

1. Za kolo pojačavača snage sa slike 1:

a) [10] odrediti otpornosti R_1, R_4, R_6, R_7 i R_8 tako da

- u odsustvu pobude bude $V_X = \frac{V_{CC}}{2}$

- naponsko pojačanje bude $A = \frac{v_p}{v_g} = 100$

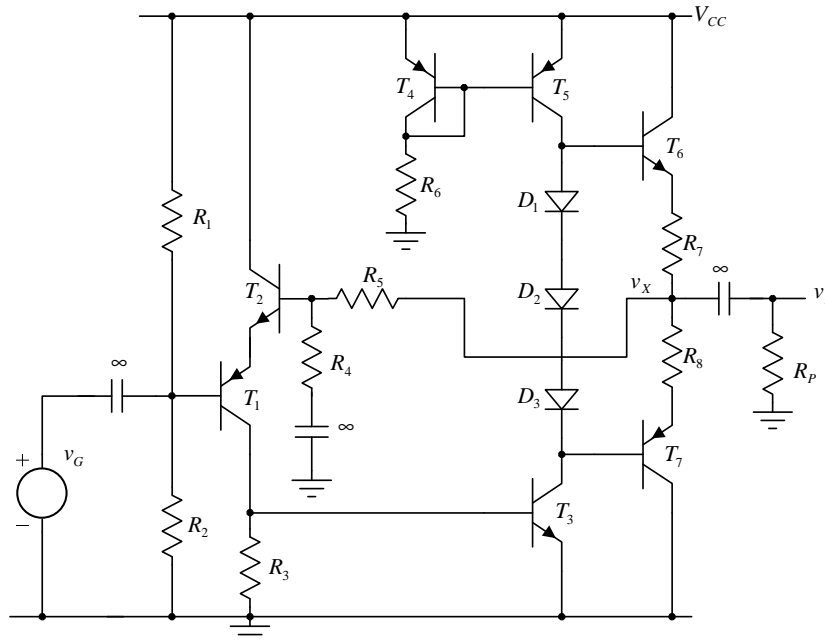
- struje izlaznih tranzistora u odsustvu pobude budu $I_{C6} = I_{C7} = 100 \text{ mA}$

- maksimalna moguća amplituda neizobličenog izlaznog napona bude $V_{p\max} = 3 \text{ V}$

b) [5] pod uslovima iz tačke a), i ako je na ulazu prisutan sinusoidalni pobudni napon frekvencije ω i amplitude $V_g = 0.028 \text{ V}$, izračunati i nacrtati talasne oblike signala $v_g, v_x, v_p, i_p, i_{C6}$ i i_{C7}

c) [5] pod uslovima iz tačke a) odrediti izraz za zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od amplitude neizobličenog izlaznog napona, $\eta(V_p)$. Smatrati da su preovlađajući gubici u kolu gubici na izlaznim tranzistorima. $\cos(\arcsin x) = \sqrt{1-x^2}$.

Pojačanja tranzistora T_6 i T_7 iznose $\beta = 20$, dok ostali tranzistori imaju $\beta \gg 1$. Poznato je: $V_{BE} = V_D = 0.7 \text{ V}$, $V_{CES} = 0.2 \text{ V}$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_p = 7 \Omega$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$.



Slika 1.

Rešenje:

a)

U odsustvu pobude je

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = V_X - R_5 I_{B2} - 2V_{BE} \approx V_X - 2V_{BE} = \frac{V_{CC}}{2} - 2V_{BE}$$

$$R_1 = R_2 \left(\frac{V_{CC}}{\frac{V_{CC}}{2} - 2V_{BE}} - 1 \right) = 16.1 \text{ k}\Omega$$

Pojačanje promenljivog signala je

$$A = 1 + \frac{R_5}{R_4}$$

$$R_4 = \frac{R_5}{A - 1} = 101 \Omega$$

Otpornici R_7 i R_8 definišu struju izlaznih tranzistora u mirnoj radnoj tački:

$$\begin{aligned} 3V_D &= 2V_{BE} + R_7 I_{C6} + R_8 I_{C7} \\ 3V_D - 2V_{BE} &= (R_7 + R_8) I_{C6/7} \\ R_7 + R_8 &= \frac{3V_D - 2V_{BE}}{I_{C6/7}} = 7 \Omega \end{aligned}$$

Da bi bilo $V_x = \frac{V_{CC}}{2}$, otpornici moraju imati iste vrednosti

$$R_7 = R_8 = 3.5 \Omega$$

Da bi se odredila maksimalna amplituda neizobličenog izlaznog signala potrebno je analizirati rad kola. Struje izlaznih tranzistora su

$$\begin{aligned} i_{C6} &= I_{C6} + i_{c6} \\ i_{C7} &= I_{C7} + i_{c7} \end{aligned}$$

Dok vode oba tranzistora, važi da je

$$R_7 i_{c6} + R_8 i_{c7} = 0, \text{ odnosno } i_{c6} = -i_{c7}$$

Prvi Kirhofov zakon za struje daje

$$i_{c6} = i_p + i_{c6}$$

Konačno

$$\begin{aligned} i_{c6} &= \frac{i_p}{2} \\ i_{c7} &= -\frac{i_p}{2} \end{aligned}$$

Ukupne struje kada vode oba tranzistora:

$$\begin{aligned} i_{C6} &= I_{C6} + \frac{i_p}{2} = I_{C6} + \frac{v_p}{2R_p} \\ i_{C7} &= I_{C7} - \frac{i_p}{2} = I_{C7} - \frac{v_p}{2R_p} \end{aligned}$$

Tranzistor T_6 vodi kada

$$i_{C6} \geq 0 \Rightarrow v_p \geq -2R_p I_{C6/7}$$

Tranzistor T_7 vodi kada

$$i_{C7} \geq 0 \Rightarrow v_p \leq 2R_p I_{C6/7}$$

Za $v_p < -2R_p I_{C6/7} = -1.4 \text{ V}$ vodi samo tranzistor T_7 i tada je

$$\begin{aligned} i_{C6} &= 0 \\ i_{C7} &= -\frac{v_p}{R_p} \end{aligned}$$

Za $v_p > 2R_p I_{C6/7} = 1.4 \text{ V}$ vodi samo tranzistor T_6 i tada je

$$i_{C6} = \frac{v_p}{R_p}$$

Izobličenja u kolu mogu da nastanu usled odlaska tranzistora T_3 ili T_5 u zasićenje. Alternativno, može doći do ograničenja struje baze tranzistora T_6 .

Uslov zasićenja tranzistora T_5 :

$$\begin{aligned} V_{CC} - \left(\frac{V_{CC}}{2} + v_p + R_7 \frac{v_p}{R_p} + V_{BE} \right) &\geq V_{CES} \\ \frac{V_{CC}}{2} - V_{BE} - V_{CES} &\geq v_p \left(1 + \frac{R_7}{R_p} \right) \\ v_p &\leq \frac{\frac{V_{CC}}{2} - V_{BE} - V_{CES}}{1 + \frac{R_7}{R_p}} \end{aligned}$$

$$V_{p\max} = 3.4 \text{ V}$$

Uslov zasićenja tranzistora T_3 :

$$\frac{V_{CC}}{2} + v_p - R_8 \frac{v_p}{R_p} - V_{BE} \geq V_{CES}$$

$$v_p \geq \frac{V_{BE} + V_{CES} - \frac{V_{CC}}{2}}{1 + \frac{R_8}{R_p}}$$

$$V_{p\max} = 3.4 \text{ V}$$

Očigledno treba podesiti strujno ograničenje da se javlja za $v_p = 3 \text{ V}$, kada vodi samo tranzistor T_6 .

Tada sva struja tranzistora T_5 odlazi u bazu tranzistora T_6 :

$$\frac{v_p}{R_p} \leq (1 + \beta) I_{C5}$$

$$I_{C5} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_6}$$

$$\frac{v_p}{R_p} \leq (1 + \beta) \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_6}$$

$$V_{p\max} = (1 + \beta) \frac{R_p}{R_6} (V_{CC} - V_{BE})$$

$$R_6 = (1 + \beta) R_p \frac{V_{CC} - V_{BE}}{V_{p\max}} = 553.7 \Omega$$

b)

$$v_g = V_g \sin \omega t = 0.028 \text{ V} \sin \omega t$$

$$V_x = \frac{V_{CC}}{2} + AV_g \sin \omega t = 6 \text{ V} + 2.8 \text{ V} \sin \omega t$$

$$v_p = AV_g \sin \omega t = 2.8 \text{ V} \sin \omega t$$

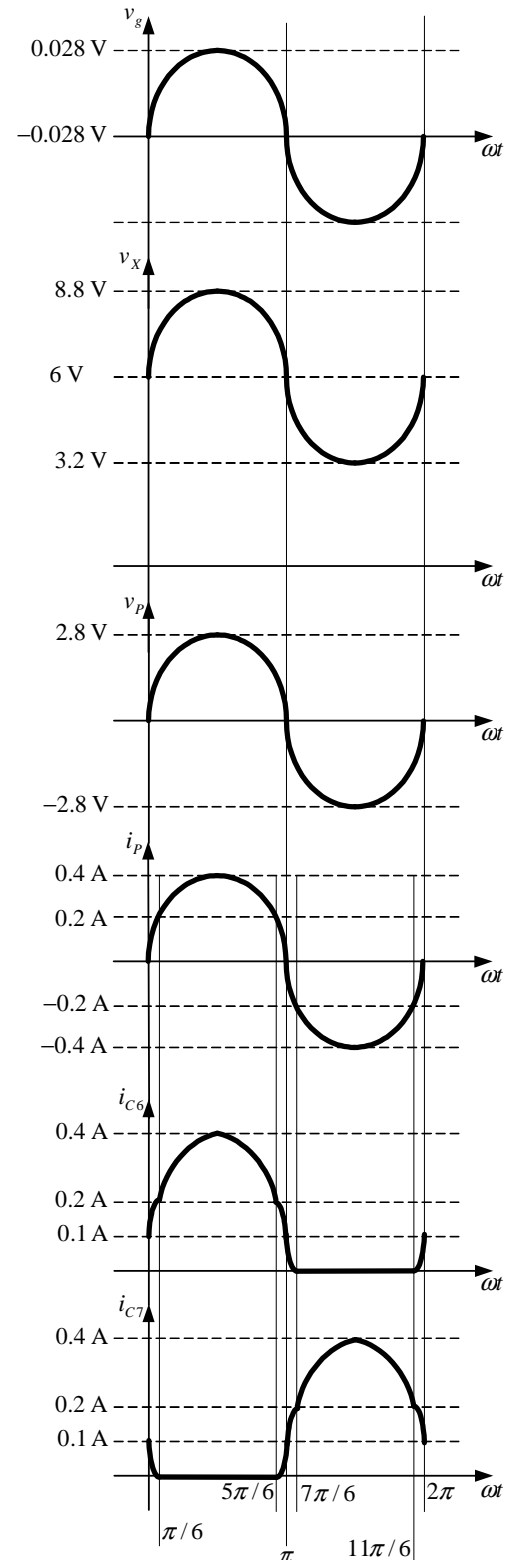
$$i_p = \frac{AV_g}{R_p} \sin \omega t = 0.4 \text{ A} \sin \omega t$$

$$i_{C6} = \begin{cases} I_{C6} + \frac{i_p}{2}, & -1.4 \text{ V} \leq v_p \leq 1.4 \text{ V} \\ i_p, & v_p \geq 1.4 \text{ V} \\ 0, & v_p \leq -1.4 \text{ V} \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} 0.1 \text{ A} + 0.2 \text{ A} \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \pi/6, 5\pi/6 \leq \omega t \leq 7\pi/6, 11\pi/6 \leq \omega t \leq 2\pi \\ 0.4 \text{ A} \sin \omega t, & \pi/6 \leq \omega t \leq 5\pi/6 \\ 0, & 7\pi/6 \leq \omega t \leq 11\pi/6 \end{cases}$$

$$i_{C7} = \begin{cases} I_{C7} - \frac{i_p}{2}, & -1.4 \text{ V} \leq v_p \leq 1.4 \text{ V} \\ 0, & v_p \geq 1.4 \text{ V} \\ -i_p, & v_p \leq -1.4 \text{ V} \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} 0.1 \text{ A} - 0.2 \text{ A} \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \pi/6, 5\pi/6 \leq \omega t \leq 7\pi/6, 11\pi/6 \leq \omega t \leq 2\pi \\ 0, & \pi/6 \leq \omega t \leq 5\pi/6 \\ -0.4 \text{ A} \sin \omega t, & 7\pi/6 \leq \omega t \leq 11\pi/6 \end{cases}$$



c)

$$\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} = \frac{V_p^2 / 2R_p}{V_{CC} i_{C6}}$$

Kada je $V_p \leq 2R_p I_{C6/7}$, neprestano vode oba tranzistora, i tada je

$$\overline{i_{C6}} = I_{C6/7},$$

Odnosno

$$\eta = \frac{V_p^2}{2R_p V_{CC} I_{C6/7}}$$

Kada je $V_p > 2R_p I_{C6/7}$, u pojedinim intervalima vodi samo jedan od izlaznih tranzistora. Granični trenutak t_X određen je na sledeći način:

$$V_p \sin \omega t_X = 2R_p I_{C6/7} \Rightarrow t_X = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p}$$

$$i_{C6} = \begin{cases} I_{C6} + \frac{i_p}{2}, & -1.4 \text{ V} \leq v_p \leq 1.4 \text{ V} \\ i_p, & v_p \geq 1.4 \text{ V} \\ 0, & v_p \leq -1.4 \text{ V} \end{cases} = i_{C6} = \begin{cases} 0.1 \text{ A} + 0.2 \text{ A} \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \pi/6, 5\pi/6 \leq \omega t \leq 7\pi/6, 11\pi/6 \leq \omega t \leq 2\pi \\ 0.4 \text{ A} \sin \omega t, & \pi/6 \leq \omega t \leq 5\pi/6 \\ 0, & 7\pi/6 \leq \omega t \leq 11\pi/6 \end{cases}$$

$$\overline{i_{C6}} = \frac{\omega}{2\pi} \left(\int_0^{t_X} \left(I_{C6} + \frac{V_p}{2R_p} \sin \omega t \right) dt + \int_{\frac{\pi}{\omega} - t_X}^{\frac{\pi}{\omega} + t_X} \left(I_{C6} + \frac{V_p}{2R_p} \sin \omega t \right) dt + \int_{\frac{2\pi}{\omega} - t_X}^{2\pi} \left(I_{C6} + \frac{V_p}{2R_p} \sin \omega t \right) dt + \int_{t_X}^{\frac{\pi}{\omega} - t_X} \frac{V_p}{R_p} \sin \omega t dt \right)$$

$$\overline{i_{C6}} = \frac{2I_{C6/7}}{\pi} \arcsin \frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} + \frac{V_p}{\pi R_p} \cos \left(\arcsin \frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} \right) = \frac{2I_{C6/7}}{\pi} \arcsin \frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} + \frac{V_p}{\pi R_p} \sqrt{1 - \left(\frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} \right)^2}$$

$$\eta = \begin{cases} \frac{V_p^2}{2R_p V_{CC} I_{C6/7}}, & V_p \leq 2R_p I_{C6/7} \\ \frac{V_p^2}{V_{CC} \left(\frac{4R_p I_{C6/7}}{\pi} \arcsin \frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} + \frac{2V_p}{\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{2R_p I_{C6/7}}{V_p} \right)^2} \right)}, & V_p > 2R_p I_{C6/7} \end{cases}$$

$$\eta = \begin{cases} \frac{V_p^2}{16.8}, & V_p \leq 1.4 \text{ V} \\ \frac{V_p^2}{10.7 \arcsin \frac{1.4 \text{ V}}{V_p} + 7.64 \sqrt{1 - \left(\frac{1.4 \text{ V}}{V_p} \right)^2}}, & V_p > 1.4 \text{ V} \end{cases}$$