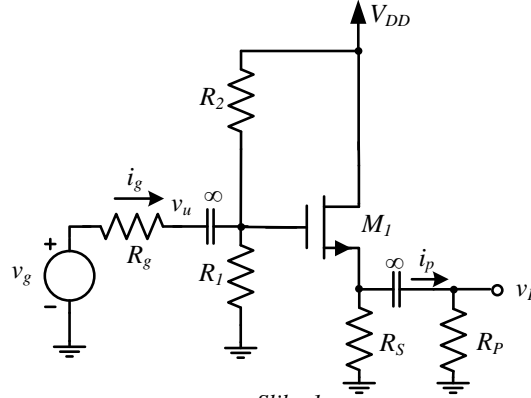


1. U pojačavaču sa zajedničkim drejnom na slici 1, parametri tranzistora su  $B = \mu_n C_{ox} W_1/L_1 = 1\text{mA/V}^2$ ,  $V_T = 1\text{V}$ ,  $\lambda_n = 0,02\text{V}^{-1}$ , dok je  $V_{DD} = 5\text{V}$ ,  $R_1 = 680\text{k}\Omega$ ,  $R_S = 10\text{k}\Omega$  i  $R_P = 20\text{k}\Omega$ . U slučaju kada je  $R_G = 0$ ,  $R_G = 1\text{k}\Omega$  i  $R_G = 100\text{k}\Omega$  odrediti:

- Otpornost  $R_2$  tako da napon na sorsu u mirnoj radnoj tački bude  $V_S = \frac{V_{DD}}{2}$ . Zanemariti uticaj Earlyjevog efekta pri proračunu mirne radne tačke.
- Naponsko pojačanje  $a_v = v_p/v_g$  i strujno pojačanje  $a_i = i_p/i_g$ .
- Ulaznu otpornost  $R_u$  koju vidi realni naponski generator i otpornost  $R_i$  koju vidi potrošač  $R_P$ .



Slika 1

### Rešenje:

Najprećemo rešiti zadatak u slučaju idealnog naponskog generatora ( $R_G = 0$ ).

a) Ukoliko je  $V_S = V_{DD}/2$ , tada je struja drejna MOS tranzistora  $I_D = \frac{V_S}{R_S} = \frac{V_{DD}}{2R_S} = 250\mu\text{A}$ . Koristeći vezu između struje drejna i napona gej-t-sors, imamo da je  $V_{GS} = V_T + \sqrt{2I_D/B}$ . Kako je  $V_{GS} + V_S = \frac{R_1}{R_1+R_2}V_{DD}$ , to je

$$V_T + \sqrt{\frac{V_{DD}}{R_S B}} + \frac{V_{DD}}{2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{DD}}{V_T + \sqrt{\frac{V_{DD}}{R_S B}} + \frac{V_{DD}}{2}} - 1 \right) = 128\text{k}\Omega.$$

b) Šema za male signale prikazana je na slici 1a,  $R_G = R_1 \parallel R_2 = 107,7\text{k}\Omega$ . Parametri za male signale su

$$g_m = \sqrt{2I_D B} = 707\text{mS}, \quad g_{ds} = \lambda I_D = 5\mu\text{S}.$$

Kada je  $R_G = 0$ , tada je  $v_U = v_G$  i prema slici 1a je

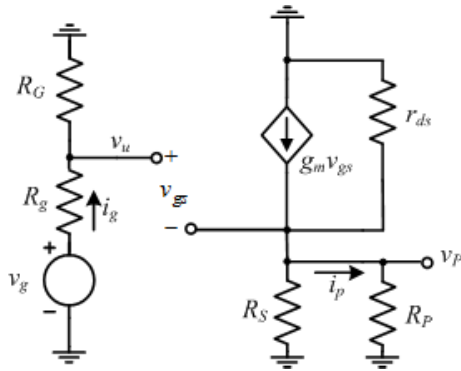
$$v_p = g_m v_{gs} \frac{1}{g_{ds} + G_S + G_P} = g_m (v_u - v_p) \frac{1}{g_{ds} + G_S + G_P}$$

$$a_v = \frac{v_p}{v_u} = \frac{g_m}{g_m + g_{ds} + G_S + G_P} = 0,82.$$

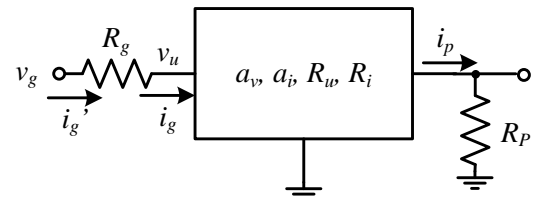
Kako je  $i_g = \frac{v_g}{R_g + R_G} = \frac{v_u}{R_G}$  i  $i_p = v_p/R_P$  to je  $a_i = \frac{i_p}{i_g} = \frac{v_u}{v_g} \cdot \frac{R_G}{R_P} = a_v \cdot \frac{R_G}{R_P} = 4,42$ .

c) Ulazna otpornost potrošača je  $R_u = R_G + R_g = R_G = R_1 \parallel R_2 = 107,7k\Omega$ . Izlazna otpornost potrošača je  $R_i = \frac{1}{G_S + g_{ds} + g_m} = 1,23k\Omega$  (npr. postavljanjen test generatora).

U slučaju  $R_g \neq 0$  potrebno je da ponovimo samo tačku b). Imamo situaciju kao na slici 1b, gde smo na pojačavač čiji smo parametre već sračunali dodali otpornost  $R_g$  redno na ulaz. Kako je strujno pojačanje u ovom slučaju  $a_i = i_p / i_g'$  i  $i_g' = i_g$  to je strujno pojačanje ostalo nepromenjeno. Promenjeno je jedino naponsko pojačanje. Ono je  $a'_v = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \cdot \frac{v_u}{v_g} = a_v \cdot \frac{v_u}{v_g}$ . Odnos  $\frac{v_u}{v_g}$  je određen naponskim razdelnikom između unutrašnje otpornosti generatora  $R_g$  i ulazne otpornosti pojačavača  $R_G$ , odnosno  $\frac{v_u}{v_g} = \frac{R_u}{R_u + R_g}$ . Dakle  $a'_v = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \cdot \frac{v_u}{v_g} = a_v \cdot \frac{R_u}{R_u + R_g}$ . U slučaju  $R_g = 1k\Omega$  imamo  $a'_v = 0,81$ , dok u  $R_g = 100k\Omega$  imamo  $a''_v = 0,43$ .



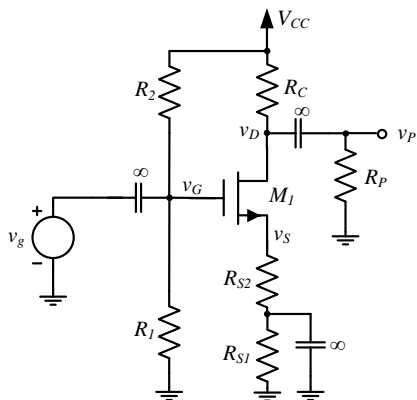
Slika 1a



Slika 1b

2. Za pojačavač na slici 2, parametri tranzistora su  $B = \mu_n C_{ox} W_1/L_1 = 500 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ,  $V_T = 1\text{V}$ ,  $\lambda_n \rightarrow 0$ , dok je  $V_{DD} = 5\text{V}$ ,  $R_1 = 1\text{M}\Omega$ ,  $R_2 = 1.5\text{M}\Omega$ ,  $R_{S1} = 5\text{k}\Omega$ ,  $R_{S2} = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_D = 12\text{k}\Omega$  i  $R_P = 100\text{k}\Omega$ .

- Odrediti jednosmerne napone na priključcima tranzistora;
- Ako je  $v_g = V_m \sin(2\pi ft)$ ,  $V_m = 50\text{mV}$  i  $f = 1\text{kHz}$ , nacrtati vremenske dijagrame napona na priključcima tranzistora i na potrošaču;
- Odrediti otpornost  $R_i$  koju vidi potrošač  $R_P$ ;
- Odrediti maksimalnu amplitudu simetričnog neizobličenog napona na potrošaču  $V_{pm \max}$ .



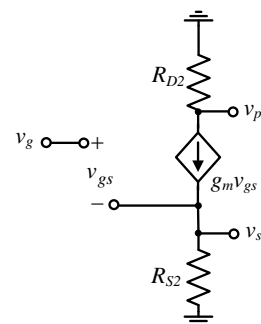
Slika 2

**Rešenje:**

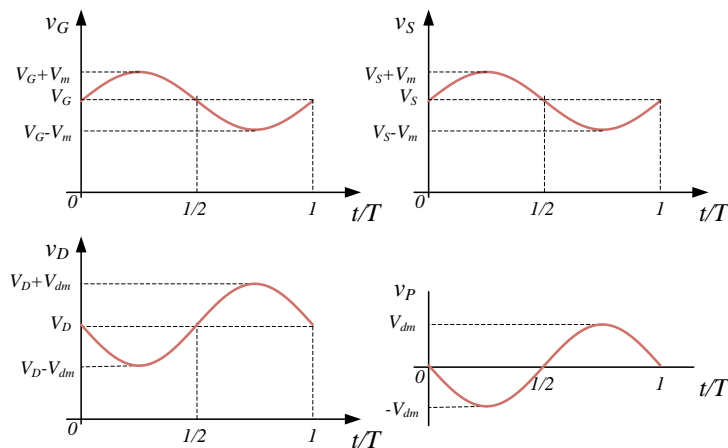
a) U mirnoj radnoj tački je napon gejta  $V_G = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{DD} = 4,8\text{V}$ . Kako je  $V_{GS} = V_G - R_S I_D$  gde je  $R_S = R_{S1} + R_{S2}$ , to je  $V_T + \sqrt{2I_D/B} = V_G - R_S I_D$  odakle je  $I_D^2 - 2I_D \left( \frac{V_G - V_T}{R_S} + \frac{1}{BR_S^2} \right) + \left( \frac{V_G - V_T}{R_S} \right)^2 = 0$ , tj.  $I_D = 418 \mu\text{A}$ . Sada je  $V_S = R_S I_D = 2,51\text{V}$ ,  $V_{GS} = 2,29\text{V}$  i  $V_D = V_{DD} - R_D I_D = 7\text{V}$ .

b) Na slici 2a data je šema za male signale, gde je  $R_{D2} = R_D \parallel R_P$  i  $g_m = \sqrt{2I_D B} = 646,5 \mu\text{S}$ .

Prema slici 2a je  $\frac{v_s}{R_{S2}} = g_m v_{gs} = g_m (v_g - v_s)$ , odakle je  $v_s = \frac{g_m R_{S2}}{1 + g_m R_{S2}} v_g$ ,  $\frac{v_s}{v_g} = \frac{g_m R_{S2}}{1 + g_m R_{S2}} = 0,39$ . Takođe je i  $\frac{v_s}{R_{S2}} = -\frac{v_p}{R_{D2}}$ , tj.  $\frac{v_p}{v_g} = -\frac{R_{D2}}{R_{S2}} \frac{v_s}{v_g} = \frac{g_m R_{D2}}{1 + g_m R_{S2}} = -4,2$ . Amplitude napona su sada  $V_{sm} = \frac{v_s}{v_g} V_m = 19,5\text{mV}$ ,  $V_{dm} = \left| \frac{v_p}{v_u} \right| V_m = 210\text{mV}$ ,  $V_{pm} = V_{dm}$ ,  $V_{gm} = V_m$ . Vremenski dijagrami napona su dati na slici 2b.



Slika 2a



Slika 2b

c) Otpornost koju vidi potrošač je  $R_i = R_D = 12\text{k}\Omega$ .

d) Jednačina dinamičke radne prave u  $v_{DS} - i_D$  ravni je  $i_D - I_D = -\frac{v_{DS} - V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}}$  (slika 2c).

Maksimalna amplituda struje drejna je određena sa jedne strane ulaskom tranzistora u zakočenje, odakle je  $I_{dm1} = I_D = 418\mu\text{A}$ .

Sa druge strane, amplituda struje drejna je ograničena ulaskom tranzistorom u triodnu oblast

$$i_{D\max} - I_D = -\frac{v_{DS\min} - V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}}$$

$$I_{dm2} = -\frac{\sqrt{2i_{D\max}/B} - V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}}$$

$$I_{dm2} = -\frac{\sqrt{2(I_D + I_{dm2})/B} - V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}}$$

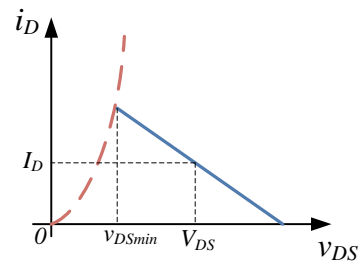
$$I_{dm2}^2 - 2I_{dm2} \left( \frac{V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}} + \frac{1}{B(R_{S2} + R_{D2})^2} \right) + \left( \frac{V_{DS}}{R_{S2} + R_{D2}} \right)^2 - \frac{2I_D}{B(R_{S2} + R_{D2})^2} = 0$$

$$I_{dm2}^2 - 7,96 \cdot 10^{-4} \cdot I_{dm2} + 1,35 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$I_{dm2,1} = 244\mu\text{A}, I_{dm2,2} = 551\mu\text{A}.$$

Proverom se dobija da samo prvo rešenje odgovara radu tranzistora u zasićenju, pa je  $I_{dm2} = 244\mu\text{A}$ .

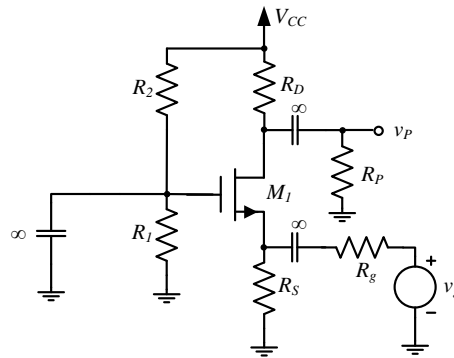
Sada je maksimalna amplituda struje drejna  $I_{dm\max} = \min\{I_{dm1}, I_{dm2}\} = 244\mu\text{A}$ . Maksimalna amplituda simetričnog neizobličenog sinusoidalnog napona na potrošaču je  $V_{pm\max} = R_{D2}I_{dm\max} = 2,61\text{V}$ .



Slika 2c

3. U pojačavaču sa zajedničkim gejtom na slici 3, parametri tranzistora su  $B = \mu_n C_{ox} W_1/L_1 = 1\text{mA/V}^2$ ,  $V_T = 1\text{V}$ ,  $\lambda_n = 0,01\text{V}^{-1}$ , dok je  $V_{DD} = 12\text{V}$ ,  $R_g = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_1 = 1\text{M}\Omega$ ,  $R_D = 10\text{k}\Omega$  i  $R_P = 30\text{k}\Omega$ .

- Odrediti otpornosti  $R_2$  i  $R_S$  tako da koordinate mirne radne tačke tranzistora budu  $(V_{DS}, I_D) = (4\text{V}, 0,5\text{mA})$ . Zanimariti uticaj Early-jevog efekta;
- Odrediti naponsko pojačanje  $a = v_p/v_g$ ;
- Odrediti ulaznu otpornost  $R_u$  koju vidi realan generator i otpornost  $R_i$  koju vidi potrošač  $R_P$ ;
- Odrediti maksimalnu amplitudu simetričnog neizobličenog napona na potrošaču  $V_{pm\max}$ . Zanimariti uticaj Early-jevog efekta.



Slika 3

**Rešenje:**

a) U mirnoj radnoj tački je  $V_{DD} - R_D I_D - V_{DS} - R_S I_D = 0$ , pa je  $R_S = \frac{V_{DD} - R_D I_D - V_{DS}}{I_D} = 6\text{k}\Omega$ . Kako je  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = R_S I_D + V_{GS} = R_S I_D + V_T + \sqrt{\frac{2I_D}{B}}$ , to je  $R_2 = R_1 \left( \frac{V_{DD}}{R_S I_D + V_T + \sqrt{2I_D/B}} - 1 \right) = 1,4\text{M}\Omega$ .

b) Na slici 3a data je šema za male signale. Parametri za male signale su  $g_m = \sqrt{2I_D B} = 1\text{mS}$  i  $g_{ds} = \lambda I_D = 5\mu\text{S}$ . Prema slici je  $v_{gs} = -v_u$  i  $-v_p(G_P + G_D) = g_m v_{gs} + g_{ds}(v_p - v_u)$  odakle je  $\frac{v_p}{v_u} = \frac{g_m + g_{ds}}{g_{ds} + G_P + G_D} = 7,3$ . Sada je  $a = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g} = 7,3 \cdot \frac{R_u}{R_u + R_g}$ , gde je  $R_u$  ulazna otpornost koja će biti određena u sledećoj tački.

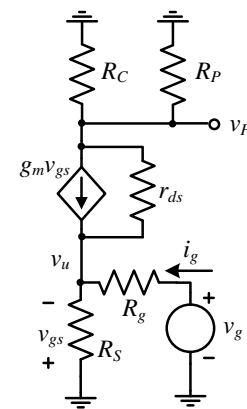
c) Prema šemi sa slike 3a je  $i_u = v_u G_S + v_p(G_D + G_P) = v_u G_S + \frac{v_p}{v_u} v_u (G_D + G_P)$ , što je na osnovu prethodne tačke  $i_u = v_u G_S + \frac{g_m + g_{ds}}{g_{ds} + G_P + G_D} v_u (G_D + G_P)$ . Odavde je  $G_u = \frac{i_u}{v_u} = G_S + \frac{g_m + g_{ds}}{g_{ds} + G_P + G_D} (G_D + G_P) = 1,13\text{mS}$ , pa je  $R_u = \frac{1}{G_u} = 881\Omega$ . Otpornost koju vidi potrošač  $R_P$  je  $R_i = R_D \parallel r_{ds} = 9,5\text{k}\Omega$ .

Sada možemo da sračunamo naponsko pojačanje iz tačke b). Zamenom brojnih vrednosti je  $a = 3,42$ .

d) Maksimalna vrednost neizobličenog napona na potrošaču određena je zakločenjem tranzistora  $v_{P\max} = R_D \parallel R_P \cdot I_D = 3,75\text{V}$ . Minimalna vrednost napona na potrošaču određena je ulaskom tranzistora u triodnu oblast

$$v_{P\min} = V_G + v_{DG\min} - V_D = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} - V_T - (V_{DD} - R_D I_D) = -3\text{V}.$$

Maksimalna amplituda simetričnog neizobličenog napona na potrošaču je  $V_{pm\max} = \min\{v_{P\max}, v_{P\min}\} = 3\text{V}$ .



Slika 3a