

## OKTOBAR 2 2024/2025 – RESENJA

### 3. Rešenje

Za  $v_U \leq v_{U1} = V_{BE}$  tranzistor i dioda ne provode. Izlazni napon je

$$v_I = v_{I1} = V_{CC} = 12 \text{ V}.$$

Ako je ulazni napon veći od  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$  tranzistor postaje provodan i u početku radi u aktivnom režimu, te je

$$v_I = V_{CC} - R_C \beta \frac{v_U - V_{BE}}{R_B} = 12 \text{ V} - 2(v_U - 0.7 \text{ V}).$$

Dioda je neprovodna sve dok je napon direktne polarizacije manji od napona praga provođenja tj. ako je

$$v_D = V_{BE} - v_I \leq V_{DT}.$$

Iz prethodna dva izraza dobija se vrednost napona na ulazu za koji dioda počinje da provodi

$$v_{U2} = V_{BE} + \frac{R_B}{R_C \beta} (V_{CC} + V_{DT} - V_{BE}) = 6.45 \text{ V},$$

i tada napon na izlazu ima vrednost

$$v_{I2} = 0.5 \text{ V}.$$

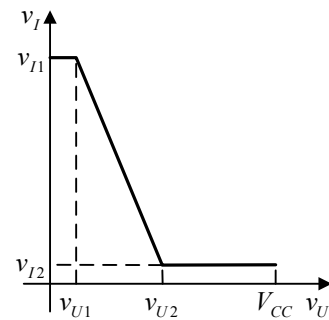
Sa daljim povećavanjem ulaznog napona povećavaju se struje tranzistora ali napon na izlazu ostaje na ovoj minimalnoj vrednosti dok napon na ulazu ne dostigne maksimalnih

$$v_U = V_{CC} = 12 \text{ V}.$$

Analitički izraz za funkciju prenosa kola je

$$v_I = \begin{cases} 12 \text{ V} & v_U \leq 0.7 \text{ V} \\ 12 \text{ V} - 2(v_U - 0.7 \text{ V}) & 0.7 \text{ V} \leq v_U \leq 6.45 \text{ V}, \\ 0.5 \text{ V} & 6.45 \text{ V} \leq v_U \leq 12 \text{ V} \end{cases}$$

a grafik ove funkcije je prikazan na slici 3.1.



Slika 3.1

### 4. Rešenje

a) Na osnovu zadate vrednosti napona na izlazu u mirnoj radnoj tački može se izračunati struja drena tranzistora

$$I_D = \frac{0 - V_{EE}}{R_D} = 10 \text{ mA}.$$

Pod pretpostavkom da je transistor radi u režimu zasićenja važi

$$V_{SG} = -V_T + \sqrt{2 I_D / k_p} = 4 \text{ V}.$$

Napon na gejtu je određen otpornim razdelnikom napona i ima vrednost

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 \parallel R_2} V_{DD} = 2 \text{ V},$$

te je

$$V_S = V_G + V_{SG} = 6 \text{ V},$$

$$R_S = \frac{V_{DD} - V_S}{I_D} = 400 \Omega.$$

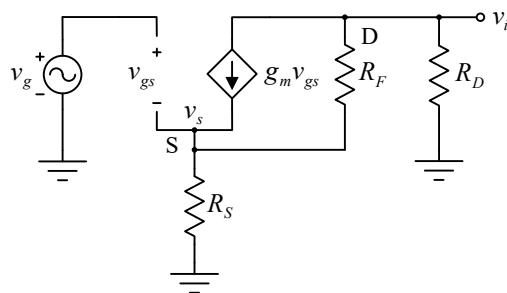
S obzirom da je  $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$ , tranzistor radi u režimu zasićenja.

b) Na slici 4.2 prikazano je ekvivalentno kolo pojačavača za male signale. Za čvor S se može pisati

$$g_m v_{gs} + \frac{v_i - v_s}{R_F} - \frac{v_s}{R_S} = 0, \quad (4.1)$$

dok za čvor D važi

$$-g_m v_{gs} - \frac{v_i - v_s}{R_F} - \frac{v_i}{R_D} = 0. \quad (4.2)$$



Slika 4.2

I prethodne dve jednačine dobija se

$$v_s = -v_i \frac{R_S}{R_D}. \quad (4.3)$$

U kolu sa slike 4.2 je

$$v_{gs} = v_g - v_s. \quad (4.4)$$

Iz (4.3) i (4.4) se dolazi do

$$v_{gs} = v_g + v_i \frac{R_S}{R_D}, \quad (4.5)$$

a iz (4.5) i (4.2) je

$$-g_m v_g = v_i \left( g_m \frac{R_S}{R_D} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_S}{R_D R_F} + \frac{1}{R_D} \right), \quad (4.6)$$

te je pojačanje pojačavača

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = - \frac{g_m}{g_m \frac{R_S}{R_D} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_S}{R_D R_F} + \frac{1}{R_D}}.$$

Transkonduktansa tranzistora u mirnoj radnoj tački je

$$g_m = \sqrt{2k_n I_D} = 10 \text{ mS}.$$

Pojačanje pojačavača iznosi

$$A_v = -1.56.$$

Ulazna otpornost definisana je paralelnom vezom otpornika  $R_1$  i  $R_2$  i ima vrednost

$$R_u = 4.8 \text{ k}\Omega.$$

Izlazna otpornost se može odrediti korišćenjem kola sa slike 4.3. Za čvor S važi

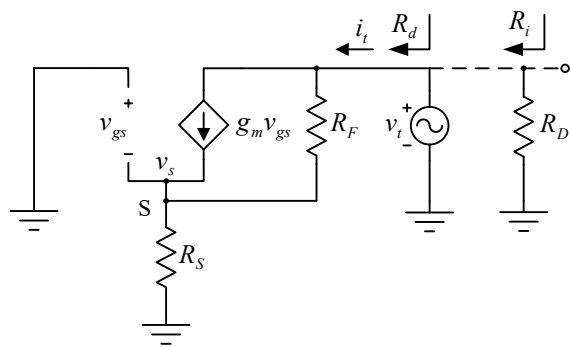
$$\frac{v_s}{R_S} - g_m v_{gs} + \frac{v_s - v_t}{R_F}.$$

S obzirom da je gejt na masi to je

$$v_{gs} = -v_s.$$

Iz prethodne dve jednačine se dobija

$$\frac{v_s}{R_S} + g_m v_s + \frac{v_s}{R_F} = \frac{v_t}{R_F}.$$



Slika 4.3

Na osnovu slike 4.3 se može pisati

$$v_s = R_S i_t.$$

Iz dve poslednje jednačine se dobija

$$R_t = \frac{v_t}{i_t} = R_F + R_S + g_m R_F R_S.$$

Ukupna izlazna otpornost je jednaka paralelnoj vezi  $R_t$  i  $R_D$  i ona iznosi

$$R_i = R_t \parallel R_D = 843 \Omega.$$

## 7. Rešenje

a) S obzirom da je kolo simetrično može se zaključiti da je

$$I_{D1} = I_{D2}, V_{D1} = V_{D2}$$

Imajući u vidu da je

$$V_{D1} = V_{D2} = -V_{DD} + R_D I_{D1} = -5 \text{ V},$$

dobija se

$$I_{D1} = I_{D2} = 1 \text{ mA},$$

te je, na osnovu simetrije kola,

$$I_{RSS} = I_{D1} + I_{D2} = 2 \text{ mA}.$$

Ako se pretpostavi da tranzistori rade u režimu zasićenja onda je

$$V_{SG1} = V_{SG2} = V_t + \sqrt{2 I_{D1} / k_p} = 4 \text{ V},$$

te je

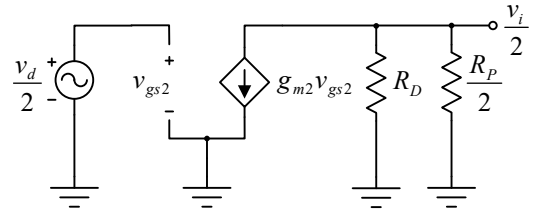
$$V_{S1} = V_{S2} = 0 - V_{GS1} = 4 \text{ V}.$$

Otpornost  $R_{SS}$  u sorsu ima vrednost

$$R_{SS} = \frac{V_{DD} - V_{S1,2}}{I_{RSS}} = 3 \text{ k}\Omega.$$

**b)** Ekvivalentna polovina kola za male signale pri pobudi diferencijalnim signalom data je na slici 7.2. Na osnovu ove slike se određuje diferencijalno pojačanje pojačavača

$$A_d = -g_m R_D || (R_P / 2).$$



Slika 7.2

Transkonduktansa tranzistora u mirnoj radnoj tački je

$$g_{m1,2} = \sqrt{2 k_p I_{D1,2}} = 2 \text{ mS},$$

a diferencijalno pojačanje pojačavača iznosi

$$A_d = -5.$$

## 8. Rešenje

Ulazni priključci operacionog pojačavača su uvek na istom, nultom potencijalu, jer je preko otpornika  $R_3$  uvek ostvarena negativna povratna sprega, bez obzira da li dioda D2 vodi ili ne.

Kada je ulazni napon negativan, struja teče u ulazni priključak kola. Kako je korišćeni model diode takav da se ona modeluje kratkom vezom kada provodi, bilo koja vrednost ulaznog negativnog napona je dovoljna da se dioda D1 uključi. Tada ulazna struja teče kroz paralelnu vezu otpornika  $R_1$  i  $R_2$ . Ova struja je takvog znaka da dioda D2 nema uslova da provodi. Napon na izlazu kola je

$$v_I = -\frac{R_3}{R_1 || R_2} v_U = -8 v_U.$$

Kada je ulazni napon pozitivan, struja teče iz izlaznog priključka kola. Dioda D1 je tada inverzno polarisana, odnosno isključena. Ulazna struja je takvog znaka da će dioda D2 (čiji je napon praga jednak nuli) imati uslova da provodi uvek kada je ulazni napon pozitivan. Tako ulazna struja od invertujućeg ulaznog priključka operacionog pojačavača prema izlazu kola teče kroz paralelnu vezu otpornika  $R_3$  i  $R_4$ . Napon na izlazu kola je

$$v_I = -\frac{R_3 || R_4}{R_2} v_U = -2 v_U.$$

Izraz za izlazni napon kola sa slike 8 je

$$v_I = \begin{cases} -8 v_U & v_U < 0 \text{ V} \\ -2 v_U & v_U \geq 0 \text{ V} \end{cases}$$