,28 \text{ k}\Omega$$

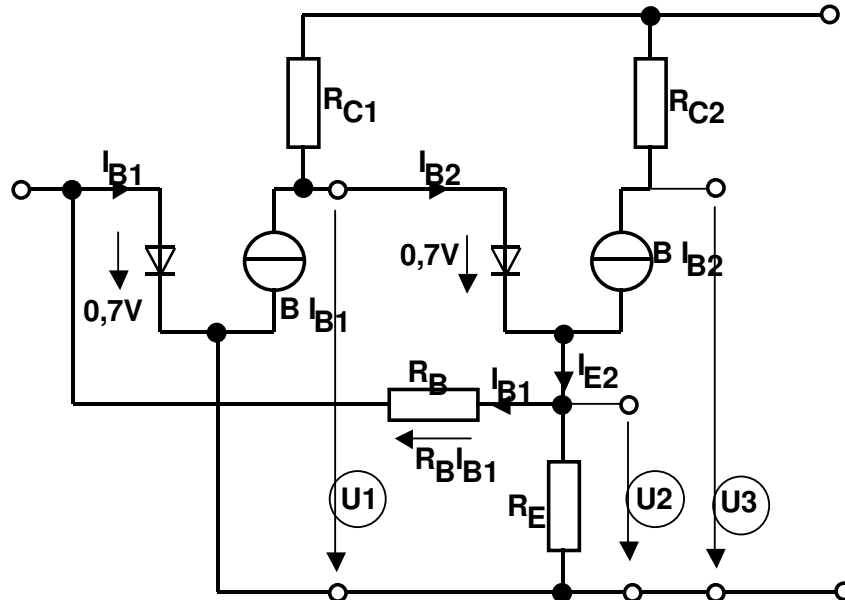
$$S = 2 \cdot \frac{5 \text{ mA}}{(-1,5 \text{ V})^2} (-0,5 \text{ V} - (-1,5 \text{ V})) = \frac{10 \text{ mA}}{2,25 \text{ V}^2} \cdot 1 \text{ V} = 4,444 \text{ mS}$$

$$A = -S \cdot r_a = -4,444 \text{ mS} \cdot 4,28 \text{ k}\Omega \parallel 6 \text{ k}\Omega = -4,444 \text{ mS} \cdot 2,498 \text{ k}\Omega = -11,1$$

Lösung Aufgabe 15:

Gegeben sind: $B = \beta = 100$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$, $R_{C1} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_{C2} = 12 \text{ k}\Omega$, $R_B = 330 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1,8 \text{ k}\Omega$, und $U_b = 12 \text{ V}$.

Großsignalersatzschaltbild der gesamten Schaltung



Berechnung der Gleichspannungen an den Punkten 1,2 und 3 der Schaltung

Aus dem Ersatzschaltbild können folgende Gleichungen erstellt werden:

$$U_2 = (I_{E2} - I_{B1}) R_E = R_B I_{B1} + 0,7 \text{ V}$$

$$U_1 = 0,7 \text{ V} + U_2 = 0,7 \text{ V} + R_B I_{B1} + 0,7 \text{ V} = 1,4 \text{ V} + R_B I_{B1}$$

$$I_{E2} = I_{B1} + \frac{U_2}{R_E} = I_{B1} + \frac{R_B \cdot I_{B1} + 0,7 \text{ V}}{R_E} = \frac{0,7 \text{ V}}{R_E} + \left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right) \cdot I_{B1}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{B+1} = \frac{1}{B+1} \left(I_{B1} + \frac{U_2}{R_E} \right) = \frac{1}{B+1} \left[\frac{0,7 \text{ V}}{R_E} + \left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right) \cdot I_{B1} \right]$$

$$U_1 = 1,4 \text{ V} + R_B \cdot I_{B1} = U_V - R_{C1} (I_{C1} + I_{B2})$$

$$1,4 \text{ V} + R_B \cdot I_{B1} = 12 \text{ V} - R_{C1} \left\{ B \cdot I_{B1} + \frac{1}{B+1} \left[\frac{0,7 \text{ V}}{R_E} + \left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right) \cdot I_{B1} \right] \right\}$$

$$I_{B1} \left[R_B + B \cdot R_{C1} + \frac{R_{C1}}{B+1} \left(1 + \frac{R_B}{R_E}\right) \right] = 12 \text{ V} - 1,4 \text{ V} - \frac{0,7 \text{ V} \cdot R_{C1}}{(B+1) \cdot R_E} = 10,22 \text{ V}$$

Zahlenwerte in die Gleichung einsetzen und I_{B1} ausrechnen
damit in Gleichung für I_{B2}
und damit wird $I_{C2} = \beta I_{B2}$

$$\Rightarrow I_{B1} = 0,972 \mu A$$

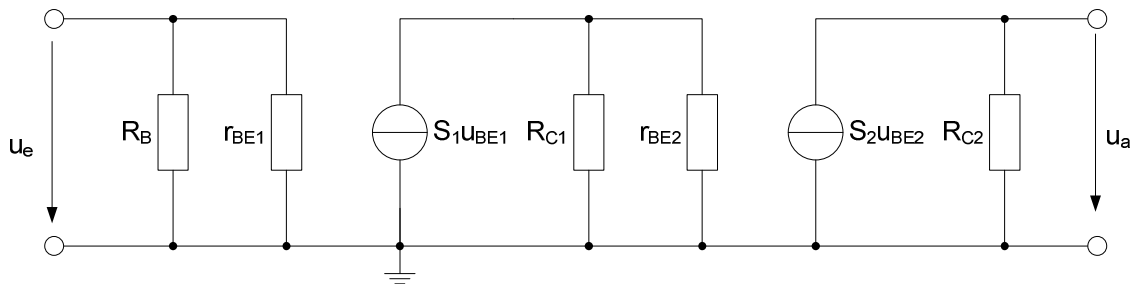
$$\Rightarrow I_{B2} = 5,62 \mu A$$

$$\Rightarrow I_{C2} = 0,562 mA$$

Damit lassen sich die Spannungen an den Punkten 1,2 und 3 berechnen:

$$U_1 = 1,72 V, \quad U_2 = 1,02 V, \quad U_3 = 5,25 V$$

15.3 Kleinsignalersatzschaltbild



15.4 r_e

$$r_e = R_B \parallel r_B \quad \text{mit } r_B = \beta / S$$

deshalb:

$$S_1 = \beta I_{B1} / U_T = 3,77 mA / V$$

$$r_e = R_B \parallel r_B = 330 k\Omega \parallel 26,5 k\Omega = 24,5 k\Omega$$

15.5 r_a

An der Schaltung ist kein Lastwiderstand angeschlossen. Damit ist

$$r_a = R_{C2} = 12 k\Omega$$

15.6 Spannungsverstärkung der Schaltung

$$A = \frac{u_a}{u_e} = \frac{u_a}{u_{12}} \frac{u_{12}}{u_e} = A_2 \cdot A_1$$

$$A_1 = -S_1 \cdot R_{L1} = -S_1 \cdot (R_{C1} \parallel r_{B2}) = -S_1 \cdot \left(R_{C1} \parallel \frac{\beta}{S_2} \right) \quad \text{mit } S_2 = \frac{I_{C2}}{U_T} = 21,6 mS$$

wird

$$A_1 = -13,7$$

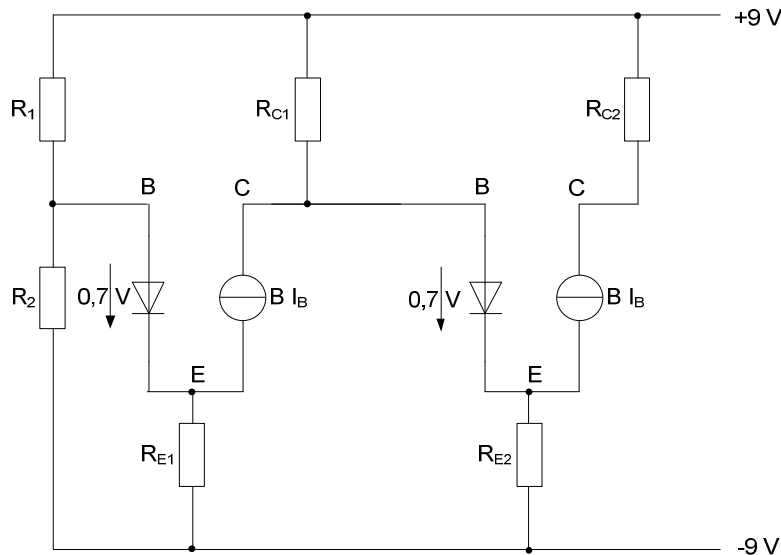
$$A_2 = -S_2 \cdot R_{L2} = -S_2 \cdot R_{C2} = -259,2$$

$$A = A_2 \cdot A_1 = -236,4 \cdot -13,7 = 4276$$

16.1 T1: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

T2: Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung

16.2 Großsignalersatzschaltbild



16.3

$$U_{R2} = U_{bges} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 18V \frac{3k\Omega}{(3+15)k\Omega} = 3V \Rightarrow U_{RE1} = U_{R2} - 0,7V = 2,3V$$

damit:

$$I_{E1} = \frac{2,3V}{1k\Omega} = 2,3mA \approx I_{C1}$$

$$U_{CE1} = 18V - 2,3V - R_{C1} \cdot I_{C1} = 15,7V - 10,81V = 4,89V$$

$$S_1 = \frac{I_{C1,A}}{U_T} = \frac{2,3mA}{26mV} = 88,5m$$

16.4

Die Spannung an der Basis von T₂ ist dann:

$$U_B = U_{CE1} + U_{RE1} = 4,89V + 2,3V = 7,19V$$

damit ist:

$$U_{RE2} = U_B - 0,7V = 6,49V$$

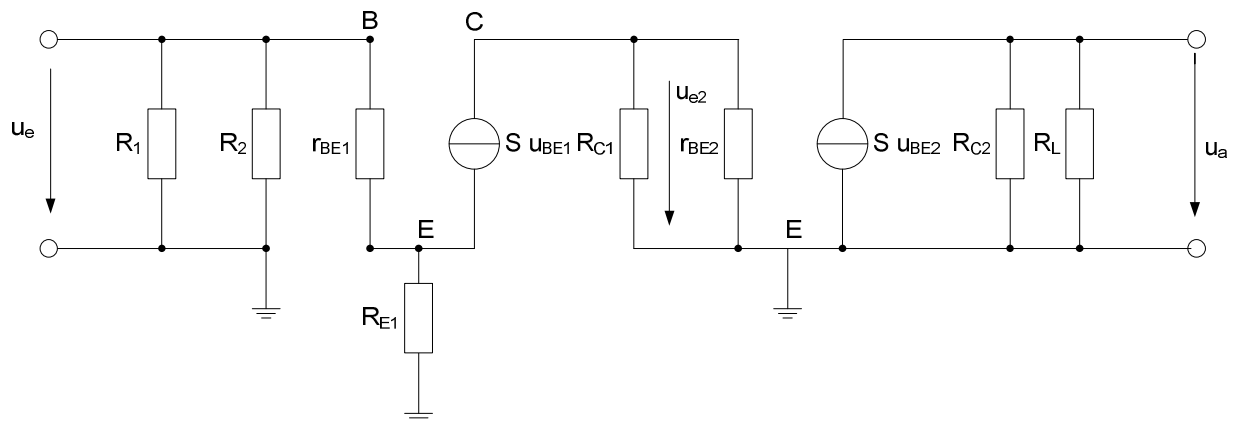
und damit wird

$$I_{E2} = \frac{6,49V}{2k\Omega} = 3,245mA \approx I_{C2}$$

$$U_{CE2} = 18V - U_{RE2} - R_{C2} \cdot I_{C2} = 18V - 6,49V - 3,25V = 8,26V$$

$$S_2 = \frac{I_{C2,A}}{U_T} = \frac{3,245mA}{26mV} = 124,8mS$$

16.5 Kleinsignalersatzschaltbild



$$16.6 \quad r_{e2} = \frac{\beta}{S_2} = \frac{400}{124,8 \text{ mS}} = 3,2 \text{ k}\Omega$$

$$16.7 \quad r_{a2} = R_{C2} \parallel R_L = \frac{1 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ k}\Omega}{11 \text{ k}\Omega} = 910 \Omega$$

16.8

$$A_g = A_1 \cdot A_2$$

$$A_1 = -\frac{r_{a1}}{R_{E1}} = -\frac{R_{C1} \parallel r_{e2}}{R_{E1}} = -\frac{4,7 \text{ k}\Omega \parallel 3,3 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = -1,9$$

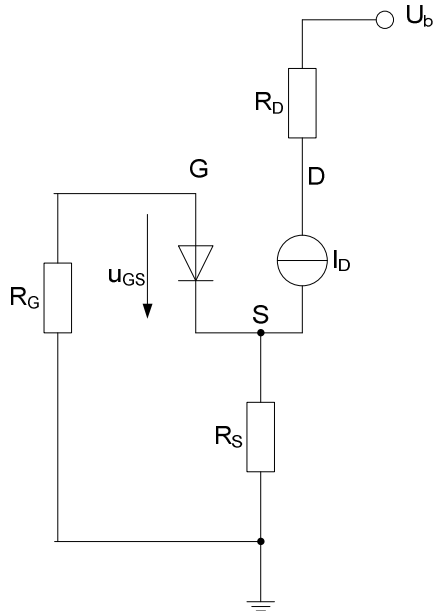
$$A_2 = -S_2 \cdot r_{a2} = -124,8 \text{ mS} \cdot 910 \Omega = -113,6$$

$$A_g = -1,9 \cdot (-113,6) = 215,8$$

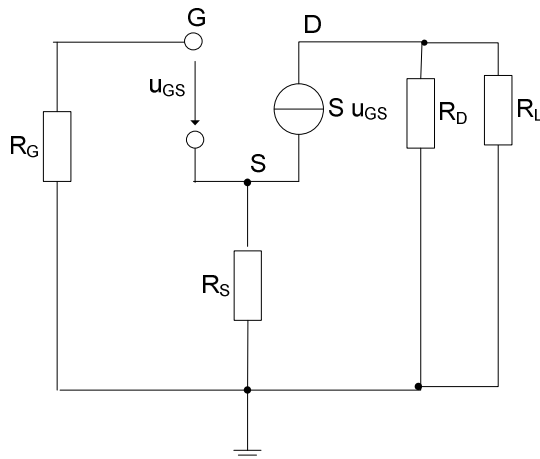
Lösung Aufgabe 17

17.1 Source Schaltung mit Stromgegenkopplung

17.2 Großsignalersatzschaltbild



17.3



17.4 Der Transistor verträgt laut Datenblatt maximal 250mW (P_{tot}).

Bei 24 V Versorgungsspannung und Vernachlässigung der Spannungsabfälle über R_D und R_S ergibt sich der maximale Strom zu:

$$I_{max} = 250\text{mW}/24\text{V} = 10,42 \text{ mA}$$

17.5 Die Diode ist immer in Sperrrichtung betrieben. Es fließen maximal 1nA Sperrstrom.

17.6 gesucht ist I_{D0} , das ist der Strom I_D , der bei $u_{gs} = 0$ fließt, er beträgt laut Datenblatt maximal 15mA.

17.7 Der minimale Gatestrom fließt über R_G ab, daher liegt die Spannung an:
 $U_g = 1 \text{ nA} * 250 \text{ k}\Omega = 0,25 \text{ mV}$. Selbst bei idealer Betrachtung, sprich wenn kein Gatestrom fließen würde, wäre R_G notwendig, um das Potential am Gate auf Masse zu ziehen.

17.8 u_{GS} muss immer negativ sein, damit der JFET richtig funktioniert. Da die Versorgungsspannung nicht negativ ist, muss das Source Potential durch R_S angehoben werden. Man kann R_S also nicht weglassen.

17.9 U_{th} beträgt -3,8V.