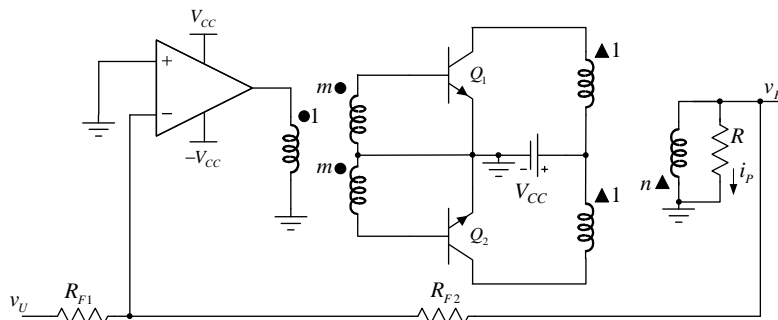


1. U kolu sa slike 1 operacioni pojačavač može se smatrati idealnim. Parametri bipolarnih tranzistora su $V_T = 25 \text{ mV}$, $I_S = 10^{-9} \text{ A}$, $\beta \rightarrow \infty$, $V_{CES} = 0$, dok su preostali poznati parametri $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R = 50 \Omega$, $m = 2$, $n = 4$, $R_{F1} = 15 \text{ k}\Omega$, $R_{F2} = 30 \text{ k}\Omega$. Napon na ulazu kola je sinusoidalnog talasnog oblika amplitude V_u i ugaone učestanosti ω .



Slika 1

- a) [2] Odrediti maksimalno moguću amplitudu ulaznog napona, tako da se na izlazu još uvek dobija neizobličen signal.
b) [5] Odrediti graničnu vrednost za prenosni koeficijent m , tako da se na izlazu pri ulaznoj amplitudi iz tačke a) i dalje dobija neizobličen signal.

Ako je na ulazu prisutan ulazni napon amplitude određene u tački a):

- c) [6] odrediti i nacrtati vremenske oblike napona v_U , v_P , v_{CE1} , v_{CE2} i v_{IOP} , i struja i_P , i_{C1} i i_{C2} .

- d) [2] u $(v_{CE1} - i_{C1})$ ravni nacrtati putanju radne tačke tranzistora Q_1 .

- e) [5] izračunati korisnu snagu, snagu disipacije tranzistora Q_1 , snagu izvora za napajanje i koeficijent korisnog dejstva pojačavača.

Rešenje:

U rešavanju zadatka korišće se za tranzistor u direktnom aktivnom režimu sledeća zavisnost struje kolektora od napona između baze i emitora.

$$i_C = I_S \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right), v_{BE} \geq 0 \quad (1)$$

$$i_C = 0, v_{BE} < 0$$

Ova zavisnost obezbeđuje da struja kolektora može biti pasti na nulu, što se koristi kao granična tačka između direktnog aktivnog režima i isključenja.

a)

$$v_U = V_u \sin \omega t$$

$$v_P = -2v_U = -2V_u \sin \omega t$$

$$v_{CE1} = V_{CC} - \frac{v_P}{n} = V_{CC} + \frac{2V_u}{n} \sin \omega t$$

$$v_{CE2} = V_{CC} + \frac{v_P}{n} = V_{CC} - \frac{2V_u}{n} \sin \omega t$$

Da bi bila omogućena maksimalna varijacija napona na izlazu potrebno je da bude

$$v_{CE1\min} = V_{CES} = V_{CC} - \frac{2V_u}{n}$$

Oдавde je

$$V_{u\max} = \frac{nV_{CC}}{2} = 30 \text{ V}$$

Preostale jednačine koje opisuju rad kola su:

$$i_P = \frac{v_P}{R} = -\frac{2V_u}{R} \sin \omega t$$

$$i_{C1} = \begin{cases} 0, & i_P < 0 \\ ni_P, & i_P > 0 \end{cases} = \begin{cases} 0, & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ -\frac{2nV_u}{R} \sin \omega t, & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

$$i_{C2} = \begin{cases} -ni_P, & i_P < 0 \\ 0, & i_P > 0 \end{cases} = \begin{cases} \frac{2nV_u}{R} \sin \omega t, & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ 0, & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

$$i_{C1} = I_S \left(e^{\frac{mv_{IOP}}{V_T}} - 1 \right) \Rightarrow v_{IOP} = \frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{i_{C1}}{I_S} \right), i_P > 0$$

$$i_{C2} = I_S \left(e^{-\frac{mv_{IOP}}{V_T}} - 1 \right) \Rightarrow v_{IOP} = -\frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{i_{C2}}{I_S} \right), i_P < 0$$

$$v_{IOP} = \begin{cases} -\frac{V_T}{m} \ln \left(1 - \frac{ni_P}{I_S} \right), & i_P < 0 \\ \frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{ni_P}{I_S} \right), & i_P > 0 \end{cases} = \begin{cases} -\frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{2nV_u}{RI_S} \sin \omega t \right), & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ \frac{V_T}{m} \ln \left(1 - \frac{2nV_u}{RI_S} \sin \omega t \right), & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

$$v_{IOP} = -\operatorname{sgn}(\sin \omega t) \frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{2nV_u}{RI_S} |\sin \omega t| \right)$$

b)

Mora važiti da je

$$-V_{CC} \leq v_{IOP} \leq V_{CC}$$

$$\frac{V_T}{m} \ln \left(1 + \frac{2nV_u}{RI_S} \right) \leq V_{CC} \Rightarrow m \geq \frac{V_T}{V_{CC}} \ln \left(1 + \frac{2nV_{u\max}}{RI_S} \right)$$

$$m_{\min} = 0.037$$

c)

$$v_U = 30 V \sin \omega t$$

$$v_P = -60 V \sin \omega t$$

$$v_{CE1} = 15 V + 15 V \sin \omega t$$

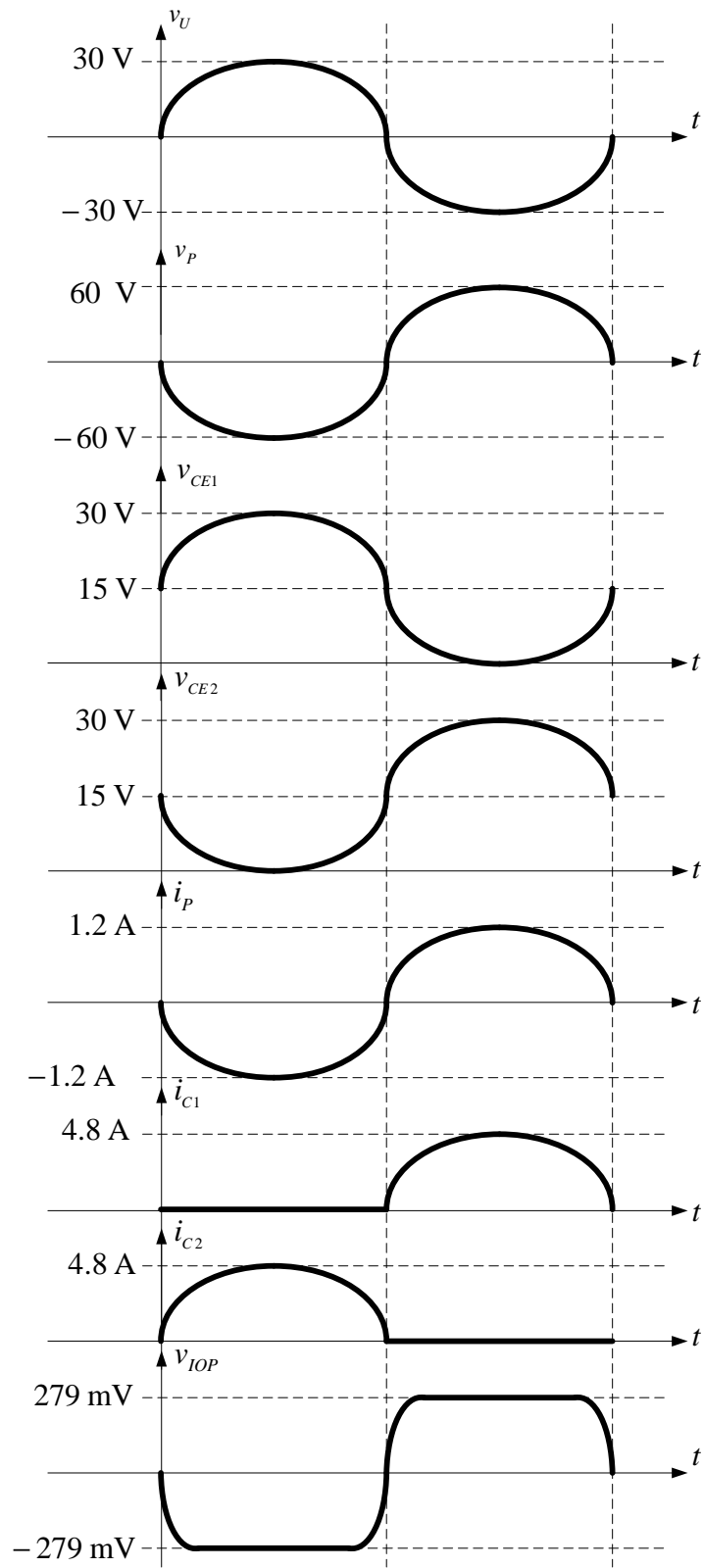
$$v_{CE2} = 15 V - 15 V \sin \omega t$$

$$i_P = -1.2 A \sin \omega t$$

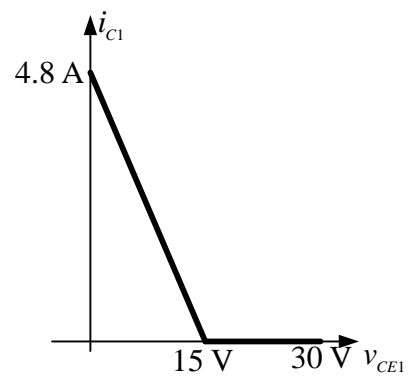
$$i_{C1} = \begin{cases} 0, & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ -4.8 A \sin \omega t, & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

$$i_{C2} = \begin{cases} 4.8 A \sin \omega t, & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ 0, & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$

$$v_{IOP} = -\operatorname{sgn}(\sin \omega t) 12.5 mV \ln \left(1 + 4.8 \cdot 10^9 |\sin \omega t| \right)$$



d)



e)

$$P_k = \frac{V_p^2}{2R} = \frac{4V_u^2}{2R} = 36 \text{ W}$$
$$P_{D1} = \overline{p_{D1}} = \frac{1}{T} \int_{nT}^{(n+1)T} v_{CE1} i_{C1} dt = - \int_{\frac{2n+1}{2}T}^{(n+1)T} 15(1 + \sin \omega t) 4.8 \sin \omega t dt =$$
$$= -72 \int_{\frac{2n+1}{2}T}^{(n+1)T} \sin \omega t dt - 72 \int_{\frac{2n+1}{2}T}^{(n+1)T} \sin^2 \omega t dt = 72 \left(\frac{1}{\pi} - \frac{1}{4} \right) = 4.92 \text{ W}$$
$$P_{DD} = P_{D1} + P_{D2} + P_K = 2P_{D1} + P_K = 45.84 \text{ W}$$
$$\eta = \frac{P_K}{P_{DD}} = 78.5\%$$

Predlog za vežbu: Probati uraditi zadatak koristeći zavisnost

$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

i izvesti zaključak zašto je potrebno koristiti zavisnost (1).