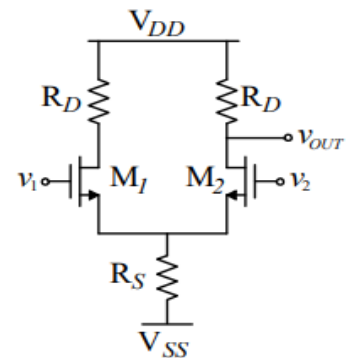


Jul 2020

6. U kolu diferencijalnog pojačavača sa slike poznati su parametri:  $V_{DD} = -V_{SS} = 8V$ ,  $R_D = 5k\Omega$ ,  $V_T = 3V$ ,  $k_n = 2mA/V^2$ ,  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ . Potrebno je:

- [8] Odrediti otpornost  $R_S$  tako da vrednost izlaznog napona u mirnoj radnoj tački ( $v_1 = v_2 = 0$ ) bude  $V_{OUT} = 3V$ .
- [9] Nacrtati ekvivalentnu šemu pojačavača za male signale pri diferencijalnoj pobudi i odrediti izraz za diferencijalno pojačanje  $A_d = v_{out}/v_d$ ,  $v_d = v_1 - v_2$ .
- [3] Izračunati vrednost diferencijalnog pojačanja.



6. a) U MRT u kolu diferencijalnog pojačavača postoji simetrija. Jedna od posledica te simetrije jeste jednakost struja dregnova tranzistora  $M_1$  i  $M_2$ . Dakle, ukoliko odredimo struju tranzistora  $M_1$ , to znači da smo odredili i struju tranzistora  $M_2$  i obratno. Postavkom zadatka je zahtevano da u MRT izlazni napon bude jednak 3V. Iz ovog zahteva možemo odrediti struju dregna koristeći sledeću jednakost  $V_{OUT} + I_{D2} R_D = V_{DD}$  odakle sledi:

$$I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_{OUT}}{R_D} = 1mA$$

Kao što smo već rekli, na osnovu simetrije važi da su struje dregnova tranzistora  $M_1$  i  $M_2$  u MRT jednake i iznose po 1mA. Na osnovu poznatih vrednosti struja dregnova, ova dva tranzistora, možemo odrediti i struju  $I_{SS}$  kroz otpornik  $R_{SS}$ . Vrednost ove struje data je izrazom:

$$I_{SS} = I_{D1} + I_{D2} = 2mA$$

Izraz za vrednost struje  $I_{SS}$  može se odrediti i na drugačiji način koristeći sledeću jednakost:

$$I_{SS} = \frac{V_S - V_{SS}}{R_{SS}}$$

gde je  $V_S$  potencijal sorsa tranzistora  $M_1$  i  $M_2$ . Iz prethodne formule jasno je da ukoliko odredimo potencijal sorsa ova dva tranzistora možemo odrediti otpornost  $R_{SS}$  jer su svi ostali parametri u prethodnoj formuli poznati. Dakle, sada treba da odredimo potencijal sorsa ova dva tranzistora. Potencijali sorsa tranzistora  $M_1$  i  $M_2$  su jednaki jer su struje dregnova jednake i gejtovi ova tranzistora se nalaze na istom potencijalu ( $V_{G1} = V_{G2} = V_G = 0$ ). Potencijal sorsa ova dva tranzistora ( $V_S$ ) možemo odrediti koristeći jednakost

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

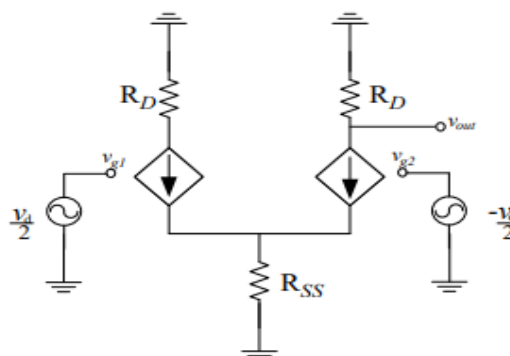
gde je  $V_{GS}$  jednako (na osnovu formule za struju dregna)

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{2I_D}{k_n}} = 4V$$

Dakle, potencijal sorsa iznosi -4V dok otpornost  $R_{SS}$  iznosi **2kΩ**

b) Na osnovu šeme za male signale (slika 6.1) jasno je da izraz za diferencijalno pojačanje iznosi:

$$A_d = \frac{g_{m2} R_D}{2}$$



Slika 6.1

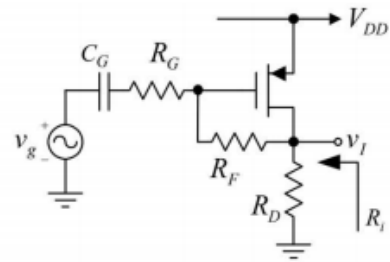
c) Vrednost diferencijalnog pojačanja je  $A_d = 5$ .

6. Na slici je prikazan jednostepeni pojačavač sa MOS tranzistorom u konfiguraciji sa zajedničkim sorsom. Poznato je:  $V_{DD}=10V$ ,  $R_D=3k\Omega$ ,  $R_G=10k\Omega$ ,  $R_F=50k\Omega$ ,  $C_G \rightarrow \infty$ ,  $B=4mA/V^2$ ,  $V_{TP}=-3V$ .

a) [10] Izračunati struju tranzistora  $I_D$  u odsustvu naizmeničnog pobudnog signala.

b) [10] Nacrtati šemu pojačavača za male signale, izvesti izraz i izračunati vrednosti naponskog pojačanja  $A_v = \frac{v_i}{v_g}$ .

c) [10] Izvesti izraz i izračunati vrednosti ulazne otpornosti koju vidi generator i izlazne otpornosti pojačavača.



a)

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_{TP})^2$$

$$V_{SC} = V_S - V_G = V_{DD} - V_G = V_{DD} - V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{B}{2} (V_{DD} - I_D R_D - V_{TP})^2$$

$$2I_D = B \cdot (V_{DD} - I_D R_D)^2 - 2B (V_{DD} - I_D R_D) \cdot R_D + I_D^2 R_D^2 B$$

$$I_D^2 R_D^2 B - 2[1 + B(V_{DD} - I_D R_D)R_D] I_D + B(V_{DD} - I_D R_D)^2 = 0$$

$$9 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot I_D^2 - 2(1 + 7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3) I_D + 4 \cdot 10^3 \cdot 49 = 0$$

$$36 \cdot 10^3 I_D^2 - 170 I_D + 196 \cdot 10^{-3} = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{170 \pm \sqrt{170^2 - 4 \cdot 36 \cdot 196}}{72} \cdot 10^{-3} A \quad I_{D1,2} = \frac{170 \pm \sqrt{336 \cdot 2}}{72} \cdot 10^{-3} = \frac{170 \pm 26}{72} \cdot 10^{-3}$$

$$I_{D1} = 2 mA \quad I_{D2} = \frac{144}{72} \mu A \rightarrow \text{ne prihvatimo jer } V_{GS} > |V_{TP}|$$

b)

$$v_i = (g_m - g_m v_{gs}) \cdot R_D$$

$$v_i = \left( \frac{v_{gs} - v_i}{R_F} - g_m v_{gs} \right) R_D$$

$$\frac{v_{gs} R_D}{R_F} - \frac{v_i R_D}{R_F} - g_m v_{gs} R_D = v_i$$

$$g_m = \sqrt{2B I_D} = \sqrt{2 \cdot 4 mA/V^2 \cdot 2 mA} = 4 mS$$

$$v_{gs} R_D - g_m v_{gs} R_D R_F = v_i (R_D + R_F)$$

$$v_{gs} R_D (1 - g_m R_F) = v_i (R_D + R_F) \quad \frac{v_{gs}}{R_F} = \frac{v_i - v_{gs}}{R_D} \Rightarrow v_{gs} = \frac{v_i R_F + v_i R_D}{R_D + R_F}$$

$$\frac{v_i R_F R_D}{R_D + R_F} (1 - g_m R_F) = v_i (R_D + R_F) - \frac{v_i R_D R_D}{R_D + R_F} (1 - g_m R_F)$$

$$v_i R_F R_D (1 - g_m R_F) = v_i (R_D + R_F) (R_D + R_F) - v_i R_D R_D (1 - g_m R_F)$$

$$v_i R_F R_D (1 - g_m R_F) = v_i (R_D R_F + R_D R_F + R_D R_F + R_D^2 - R_D R_D + g_m R_D R_D R_F)$$

$$v_i R_D (1 - g_m R_F) = v_i (R_D + R_D + R_F + g_m R_D R_F)$$

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = \frac{R_D (1 - g_m R_F)}{R_D + R_D + R_F + g_m R_D R_F} = \frac{3k\Omega (1 - 4 \cdot 50)}{(10 + 3 + 50 + 4 \cdot 10 \cdot 3)k\Omega} = \frac{-170 \cdot 3}{183} = -3,26$$

c)

$$i_g = \frac{v_g - v_i}{R_G + R_F} = \frac{v_g - A_v v_g}{R_G + R_F} = v_g \frac{(1 - A_v)}{R_G + R_F}$$

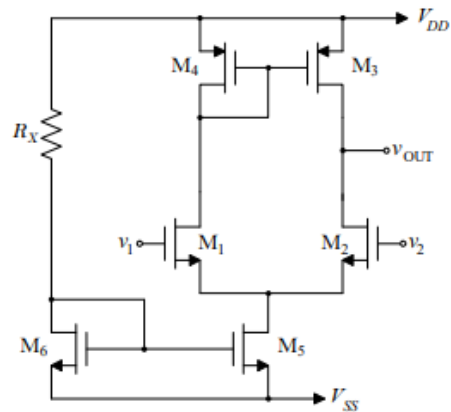
$$R_{in} = \frac{v_g}{i_g} = \frac{R_G + R_F}{1 - A_v} = \frac{60k\Omega}{1 + 3,26} = 14,083 k\Omega$$

$$i_t = g_m v_{gs} + \frac{v_i}{R_D + R_D} + \frac{v_i}{R_D} + v_{gs} = v_g \frac{R_C}{R_D + R_C}$$

$$i_t = g_m v_{gs} + \frac{v_i}{R_D + R_D} + \frac{v_i}{R_D} + \frac{v_i}{R_D} = \frac{1}{\frac{g_m R_D}{R_D + R_D} + \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_D}} = \frac{1}{\frac{40}{60k\Omega} + \frac{1}{30k\Omega} + \frac{1}{30k\Omega}} = 0,988 k\Omega$$

6. Za kolo sa slike poznato je  $V_{DD} = -V_{SS} = 5V$ ,  $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 500 \frac{\mu A}{V^2}$ ,  $B_5 = B_6 = 1 \frac{mA}{V^2}$ ,  $V_{TN} = V_{TP} = 1V$ ,  $\lambda_N = \lambda_P = 0V^{-1}$ . Potrebno je odrediti:

- [7] otpornost  $R_X$  tako da struja drejna tranzistora  $M_6$  bude  $500\mu A$ ;
- [6] struje drejna ( $I_{D1.6}$ ) i transkonduktanse ( $g_{m1.6}$ ) pod pretpostavkom da su svi tranzistori u zasićenju;
- [6] vrednost napona  $V_{OUT}$  u mirnoj radnoj tački ( $v_1 = v_2 = 0V$ ) ako se između izlaza pojačavača i mase poveže otpornost  $R_P$ ;
- [16] izraz za pojačanje pojačavača ( $A_d = \frac{v_{OUT}}{v_D}$ ;  $v_D = v_1 - v_2$ ) ako se između izlaza pojačavača i mase poveže otpornost  $R_P$ .



6. a)  $R_X = 16k\Omega$

b)  $I_{D6} = I_{D5} = 0.5mA$ ,  $I_{D4} = I_{D3} = I_{D2} = I_{D1} = 0.25mA$ ,  $g_{m5} = g_{m6} = 1mS$ ,  $g_{m1.4} = g_m = 0.05mS$

c)  $v_{OUT} = 0$

d)  $A_d = g_m R_P$

$V_{DD} = -V_{SS} = 5V$ ,  $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 500 \frac{\mu A}{V^2}$ ,  $B_5 = B_6 = 1 \frac{mA}{V^2}$   
 $V_{TN} = V_{TP} = 1V$ ,  $\lambda_N = \lambda_P = 0V^{-1}$

a)  $R_X = ? \rightarrow I_{D6} = 500\mu A$

$$I_{D6} = \frac{B_6}{2} (V_{GS6} - V_{TN})^2 \Rightarrow \sqrt{\frac{2I_{D6}}{B_6}} = V_{GS6} - V_{TN}$$

$$V_{GS6} = V_{TN} + \sqrt{\frac{2I_{D6}}{B_6}} = 1V + \sqrt{\frac{2 \cdot 500 \cdot 10^{-6} A}{1 mA/V^2}} = 1V + 1V = 2V$$

$$V_{DD} - I_{D6} R_X - V_{GS6} - V_{SS} = 0 \Rightarrow R_X = \frac{V_{DD} - V_{GS6} - V_{SS}}{I_{D6}}$$

$$R_X = \frac{5V}{500 \cdot 10^{-6} A} = 16k\Omega$$

b)  $I_{D6} = I_{D5} = 500\mu A$ ,  $I_{S1} = I_{S2} = I_{D3} = 250\mu A \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = 250\mu A$

$$g_{m6} = \sqrt{2B_6 I_{D6}} = 1mS = g_{m5}$$

$$g_{m1} = \sqrt{2B_1 I_{D1}} = \sqrt{2 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \frac{A}{V^2} \cdot 250 \cdot 10^{-6} A} = \sqrt{25 \cdot 10^{-8} S^2} = 5 \cdot 10^{-4} S$$

$g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = 0.5mS$ ,  $g_{m5} = g_{m6} = 1mS$

c) U radnom tački:  $I_{D2} = I_{D1} \Rightarrow I_P = 0 \Rightarrow V_{OUT} = I_P \cdot R_P = 0$

d)  $g_{m1} \cdot V_{GS1} = -g_{m1} V_{S1}$   
 $(V_1 - V_S) = -(V_2 - V_{S2})$   
 $V_1 + V_2 = V_{S1} + V_{S2} = 2V_S$   $V_{S1} = V_{S2} = V_S$   
 $V_S = \frac{V_1 + V_2}{2} \Rightarrow V_{GS2} = V_2 - \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{V_2 - V_1}{2} = -\frac{V_D}{2}$

$$I_{D2} = g_{m2} \cdot V_{GS2} = -g_{m2} \frac{V_D}{2}$$

$$I_P + I_{D3} + I_{D2} = 0$$

$$I_P = -I_{D3} - I_{D2} = g_{m3} \frac{V_D}{2} + g_{m2} \frac{V_D}{2} = g_m V_D$$

$$V_{OUT} = I_P \cdot R_P = g_m V_D \cdot R_P$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_D} = g_m R_P$$

Oktober 2019

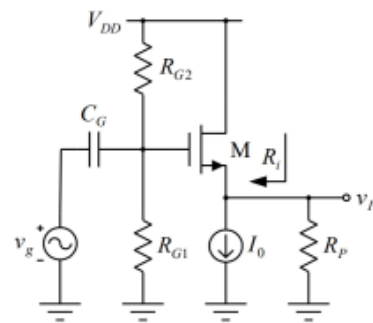
5. Na slici je prikazan jednostepeni pojačavač sa MOS tranzistorom u konfiguraciji sa zajedničkim drejnom.

a) [5] Izračunati napon na potrošaču  $V_I$  u odsustvu naizmeničnog pobudnog signala.

b) [11] Nacrtati ekvivalentnu šemu pojačavača za male signale i izvesti izraze za naponsko pojačanje, izlaznu otpornost i strujno pojačanje ovog pojačavača.

c) [4] Izračunati vrednosti parametara pojačavača iz tačke b).

Poznato je:  $I_0=3\text{ mA}$ ,  $V_{DD}=10\text{ V}$ ,  $R_{G1}=70\text{ k}\Omega$ ,  $R_{G2}=30\text{ k}\Omega$ ,  $R_p=4\text{ k}\Omega$ ,  $V_T=2\text{ V}$ ,  $B=8\text{ mA/V}^2$ ,  $C_G \rightarrow \infty$ .



$I_p = I_D - I_0$   
 $I_D = I_p + I_0 = \frac{B}{2}(V_{GS} - V_T)^2$ ,  $V_{GS} > V_T$   
 $I_p = \frac{V_i}{R_p}$ ,  $V_{GS} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} - V_T = 7\text{V} - V_T > V_T$   
 $V_i < 7\text{V} - 2\text{V} = 5\text{V}$

$I_D = \frac{V_i}{R_p} + I_0 = \frac{B}{2}(7\text{V} - V_i - 2\text{V})^2 = \frac{B}{2}(5\text{V} - V_i)^2 / 2R_p$   
 $2V_i + 2R_p I_0 = B \cdot R_p (5\text{V} - V_i)^2$   
 $2V_i [\text{V}] + 24 [\text{V}] = 32 \cdot (5 - V_i)^2 \left[ \frac{\text{mA} \cdot \text{V}^2}{\text{V}^2} \cdot \text{V}^2 \right]$

$V_i + 12 = 16 \cdot (25 - 10V_i + V_i^2)$   
 $16V_i^2 - 160V_i - V_i + 400 - 12 = 0$   
 $16V_i^2 - 161V_i + 388 = 0$   
 $V_{i1,2} = \frac{161 \pm \sqrt{161^2 - 4 \cdot 16 \cdot 388}}{32} = \frac{161 \pm 33}{32} \Rightarrow \left. \begin{matrix} V_{i1} = 6,0625\text{V} \\ V_{i2} = 4\text{V} \end{matrix} \right\} \Rightarrow V_i = 4\text{V}$   
 (1)  $V_i < 5\text{V}$

$I_D = I_p + I_0 = \frac{4\text{V}}{4\text{k}\Omega} + 1\text{mA} + I_0 = 4\text{mA}$ ,  $g_m = \sqrt{2B \cdot I_D} = \sqrt{2 \cdot 8 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \cdot 4\text{mA}} = 8 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] = 8\text{mS}$

$V_{GS} = V_G - V_i$   
 $V_i = g_m (V_G - V_i) \cdot R_p$   
 $V_i + g_m R_p V_i = g_m V_G R_p$   
 $V_i (1 + g_m R_p) = g_m R_p V_G$   
 $a_D = \frac{V_i}{V_G} = \frac{g_m R_p}{1 + g_m R_p}$

$i_t = -g_m V_{GS}$ ,  $V_{GS} = 0 - V_i = -V_i$   
 $i_t = g_m V_i$   
 $R_i = \frac{V_i}{i_t} = \frac{1}{g_m}$ ,  $a_S = \frac{i_t}{I_0} = \frac{g_m V_i}{I_0} = \frac{V_i}{V_G} \cdot \frac{R_p}{R_i} = a_D \cdot \frac{R_p}{R_i} = \frac{g_m R_p R_{G1} R_{G2}}{(R_{G1} + R_{G2}) \cdot g_m} = \frac{g_m R_p R_{G1} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$

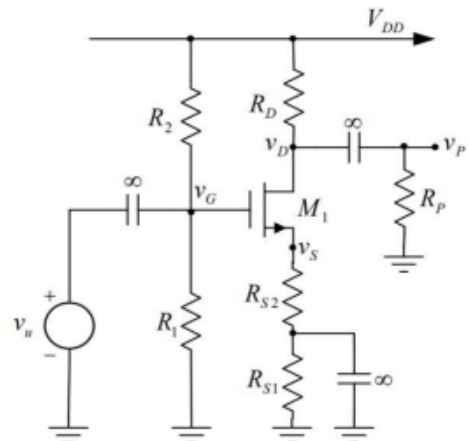
$R_u = \frac{V_i}{i_t} = R_{G1} \parallel R_{G2} = \frac{R_{G1} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$

c)  $a_D = \frac{g_m R_p}{1 + g_m R_p} = \frac{8\text{mS} \cdot 4\text{k}\Omega}{1 + 8\text{mS} \cdot 4\text{k}\Omega} = \frac{32}{33}$   
 $R_i = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{8} \text{ k}\Omega = 125\Omega$ ,  $a_i = \frac{32}{33} \cdot \frac{8 \cdot 70 \cdot 30}{100} = \frac{32}{33} \cdot \frac{3 \cdot 8}{11} = \frac{32 \cdot 24}{11} = 69,8$

5. U pojačavaču sa slike parametri tranzistora su:  $B=500\mu A/V^2$  i  $V_T=1V$ , dok je:  $V_{DD}=12V$ ,  $R_1=1M\Omega$ ,  $R_2=1.5M\Omega$ ,  $R_{S1}=5k\Omega$ ,  $R_{S2}=1k\Omega$ ,  $R_D=12k\Omega$  i  $R_P=100k\Omega$ .

a) [10] Odrediti jednosmerne vrednosti napona na gejtju, sorsu i drejnu, kao i jednosmernu struju drejna.

b) [10] Odrediti ulaznu otpornost, zatim otpornost koju vidi potrošač  $R_P$  i naponsko pojačanje pojačavača  $a_v = v_p/v_u$ .



a)

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{DD} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{GS} - I_D (R_{S1} + R_{S2}) = 0$$

$$I_D = \frac{V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{GS}}{R_{S1} + R_{S2}} = \frac{12V \cdot \frac{1M\Omega}{2.5M\Omega} - V_{GS}}{5k\Omega + 1k\Omega} = \frac{4.8V - V_{GS}}{6k\Omega}$$

$$\frac{4.8V - V_{GS}(V)}{6k\Omega} = \frac{500 \cdot 10^{-6} A/V^2}{2} \cdot (V_{GS} - 1V)^2 / 6k\Omega$$

$$4.8[V] - V_{GS}[V] = 500 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 [A \cdot \Omega] (V_{GS} - 1)^2$$

$$4.8 - V_{GS} = 1.5 (V_{GS} - 1)^2$$

$$4.8 - V_{GS} = 1.5 V_{GS}^2 - 3V_{GS} + 1.5$$

$$1.5 V_{GS}^2 - 2V_{GS} - 3.3 = 0$$

$$V_{GS_{1/2}} = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 4 \cdot 3.3}}{3} = \frac{2 \pm 4.88}{3} \Rightarrow V_{GS} = 2.3V \quad I_D = \frac{(4.8 - 2.3)[V]}{6[k\Omega]} = 416.67 \mu A$$

$V_{GS} > V_T$

$$V_G = 4.8V \quad V_S = V_G - V_{GS} = 4.8[V] - 2.3[V] = 2.5[V], \quad V_D = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 12[V] - 56[V] = 7[V]$$
  

b)

$$v_G = v_u, \quad v_S = g_m v_{GS} \cdot R_{S2}$$

$$v_{GS} = v_G - g_m v_{GS} \cdot R_{S2} \Rightarrow v_{GS} = \frac{v_u}{1 + g_m R_{S2}}$$

$$v_i = -g_m v_{GS} \cdot R_{D1} \parallel R_P$$

$$v_i = -g_m \cdot \frac{v_u}{1 + g_m R_{S2}} \cdot R_{D1} \parallel R_P$$

$$a_v = \frac{v_i}{v_u} = -g_m \cdot \frac{R_{D1} \parallel R_P}{1 + g_m R_{S2}} = -645.10^{-6} \frac{12k\Omega \cdot 100k\Omega}{1 + 645.10^{-6} \cdot 1k\Omega}$$

$$a_v = -645.10^{-6} \frac{99.17 \Omega}{1.645} \approx -0.039$$
  

Posto je stavio  $I_C = 0$ , no ulazna struja utice samo efektivno  $R_1$  i  $R_2$  ali ne i samu potrošača niti aktivna pojačavajuća komponenta

$$R_{uc} = R_1 \parallel R_2 = \frac{10^6}{4}$$
  

$$\left. \begin{aligned} v_{GS} &= 0 - g_m v_{GS} \cdot R_{S2} \\ v_{GS} &= \frac{0}{1 + g_m R_{S2}} = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{grena su zavisna generatrom preobrade praznil}$$

$$R_{i2} = R_D$$

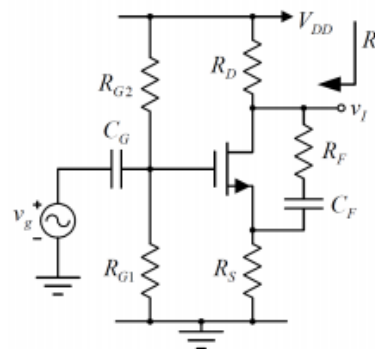
5. Na slici 5 prikazan je pojačavač sa MOSFET-om u konfiguraciji sa zajedničkim sorsom.

a) [5] Izračunati vrednost izlaznog napona u odsustvu naizmeničnog pobudnog signala.

b) [10] Nacrtati ekvivalentnu šemu pojačavača sa slike za male signale i izvesti izraze za naponsko pojačanje i izlaznu otpornost.

c) [5] Izračunati vrednosti za naponsko pojačanje i izlaznu otpornost ovog pojačavača.

Poznato je:  $V_{DD} = 12\text{ V}$ ,  $R_{G1} = 4\text{ k}\Omega$ ,  $R_{G2} = 8\text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 500\ \Omega$ ,  $R_D = 2\text{ k}\Omega$ ,  $R_F = 2\text{ k}\Omega$ ,  $C_G = \infty$ ,  $C_F = \infty$ ,  $B_N = 1\text{ mA/V}^2$ ,  $V_{TN} = 1\text{ V}$ .



a)

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2, I_S = I_D$$

$$V_{DD} \cdot \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} - V_{GS} = I_D \cdot R_S$$

$$\frac{12\text{V}}{3} - V_{GS} = 0,15\text{k}\Omega \cdot I_D$$

$$\frac{12\text{V}}{3} - V_{GS} = 0,15\text{k}\Omega \cdot \frac{B}{2} (V_{GS} - 1\text{V})^2$$

$$4\text{V} - V_{GS} = \frac{1}{4} (V_{GS} - 1)^2 \quad \left[ \frac{\text{mA} \cdot \text{k}\Omega}{\text{V}^2} \right] \cdot \text{V}^2 = \text{V}$$

$$16 - 4V_{GS} = V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1 \quad V_{GS}^2 + 2V_{GS} - 15 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS1} = 3\text{V} \\ V_{GS2} = -5\text{V} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{GS} = 3\text{V}$$

$$V_{GS} > 1\text{V} \quad I_D = 2 \cdot (4 - 3) \cdot 10^{-3}\text{ A} = 2\text{ mA}$$

$$V_i = V_{DD} - R_D \cdot I_D = 12\text{V} - 4\text{V} = 8\text{V}$$

b)

$$i_i = \frac{v_o}{R_S} = g_m v_{gs} + \frac{v_i - v_o}{R_F} = i_{o1} = -\frac{v_o}{R_D}$$

$$v_o = -v_i \frac{R_S}{R_D}, \quad v_{gs} = v_g + v_i \frac{R_S}{R_D}$$

$$g_m v_{gs} + \frac{v_i - v_o}{R_F} = -\frac{v_o}{R_D}$$

$$g_m \cdot (v_g + v_i \frac{R_S}{R_D}) = -\frac{v_o}{R_D} - \frac{v_i - v_o}{R_F} = -\frac{v_o}{R_D} - \frac{v_i}{R_F} + \frac{v_o}{R_F}$$

$$g_m v_g = -v_o \left( \frac{R_S}{R_D} + \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_S}{R_D R_F} \right)$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_g} = \frac{g_m}{g_m \frac{R_S}{R_D} + \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_S}{R_D R_F}}, \quad g_m = \sqrt{2B I_D} = 2\text{ mS}$$

$$A_v = -\frac{2\text{ mS}}{2 \cdot \frac{0,5}{2}\text{ mS} + 0,15\text{ k}\Omega \cdot 2\text{ mS} + \frac{0,5}{4}\text{ mS}}$$

c)

$$A_v = -1,23$$

$$v_o - g_m v_{gs} R_F + i_{t1} R_F = v_{o1}, \quad v_{gs} = -v_o$$

$$v_o + g_m v_o R_F + i_{t1} R_F = v_{o1}, \quad v_o = i_{t1} \cdot X_S$$

$$i_{t1} R_S + i_{t1} g_m R_S R_F + i_{t1} R_F = v_{o1}$$

$$i_{t1} (R_S + R_F + g_m R_S R_F) = v_{o1} \quad \frac{v_o}{i_{t1}} = R_{out} = (R_S + R_F + g_m R_S R_F)$$

$$v_{o1} = i_{t1} \cdot R_{out} \parallel R_D$$

$$\frac{v_{o1}}{i_{t1}} = R_{i2} = R_D \parallel (R_S + R_F + g_m R_S R_F)$$

$$R_{i2} = \frac{R_D (R_S + R_F + g_m R_S R_F)}{R_D + R_S + R_F + g_m R_S R_F} = \frac{2\text{ k}\Omega \cdot (0,5\text{ k}\Omega + 2\text{ k}\Omega + 2\text{ k}\Omega)}{2\text{ k}\Omega + 0,5\text{ k}\Omega + 2\text{ k}\Omega + 0,2\text{ k}\Omega}$$

$$c_2) \left( R_i = \frac{2 \cdot 4,5}{6,5} \text{ k}\Omega = 1,385 \text{ k}\Omega \right)$$

Resenja: Merisa Harcinovic