Osnovi analogne elektronike – AVGUST 2025/26 - REŠENJA

3. Rešenje

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

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

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

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

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

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

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

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

i tada napon na izlazu ima vrednost

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

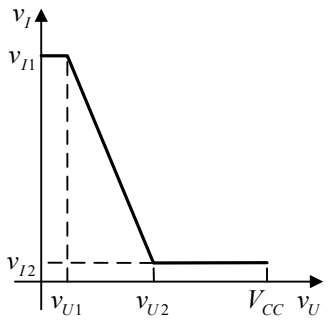
Sa daljim povećavanjem ulaznog napona povećavaju se struje tranzistora ali napon na izlazu ostaje na ovoj minimalnoj vrednosti dok napon na ulazu ne dostigne maksimalnih

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

Analitički izraz za funkciju prenosa kola je

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

a grafik ove funkcije je prikazan na slici 3.



Slika 3

4. Rešenje

a) S obzirom da je struja gejta tranzistora I_G=0, kroz otpornik R_G ne teče struja te je

$$V_D = V_G.$$

Na osnovu zadate vrednosti izlaznog napona dobija se struja drejna koja je jednaka struji sorsa

$$I_D = I_S = \frac{V_{\mathrm{DD}} - V_I}{R_D} = 1\mathrm{mA}.$$

Uz pretpostavku da tranzistor radi u aktivnom režimu važi

$$V_{\mathrm{GS}} = V_t + \sqrt{\frac{2I_D}{k_n}} = 4V.$$

Napon na sorsu je

$$V_S = V_I - V_{\mathrm{GS}} = 2V,$$

te sledi

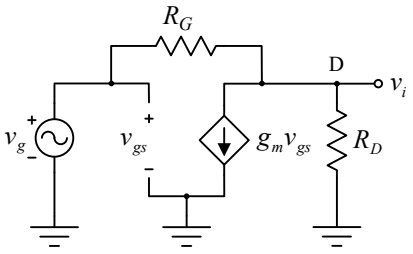
$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = 2k\Omega.$$

b) Na slici 4 je prikazano je ekvivalentno kolo pojačavača za male signale. Za čvor D se može pisati

$$\frac{v_g - v_i}{R_G} + \frac{0 - v_i}{R_D} = g_m v_g,$$

odakle sledi

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = -\frac{R_D}{R_G + R_D}(g_m R_G - 1).$$



Slika 4

Za određivanje izlazne otpornosti potrebno je kratko spojiti ulazni nezavisni naponski generator v_g. Tada je v_{gs}=0, te je

$$R_i = R_D \| R_G.$$

Transkonduktansa tranzistora u mirnoj radnoj tački je

$$g_m = 2 \text{ mS},$$

a traženi parametri pojačavača su

$$A_v = -4.9,$$
$$R_i = 2.72 k\Omega.$$

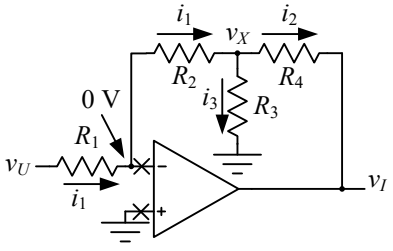
7. Rešenje

Kako je ulazna otpornost operacionog pojačavača beskonačno velika, u ulazne priključke operacionog pojačavača ne teče struja. Kako je u kolu ostvarena negativna povratna sprega, i pojačanje operacionog pojačavača je beskonačno, to su ulazni priključci operacionog pojačavača na istom potencijalu

$$v_{\text{UOP}^-} = v_{\text{UOP}^+ = 0}.$$

Uz korišćenje oznaka sa slike 7, sledi

$$i_1 = v_U / R_1,$$
$$v_X = -i_1 R_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_U$$
$$v_I = v_X - i_2 R_4$$
$$i_2 = i_1 - i_3$$
$$i_3 = \frac{v_X}{R_3} = -\frac{R_2}{R_1 R_3} v_U$$
$$i_2 = \frac{v_U}{R_1}(1 + R_2/R_3)$$
$$v_I = -v_U \frac{R_2}{R_1}\left(1 + \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3}\right) = -100 v_U.$$



Slika7

Iz poslednje jednakosti se određuje tražena vrednost otpornosti R_3

$$R_3 = \frac{R_4}{|A_V|(R_1/R_2) - R_4/R_2 - 1} \approx 36 k\Omega.$$

$$R_u = R_1 = 50 k\Omega$$

8. Rešenje

a) U odsustvu naizmenične pobude kroz tranzistor T_3 teče struja

$$I_{C3} = \frac{V_B - V_{\text{BE}} - V_{\text{CC}}}{R_E} = 5\text{mA}.$$

Na osnovu simetrije kola zaključuje se da kroz svaki tranzistor u diferencijalnom paru teku jednake struje

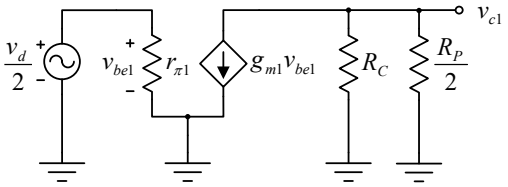
$$I_{E1} = I_{E2} = I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{C3}}{2} = 2.5\text{mA}.$$

S obzirom da je napon na izlazu v_I u mirnoj radnoj tački jednak dobija se

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{I_{C1}} = 2k\Omega.$$

b) Na slici 8 prikazana je ekvivalenta polovina kola pri pobudi diferencijalnim signalom, na osnovu koje je

$$v_{c1} = -g_m \left(R_C \parallel \frac{R_P}{2} \right) \frac{v_d}{2}.$$



Slika 8

Na sličan način, za drugu polovinu kola se dobija

$$v_{c2} = g_m \left(R_C \parallel \frac{R_P}{2} \right) \frac{v_d}{2},$$

te je

$$v_i = v_{c2} - v_{c1} = g_m \left(R_C \parallel \frac{R_P}{2} \right) v_d.$$

Diferencijalno pojačanje pojačavača je dato izrazom

$$A_d = \frac{v_i}{v_d} = g_m \left(R_C \parallel \frac{R_P}{2} \right).$$

S obzirom da je vrednost transkonduktanse tranzistora u mirnoj radnoj tački

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.80S,$$

diferencijalno pojačanje pojačavača iznosi

$$A_d = g_m \left(R_C \parallel \frac{R_P}{2} \right) = 80.$$