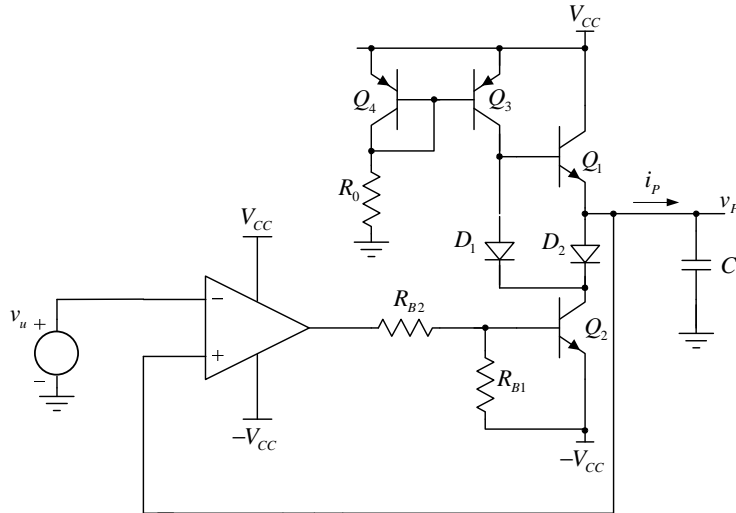


3. U kolu sa slike 3 operacioni pojačavač se može smatrati idealnim, sa maksimalnom strujom $i_{OPmax} = 4 \text{ mA}$. Parametri tranzistora u kolu sa slike su $\beta_1 = \beta_2 = 99$, $\beta_3 = \beta_4 \rightarrow \infty$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_{CES} = 0.2 \text{ V}$ dok je $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $C = 2.5 \mu\text{F}$, $R_0 = 11.3 \text{ k}\Omega$, $R_{B1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 2 \text{ k}\Omega$. Napon na ulazu kola je trougaonog talasnog oblika amplitude V_u i periode T .



Slika 3

- [3] Nacrtati i označiti dijagrame v_U , v_P , i_P , i_{C1} , i_{C2} i v_{IOP} tokom jedne periode ulaznog napona, ako je $V_u = 3 \text{ V}$, $T = 1 \text{ ms}$.
- [2] Pod uslovima iz tačke a) izračunati snage disipacije tranzistora Q_1 i Q_2 , i korisnu snagu koja se razvija na potrošaču.
- [4] Odrediti graničnu vrednost kapacitivnosti $C = C_{gr}$ tako da maksimalno moguća amplituda neizobličenog simetričnog napona na izlazu ne zavisi od vrednosti ove kapacitivnosti.
- [1] Ako je $C = C_{gr}$ iz tačke c) odrediti opseg mogućih vrednosti otpornosti R_{B2} tako da kolo i dalje ispravno radi.

Rešenje:

a)

Tranzistori Q_3 i Q_4 predstavljaju strujni izvor, struje:

$$I_0 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} = 1 \text{ mA}$$

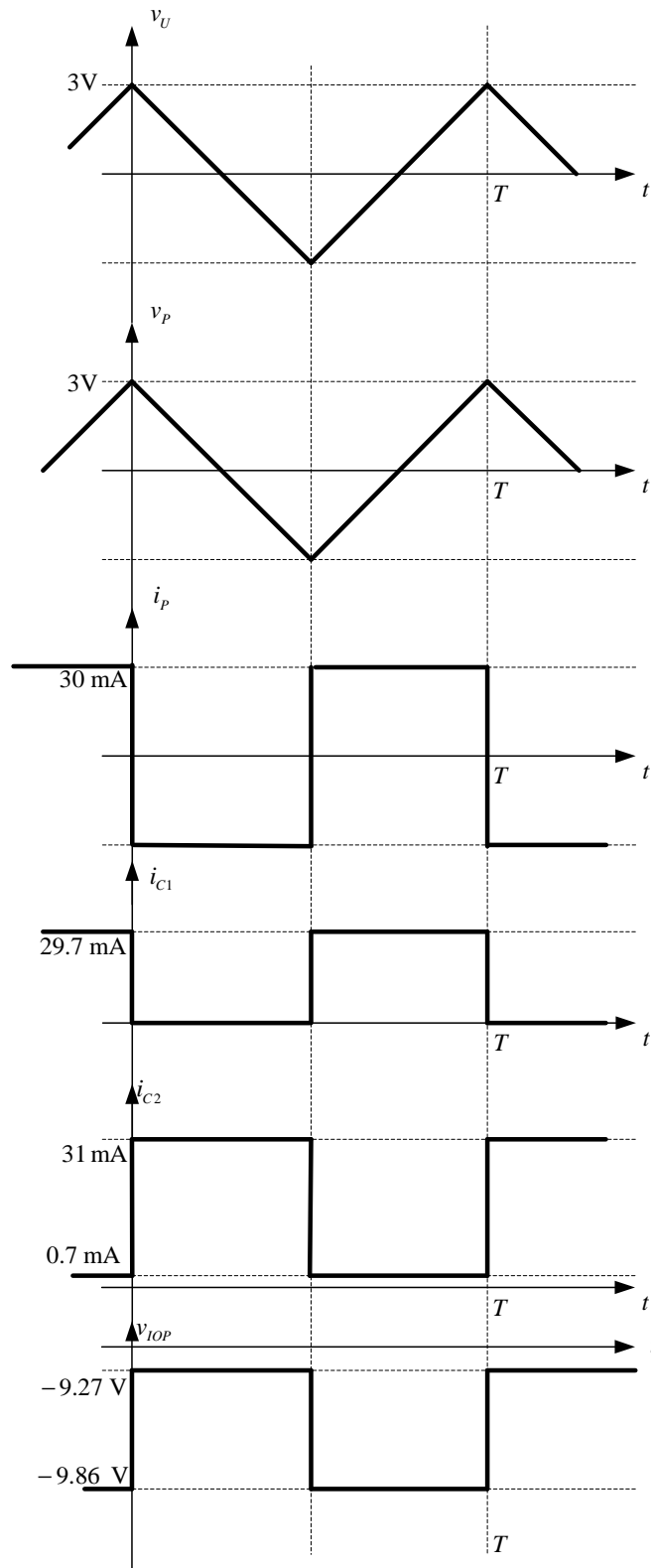
$$v_P = v_U = V_u \Delta(t)$$

$$i_P = C \frac{dv_P}{dt} = CV_u \frac{d\Delta(t)}{dt} = -\frac{4CV_u}{T} \Pi(t) = -30 \text{ mA} \Pi(t)$$

$$i_{C1} = \begin{cases} \frac{\beta}{1+\beta} i_P, & i_P > 0 \\ 0 & i_P < 0 \end{cases} = \begin{cases} 0, & nT < t < \frac{2n+1}{2}T \\ 29.7 \text{ mA} & \frac{2n+1}{2}T < t < (n+1)T \end{cases}$$

$$i_{C2} = \begin{cases} I_0 - i_P, & i_P < 0 \\ I_0 - \frac{i_P}{1+\beta} & i_P > 0 \end{cases} = \begin{cases} 31 \text{ mA}, & nT < t < \frac{2n+1}{2}T \\ 0.7 \text{ mA} & \frac{2n+1}{2}T < t < (n+1)T \end{cases}$$

$$v_{IOP} = -V_{CC} + V_{BE} + R_{B2} \left(\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2}}{\beta} \right) = \begin{cases} -9.27 \text{ V}, & nT \leq t \leq \frac{2n+1}{2}T \\ -9.86 \text{ V}, & \frac{2n+1}{2}T \leq t \leq (n+1)T \end{cases}$$



b)

$$P_{D1} = \frac{1}{T} \int_0^T 29.7\text{ mA} (12\text{ V} - 3\text{ V} \Delta(t)) \text{ V} dt = \frac{1}{T} \left(356.4\text{ mW} \int_0^T dt - 89.1\text{ mW} \int_0^T \Delta(t) dt \right) = \dots = 178.2\text{ mW}$$

$$\begin{aligned}
P_{D2} &= \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (11.3 \text{ V} + 3 \text{ V}\Delta(t)) 31 \text{ mA} dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{T}{2}}^T (12 \text{ V} + 3 \text{ V}\Delta(t)) 0.7 \text{ mA} dt = \\
&= \left(\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} 350.3 \text{ mW} dt + \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} 93 \text{ mW}\Delta(t) dt \right) + \left(\frac{1}{T} \int_{\frac{T}{2}}^T 8.4 \text{ mW} dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{T}{2}}^T 2.1 \text{ mW}\Delta(t) dt \right) = 179.35 \text{ mW} \\
P_{OUT} &= 0
\end{aligned}$$

c)

Strujno ograničenje za tranzistor Q_1 , kada sva struja I_0 ode u bazu tranzistora Q_1 :

$$\begin{aligned}
i_{P\max} &= \frac{4Cv_{P\max}}{T} \leq (1 + \beta)I_0 \\
v_{P\max 1} &= (1 + \beta)I_0 \frac{T}{4C}
\end{aligned}$$

Strujno ograničenje operacionog pojačavača:

$$i_{OP} = \frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2}}{\beta} \leq i_{OP\max}$$

Kritično je kada je struja kolektora Q_2 najveća, a to je prva poluperioda

$$\begin{aligned}
\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{I_0 - i_P}{\beta} &= \frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{I_0 + \frac{4Cv_P}{T}}{\beta} \leq i_{OP\max} \\
v_{P\max 2} &= \frac{T}{4C} \left(\beta \left(i_{OP\max} - \frac{V_{BE}}{R_{B1}} \right) - I_0 \right)
\end{aligned}$$

Naponsko zasićenje operacionog pojačavača:

$$-V_{CC} \leq -V_{CC} + V_{BE} + R_{B2} \left(\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2}}{\beta} \right) \leq V_{CC}$$

Negativno zasićenje se nikada neće dostići. Preostaje pozitivno:

$$\begin{aligned}
-V_{CC} + V_{BE} + R_{B2} \left(\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{I_0 + \frac{4Cv_P}{T}}{\beta} \right) &\leq V_{CC} \\
v_{P\max 3} &= \frac{T}{4C} \left(\beta \left(\frac{2V_{CC}}{R_{B2}} - V_{BE} \left(\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} \right) \right) - I_0 \right)
\end{aligned}$$

Naponska ograničenja tranzistora:

$$\begin{aligned}
v_{P\max 4} &= v_{P\max}(Q_1) = V_{CC} - V_{CES} = 11.8 \text{ V} \\
v_{P\max 5} &= v_{P\max}(Q_2) = V_{CC} - V_{CES} - V_D = 11.1 \text{ V} \\
v_{P\max 6} &= v_{P\max}(Q_3) = V_{CC} - V_{CES} - V_{BE} = 11.1 \text{ V}
\end{aligned}$$

Trebalo bi da najstrožiji od svih uslova bude onaj koji ne zavisi od kapacitivnosti C :

$$\begin{aligned}
v_{P\max 1} &\geq v_{P\max 6} \\
(1 + \beta)I_0 \frac{T}{4C} &\geq V_{CC} - V_{CES} - V_{BE} \\
C &\leq \frac{T}{4} \frac{(1 + \beta)I_0}{V_{CC} - V_{CES} - V_{BE}} = 2.25 \mu\text{F} \\
v_{P\max 2} &\geq v_{P\max 6} \\
C &\leq \frac{T}{4} \frac{\beta \left(i_{OP\max} - \frac{V_{BE}}{R_{B1}} \right) - I_0}{V_{CC} - V_{CES} - V_{BE}} = 7.34 \mu\text{F}
\end{aligned}$$

$$v_{P \max 3} \geq v_{P \max 6}$$

$$C \leq \frac{T}{4} \frac{\beta \left(\frac{2V_{CC}}{R_{B2}} - V_{BE} \left(\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} \right) \right) - I_0}{V_{CC} - V_{CES} - V_{BE}} = 24.39 \mu\text{F}$$

Odavde je konačno

$$C_{gr} = 2.25 \mu\text{F}$$

d)

$$v_{IOP} = -V_{CC} + V_{BE} + R_{B2} \left(\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2}}{\beta} \right)$$

$$v_{IOP \max} = -V_{CC} + V_{BE} + R_{B2} \left(\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2 \max}}{\beta} \right) \leq V_{CC}$$

$$i_{C2 \max} = I_0 + \frac{4CV_p}{T} = \left\langle \begin{array}{l} v_p = 11.1 \text{ V} \\ C = 2.25 \mu\text{F} \end{array} \right\rangle = 100.9 \text{ mA}$$

$$R_{B2} \leq \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{\frac{V_{BE}}{R_{B1}} + \frac{i_{C2 \max}}{\beta}} = 13.55 \text{ k}\Omega$$