

REŠENJA

4. Kada dioda ne provodi, otpornici R_A i R_B povezani između izlaza operacionog pojačavača i napona napajanja ne utiču na izlazni napon, i pojačavač se ponaša kao neinvertujući pojačavač kod koga je izlazni napon

$$v_I = \left(1 + \frac{R_A}{R_B}\right)v_U = 4v_U .$$

Napon na diodi je

$$v_D = v_U - \left(\frac{R_B}{R_A + R_B}V_{CC} + \frac{R_A}{R_A + R_B}v_I\right) = -2v_U - 3 ,$$

odakle se dobija vrednost ulaznog napona za koju dioda počinje da provodi

$$v_D \leq V_D ,$$

$$v_U \geq -1.5 \text{ V} .$$

Kako se povećavanjem ulaznog napona povećava i izlazni napon, u jednom trenutku operacioni pojačavač će ući u pozitivno zasićenje

$$v_I = V_{CC} , \text{ za } v_U = \frac{V_{CC}}{4} = 3 \text{ V} .$$

Kada dioda D provodi, kolo dato u postavci zadatka može se zameniti kolom sa slike za koje važi

$$\frac{V_{CC} - v_U}{R_A} + \frac{v_I - v_U}{R_A \parallel R_B} = \frac{v_U}{R_B} ,$$

odakle se dobija

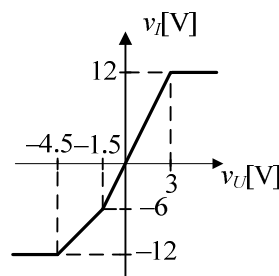
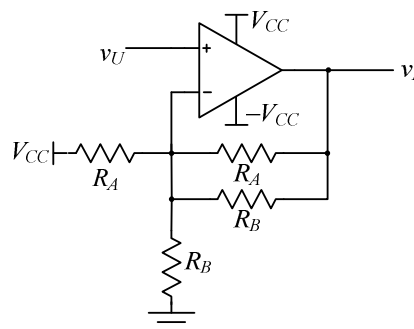
$$v_I = 2v_U - 3 \text{ V} .$$

Kako se smanjenjem ulaznog napona smanjuje izlazni napon, u jednom trenutku operacioni pojačavač će ući u negativno zasićenje

$$v_I = -V_{CC} , \text{ za } v_U = \frac{-V_{CC} + 3}{2} = -4.5 \text{ V} .$$

Karakteristika prenosa kola je

$$v_I = \begin{cases} -12 \text{ V} & v_U < -4.5 \text{ V} \\ 2v_U - 3 \text{ V} & -4.5 \text{ V} \leq v_U \leq -1.5 \text{ V} \\ 4v_U & -1.5 \text{ V} \leq v_U \leq 3 \text{ V} \\ 12 \text{ V} & v_U > 3 \text{ V} \end{cases} ,$$



i grafički je prikazana na slici.

5. a) Na slici 1 prikazano je kolo pojačavača za jednosmerne signale nakon zamene baznog kola ekvivalentnim Tevenenovim generatorom čiji su parametri

$$V_{TT} = V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0 \text{ V},$$

$$R_{TT} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 5.5 \text{ k}\Omega.$$

Tranzistor u konfiguraciji pojačavača sa zajedničkim kolektorom sigurno vodi u aktivnom režimu pa važi

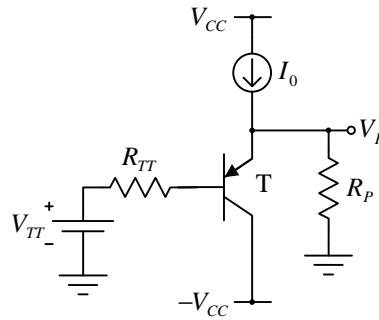
$$I_E = (1 + \beta) I_B.$$

Na osnovu kola sa slike 1 se može pisati

$$I_0 = I_E + I_P = (1 + \beta) I_B + V_P / R_P,$$

$$V_P - |V_{BE}| - R_{TT} I_B = V_{TT}.$$

Slika 1.



Rešavanjem sistema gornje dve jednačine dobija se

$$V_P = \frac{I_0 + (1 + \beta)(V_{BE} + V_{TT}) / R_{TT}}{1 / R_P + (1 + \beta) / R_{TT}} = 1.18 \text{ V}.$$

Kolektorska struja tranzistora u mirnoj radnoj tački je

$$I_C = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \left(I_0 - \frac{V_P}{R_P} \right) \approx 8.73 \text{ mA},$$

a parametri modela tranzistora za male signale su

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 350 \text{ mS}, \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \approx 285 \Omega.$$

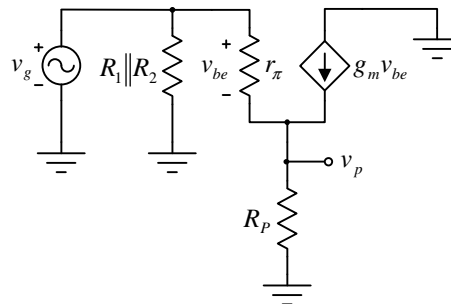
b) Na slici 2 je prikazano ekvivalentno kolo pojačavača za male signale, na osnovu koga se može pisati

$$\frac{v_p}{R_P} - g_m v_{be} + \frac{v_p - v_g}{r_\pi} = 0,$$

$$v_{be} = v_g - v_p,$$

odakle sledi i izraz za naponsko pojačanje pojačavača

$$A_v = \frac{v_p}{v_g} = \frac{g_m + \frac{1}{r_\pi}}{\frac{1}{R_P} + g_m + \frac{1}{r_\pi}} = 0.997$$



Slika 2.

c)

$$R_u = R_1 || R_2 || (r_\pi + (1 + \beta) R_P) \approx 5.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_i = \frac{r_\pi}{1 + \beta} \approx 2.8 \Omega$$

6. a) $I_{DQ5} = I_{DQ6} = I_0 = 800 \mu\text{A}$. $I_{DQ3} = I_{DQ4} = I_0 / 2 = 400 \mu\text{A}$ $I_{DQ7} = I_0 / 5 = 800 / 5 = 160 \mu\text{A} = I_{BQ8}$

$I_{CQ8} = \beta I_{BQ8} = 16 \text{ mA}$

$$V_{GS6} = V_t + \sqrt{\frac{2I_{DQ6}}{B}} = V_t + \sqrt{\frac{2I_0}{B}} = 2.26 \text{ V} \Rightarrow V_{DQ6} = -9.74 \text{ V}$$

b)

$$V_{IQ} = V_{CC} - R_E \cdot \beta \cdot I_{BQ8} \approx 6.4 \text{ V}$$

c) $V_{GS4} = V_t + \sqrt{\frac{2I_{DQ4}}{B}} = V_t + \sqrt{\frac{2I_0 / 2}{B}} = 1.9 \text{ V} \Rightarrow V_{SQ4} = V_{DQ5} = -1.9 \text{ V}$

$$P_{DM5} = V_{DS5} I_{DQ5} = 10.1 \text{ V} \cdot 0.8 \text{ mA} = 8.08 \text{ mW}$$

$$P_{DI0} = (V_{DD} - V_{DQ6}) \cdot I_0 = 21.74 \text{ V} \cdot 0.8 \text{ mA} = 17.4 \text{ mW}$$

d) Osim za M_7 za ostale tranzistore važi $B=k_p \cdot W/L = 0.5 \text{ mA/V}^2 \cdot 2/1 = 1 \text{ mA/V}^2$

Transkonduktansa $g_{m3,4}$ iznosi:

$$g_{m3,4} = g_m = \sqrt{2BI_{DQ3,4}} = \sqrt{2 \cdot 0.4 \text{ mA} \cdot 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}} = 0.9 \text{ mS}$$

Kako je za mali signal M_7 isključen, jer je on DC strujni izvor, a diferencijalni pojačavač sa strujnim ogledalom je kontrolisani strujni izvor, tranzistor Q_8 se pobuđuje samo tom strujom i pojačava je β puta, tako da za njega nije potrebno odrediti parametre za mali signal (β je dovoljno).

Šema za mali signal pojačavača sa slike data je na slici. Kako je bazna struja Q_8 jednaka $i_{b8} = -g_m v_d$, a napon na izlazu jednak $v_i = -R_E i_{e8}$, dobija se da je $v_i = (1 + \beta) g_m R_E v_d = 31.5 \cdot v_d$

