

## Osnove analogne elektronike – februar 2024 – REŠENJA

3. U opsegu  $0 < v_U < 0.6 \text{ V}$  je  $v_I = v_U$ , a tada su režimi: *DZ*: off, *Q*: off

U opsegu  $0.6 \text{ V} < v_U < 1.2 \text{ V}$  je  $v_I = -v_U/3 + 0.8 \text{ V}$ , a tada su režimi: *DZ*: off, *Q*: DAR

U opsegu  $1.2 \text{ V} < v_U < 2.85 \text{ V}$  je  $v_I = v_U/3$ , a tada su režimi: *DZ*: off, *Q*: zasićenje

U opsegu  $2.85 \text{ V} < v_U < 4 \text{ V}$  je  $v_I = v_U/3 - 1.9 \text{ V}$ , a tada su režimi: *DZ*: proboj, *Q*: DAR

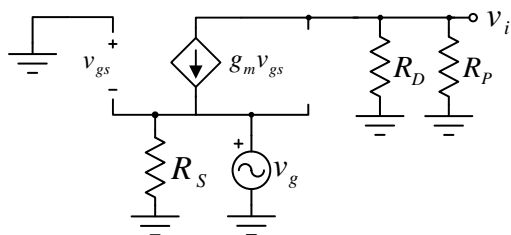
4. Struja drena NMOS tranzistora je:

$$I_D = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{k_n}{2} \left( \frac{V_{DD}}{2} - I_D R_S - V_t \right)^2$$

Iz navedene kvadratne jednačine se dobijaju dva rešenja za otpornost u sorsu:  $R_S = 3 \text{ k}\Omega$  i  $R_S = 5 \text{ k}\Omega$ .

Rešenje koje zadovoljava uslov da tranzistor radi u zasićenju je  $R_S = 3 \text{ k}\Omega$ .

a) Šema za male signale je prikazana na slici.



Parametri modela za male signale su  $g_m = \sqrt{2k_n I_D} = 2 \text{ mS}$ .

Za izlazni čvor važi jednačina po Kirhofovom zakonu za struje:  $\frac{v_i}{R_D || R_P} + g_m v_{gs} = 0$ , a kako je  $v_{gs} = -v_g$ , to je  $\frac{v_i}{(R_D || R_P)} = v_g (g_m)$ , pa je naponsko pojačanje:  $A_v = \frac{v_i}{v_g} = g_m (R_D || R_P) = 4,8$ .

b) Ulazna struja  $i_g$  je  $i_g = \frac{v_g}{R_S} - g_m v_{gs} = v_g \left( \frac{1}{R_S} + g_m \right)$ , pa je ulazna otpornost:  $R_{ul} = \frac{v_g}{i_g} = \frac{1}{\frac{1}{R_S} + g_m} = 443 \Omega$ .

7. U kolu uvek postoji negativna povratna sprega, pa i kada su diode neprovodne. Iz tog razloga su ulazni priključci operacionog pojačavača na istom potencijalu,  $v_U$ . Za dovoljno nizak pozitivan napon na ulazu obe diode će biti neprovodne, te važi

$$v_I = (1 + R_3 / R_2) v_U = 3 v_U.$$

Napon na Zener diodi je

$$v_Z = v_I - v_U = 2v_U,$$

dok je napon na diodi D

$$v_D = -v_U.$$

Sa porastom pozitivnog ulaznog napona dioda D je sve dublje u neprovodnom stanju, dok se Zener dioda približava proboju, koji se dešava kada je

$$v_Z = 2v_U = V_Z,$$

$$v_U = \frac{V_Z}{2} = 2 \text{ V}.$$

Kada je Zener dioda u proboju može se pisati

$$\frac{v_U}{R_2} = \frac{v_I - V_Z - v_U}{R_4} + \frac{v_I - v_U}{R_3},$$

odakle se dobija

$$v_I = \frac{v_U(1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4) + V_Z/R_4}{(1/R_3 + 1/R_4)} = 2v_U + 2.$$

Za negativne ulazne napone obe diode provode u direktnom smeru pa se može pisati:

$$v_I = \left(1 + \frac{R_3 \parallel R_4}{R_1 \parallel R_2}\right) v_U = 3v_U.$$

Sledi provera režima rada dioda. Struja Zener diode je

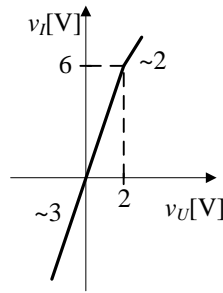
$$i_{DZ} = \frac{v_U - V_D - v_I}{R_4} = -\frac{1}{R_4} \frac{R_3 \parallel R_4}{R_1 \parallel R_2} v_U,$$

i veća je od nule za svaki negativan ulazni napon. Struja diode D je

$$i_D = \frac{-V_D - v_U}{R_4} = -\frac{v_U}{R_4},$$

i takođe je veći od nule za svaki negativan ulazni napon. Karakteristika prenosa kola ima oblik

i prikazana je na slici 7.1.



**Slika 7.1**

$$v_I = \begin{cases} 3v_U & v_U < 0 \text{ V} \\ 3v_U & 0 \text{ V} < v_U < 2 \text{ V} \\ 2v_U + 2 & v_U > 2 \text{ V} \end{cases} = \begin{cases} 3v_U & v_U < 2 \text{ V} \\ 2v_U + 2 & v_U > 2 \text{ V} \end{cases}$$

**8.**

- a)  $V_{p,\max}(0 \leq x \leq 0,1) = 0$ ;  $V_{p,\max}(0,1 < x < 0,6) [\text{V}] = 7x - 0,7$ ;  $V_{p,\max}(0,1 < x < 0,6) [\text{V}] = 7,7 - 7x$ .
- b) Grafik koeficijenta korisnog dejstva je parabola  $\eta = (V_p/V_{CC})^2$ . Maksimalni koeficijent korisnog dejstva se ostvaruje za maksimalnu amplitudu izlaznog napona,  $V_p = V_{p,\max}(x = 0,6) = V_{CC}/2$ , a tada je  $\eta_{\max} = 25\%$ .