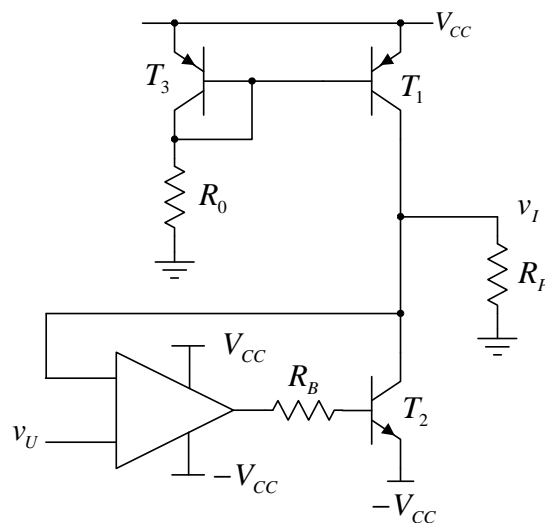


1. Poznati parametri u kolu pojačavača snage sa slike 1 su:  $R_p = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ,  $V_{CES} = 0.2 \text{ V}$ ,  $\beta_2 = 30$ ,  $\beta_1 = \beta_3 = \beta \rightarrow \infty$ ,  $R_B = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ . Operacioni pojačavač je idealan.

- [1] Označiti priključke operacionog pojačavača tako da u kolu bude ostvarena negativna povratna sprega.
- [3] Odrediti vrednost otpornosti otpornika  $R_0 = R_{0\max}$  tako da se na izlazu može dobiti maksimalno moguća amplituda simetričnog neizobličenog signala.
- [5] Ako je  $R_0 = R_{0\max}$  i na ulaz kola je doveden sinusoidalni napon ugaone učestanosti  $\omega = 10 \text{ krad/s}$  amplitude tolike da je amplituda neizobličenog napona na izlazu kola maksimalno moguća za date parametre, izračunati i nacrtati vremenske dijagrame signala  $v_I$ ,  $i_P$ ,  $i_{C1}$ ,  $i_{C2}$  i  $v_{IOP}$ .
- [3] Pod uslovima iz tačke c) odrediti koeficijent korisnog dejstva pojačavača
- [3] Ako je  $R_0 = R_{0\max}$ , odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva pojačavača od amplitude ulaznog sinusoidalnog napona,  $\eta(V_u)$ , za  $V_u < V_{u\max}$ .
- [3] Odrediti srednju snagu disipacije na tranzistorima  $T_1$  i  $T_2$  ako dođe do kratkog spajanja izlaznog priključka sa:
  - 1) potencijalom mase, 2) negativnim napajanjem, i 3) pozitivnim napajanjem.
- [2] Pod uslovima iz tačke c) odrediti maksimalno dozvoljenu vrednost otpornosti otpornika  $R_B$ .



Slika 1

### Rešenje:

a)  
Da da bi se dobio fazni stav  $\pi$  u krugu povratne sprega (uslov postojanja negativne povratne sprega) potrebno je da je gornji ulazni priključak operacionog pojačavača neinvertujući.

Provera ukupnog faznog stava:

Neinvertujući priključak operacionog pojačavača – izlaz operacionog pojačavača: 0

Tranzistor  $T_1$  u spoju sa zajedničkim emitorom  $\pi$

Ukupan fazni stav:  $\pi$

b)

Tranzistor  $T_1$  predstavlja jednosmerni strujni izvor struje

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (\text{dokle god tranzistor } T_1 \text{ nije u zasićenju)}$$

U kolu važe sledeće jednačine:

$$v_I = v_U$$

$$i_P = \frac{v_I}{R_p} = \frac{v_U}{R_p}$$

$$i_{C1} = I_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0}$$

$$i_{C2} = I_1 - i_P = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} - \frac{v_U}{R_p} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} - \frac{v_U}{R_p}$$

$$v_{IOP} = -V_{CC} + V_{BE} + R_B \frac{i_{C2}}{\beta_2} = -V_{CC} + V_{BE} + \frac{R_B}{\beta_2} \left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} - \frac{v_U}{R_P} \right)$$

$$v_{IOP} = (V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) - \frac{R_B}{\beta_2 R_P} v_U$$

Postoji nekoliko uslova za ispravan rad pojačavača, odnosno rad bez izobličenja.

Zasićenje tranzistora  $T_1$ :  $V_{CC} - v_I \geq V_{CES}$ , odnosno  $v_I \leq V_{CC} - V_{CES}$ .

Zasićenje tranzistora  $T_2$ :  $v_I - (-V_{CC}) \geq V_{CES}$ , odnosno  $v_I \geq -(V_{CC} - V_{CES})$ .

Gornja dva uslova se svode na jedan

$$V_i \leq V_{CC} - V_{CES} = 11.8 \text{ V}$$

Pozitivno zasićenje operacionog pojačavača:  $v_{IOP} \leq V_{CC}$ , odnosno

$$(V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) - \frac{R_B}{\beta_2 R_P} v_I \leq V_{CC}$$

$$v_I \geq - \frac{V_{CC} - (V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right)}{\frac{R_B}{\beta_2 R_P}}$$

Uslov gašenja tranzistora  $T_2$ :  $i_{C2} = I_2 - i_P > 0$ , odnosno

$$v_I \leq \frac{R_P}{R_0} (V_{CC} - V_{BE})$$

Maksimalna amplituda neizobličenog napona na izlazu ostvaruje se kada se istovremeno dostižu najstrožija naponska i strujna ograničenja.

Kako imamo tri stepena slobode (tri uslova), to je potrebno izabrati dva. Kako je bazna struja tranzistora (izlazna struja operacionog pojačavača) relativno mala, to je logična pretpostavka da će uslov za ulazak u zasićenje operacionog pojačavača biti manje strog od uslova gašenja tranzistora  $T_2$ :

$$\frac{R_P}{R_0} (V_{CC} - V_{BE}) = V_{CC} - V_{CES}$$

$$R_{0\max} = R_P \frac{V_{CC} - V_{BE}}{V_{CC} - V_{CES}} = 960 \Omega$$

Provera amplitude napona na izlazu operacionog pojačavača u ovom slučaju:

$$v_{IOP\min} = (V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) - \frac{R_B}{\beta_2 R_P} v_{U\max} = -11.3 \text{ V}$$

$$v_{IOP\max} = (V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) - \frac{R_B}{\beta_2 R_P} v_{U\min} = -10.51 \text{ V}$$

Očigledno je da je operacioni pojačavač daleko od zasićenja.

c)

$$v_U = (V_{CC} - V_{CES}) \sin \omega t = 11.8 \text{ V} \sin \omega t$$

$$v_I = v_U = 11.8 \text{ V} \sin \omega t$$

$$i_P = \frac{v_U}{R_P} = 11.8 \text{ mA} \sin \omega t$$

$$i_{C1} = I_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} = 11.8 \text{ mA}$$

$$i_{C1} = 11.8 \text{ mA} (1 - \sin \omega t)$$

$$v_{IOP} = -10.91 \text{ V} - 0.39 \text{ V} \sin \omega t$$

d)

$$\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} = \frac{\overline{p_K}}{\overline{p_{CC}}} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{(V_i \sin \omega t)^2}{R_p} dt}{\frac{1}{T} \int_0^T \left( V_{CC} I_1 + V_{CC} \left( I_1 - \frac{V_i \sin \omega t}{R_p} \right) \right) dt} = \frac{\frac{1}{2} \frac{V_i^2}{R_p}}{2V_{CC} I_1} = \frac{1}{2} \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{R_p} = \frac{1}{4} \frac{V_{CC} - V_{CES}}{V_{CC}} = 24.58\%$$

e)

$$\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} = \frac{\overline{p_K}}{\overline{p_{CC}}} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{(V_i \sin \omega t)^2}{R_p} dt}{\frac{1}{T} \int_0^T \left( V_{CC} I_1 + V_{CC} \left( I_1 - \frac{V_i \sin \omega t}{R_p} \right) \right) dt} = \frac{\frac{1}{2} \frac{V_i^2}{R_p}}{2V_{CC} I_1} = \frac{V_i^2}{4V_{CC}(V_{CC} - V_{CES})}, V_i \leq 11.8 \text{ V}$$

f)

- Kada je izlaz kratko spojen sa potencijalom mase, operacioni pojačavač je u otvorenoj petlji, tako da je njegov izlaz jednak pozitivnom ili negativnom napajanju, u trajanju od po jedne polovine periode. Kada je ulazni napon pozitivan transistor  $T_2$  je isključen i ne disipira. Kad je ulazni napon negativan tranzistor  $T_2$  je uključen sa strujom kolektora

$$i_{c2} = \beta_2 \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 699 \text{ mA},$$

i disipacijom

$$P_{D2} = V_{CC} i_{c2} = 8.388 \text{ W}$$

Srednja snaga disipacije  $T_2$  je

$$P_{D2} = \frac{0 + V_{CC} i_{c2}}{2} = 4.194 \text{ W}$$

Tranzistor  $T_1$  prestanto vodi, struju  $I_1 = 11.8 \text{ mA}$

Srednja snaga disipacije  $T_1$  je

$$P_{D1} = V_{CC} I_1 = 141.6 \text{ mW}$$

- kada je izlaz kratko spojen sa negativnim napajanjem operacioni pojačavač je neprestano u negativnom zasićenju, tako da je tranzistor  $T_2$  neprestno isključen:

$$P_{D2} = 0$$

Disipacija tranzistora  $T_1$  je sada :

$$P_{D1} = 2V_{CC} I_1 = 283.2 \text{ mW}$$

- kada je izlaz kratko spojen sa pozitivnim napajanjem operacioni pojačavač je neprestano u pozitivnom zasićenju tako da je tranzistor  $T_2$  neprestano uključen sa strujom

$$i_{c2} = \beta_2 \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 699 \text{ mA}$$

i disipacijom

$$P_{D2} = V_{CC} i_{c2} = 8.388 \text{ W}$$

Kako je za tranzistor  $T_1$   $v_{EC1} = 0 \text{ V}$ , njegova disipacija je u ovom slučaju

$$P_{D1} = 0$$

g) Povećavanjem otpornosti otpornika  $R_B$  raste napon na izlazu operacionog pojačavača, koji je ograničen pozitivnim zasićenjem:

$$v_{IOP} = (V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) - \frac{R_B}{\beta_2 R_p} v_{imin} \leq V_{CC}$$

$$(V_{CC} - V_{BE}) \left( \frac{R_B}{\beta_2 R_0} - 1 \right) + \frac{R_B}{\beta_2 R_p} V_i \leq V_{CC}$$

$$R_B \leq \beta_2 \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{\left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_0} + \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_p} \right)} = 29.6 \text{ k}\Omega$$