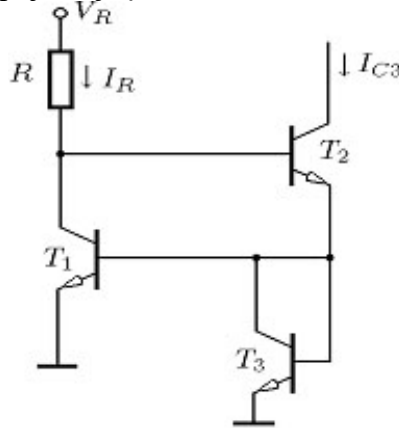


## INTEGRISANA KOLA OPERACIONIH POJAČAVAČA

**1. ZADATAK:** Strujni izvor, prikazan na slici 1.1, realizovan je sa tranzistorima koji imaju različite koeficijente strujnog pojačanja  $\beta$ .



a) Izvesti izraz za struju  $I_{C3}$  ako se zanemare članovi drugog reda  $\frac{1}{(\beta_i \beta_j)}$   $i, j=1, 2, 3$ .

b) Srednja vrednost koeficijenta strujnog pojačanja iznosi 100 a razlikuju se najviše za  $\Delta\beta = \pm 5\%$ . Izračunati maksimalni odnos izlazne struje  $I_{C2}$  i referentne struje  $I_R$ .  
Napomena: Smatrati da su tranzistori  $T_1$  i  $T_2$  podešeni tako da za iste vrednosti  $V_{BE}$  daju iste kolektorske struje.

**REŠENJE:** Pošto su tranzistori  $T_1$  i  $T_3$  upareni, tada za  $V_{BE1} = V_{BE3}$  imamo  $I_{C1} = I_{C3}$ . Referentna struja je u tom slučaju:

$$I_R = I_{C1} + \frac{I_{c2}}{\beta_2}$$

Kolektorska struja izlaznog tranzistora  $T_2$  iznosi:

$$I_{C2} \frac{1 + \beta_2}{\beta_2} = I_{C1} \left( 1 + \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_3} \right) = I_{C1} \left( \frac{\beta_1 \beta_3 + \beta_3 + \beta_1}{\beta_1 \beta_3} \right)$$

Odavde je

$$I_{C1} = \frac{1 + \beta_2}{\beta_2} I_{C2} = \frac{\beta_1 \beta_3 + \beta_1 \beta_3 \beta_2}{\beta_1 \beta_2 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 + \beta_2 \beta_3} I_{C2} = \frac{\beta_1 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3}{\beta_2 (\beta_1 \beta_3 + \beta_1 + \beta_3)} I_{C2}$$

Referentna struja je sada:

$$I_R = I_{C2} \left[ \frac{1}{\beta_2} + \frac{\beta_1 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3}{\beta_2 (\beta_1 \beta_3 + \beta_1 + \beta_3)} \right] = I_{C2} \left[ \frac{\beta_1 \beta_3 + \beta_1 + \beta_3 + \beta_1 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3}{\beta_1 \beta_2 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 + \beta_2 \beta_3} \right],$$

a odnos izlazne i referentne struje je:

$$\frac{I_{c2}}{I_R} = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 + \beta_2 \beta_3}{\beta_1 + \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 + 2\beta_1 \beta_3} = \frac{\beta_1 + \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 + 2\beta_1 \beta_3 - \beta_1 - \beta_3 - \beta_1 \beta_2 \beta_3 - 2\beta_1 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 + \beta_1 \beta_2 + \beta_2 \beta_3}{\beta_1 + \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 + 2\beta_1 \beta_3}$$

odnosno

$$\frac{I_{c2}}{I_R} = 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 + \beta_2 \beta_3 - 2\beta_1 \beta_3 - \beta_1 - \beta_3}{\beta_1 + \beta_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 + 2\beta_1 \beta_3}$$

Zanemarivanjem članova drugog reda  $\left(\frac{1}{\beta_i \beta_j}\right)$  ovaj izraz se pojednostavljuje i postaje:

$$\frac{I_{c2}}{I_R} = 1 + \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_3} - \frac{2}{\beta_2}.$$

b) Kada su koeficijenti strujnog pojačanja svih tranzistora jednaki izlazna i referentna struje su jednake. Međutim, ako to nije slučaj, već je  $\beta_1 = \beta_3 = \beta - \Delta\beta = 95$  i  $\beta_2 = \beta + \Delta\beta = 105$ , jer je  $\Delta\beta = \pm 5\%$ , odnosno  $\Delta\beta = 5$ .

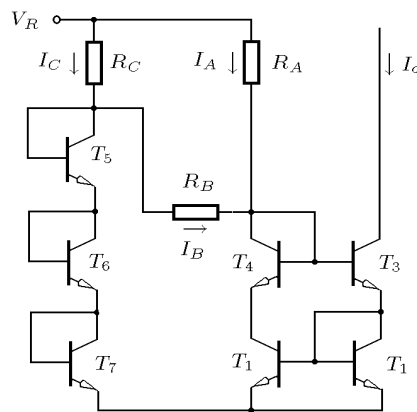
$$\frac{I_{c2}}{I_R} = 1 + \frac{1}{1 - \Delta\beta} + \frac{1}{\beta - \Delta\beta} - \frac{2}{\beta + \Delta\beta} = 1 + \frac{2}{\beta - \Delta\beta} - \frac{2}{\beta + \Delta\beta} = 1 + \frac{2(\beta + \Delta\beta - \beta + \Delta\beta)}{\beta^2 - \Delta\beta^2}$$

$$\frac{I_{c2}}{I_R} \cong 1 + \frac{4 \cdot \Delta\beta}{\beta^2} = 1 + \frac{4 \cdot 5}{100^2} = 1,002$$

**2. ZADATAK:** Na slici 6.1 je prikazana kaskadna sprega dva jednostavna strujna izvora. Upotrebljeni tranzistori su identičnih karakteristika.

a) Izvesti izraz za izlaznu struju  $I_0$  ako je  $R_B = 5k\Omega$ . Kolika je izlazna struja ako je koeficijent strujnog pojačanja  $\beta \gg 1$ ?

b) Otpornikom  $R_B$  se temperaturno kompenzira izlazna struja. Odrediti izlaznu struju i vrednost otpornosti  $R_B$  ako je  $V_R = 5V, V_{BE} = 0,6V$  a  $\beta = 20 \gg 1$  ( $\Delta\beta/\Delta T = 0$ ).



Slika 6.1

**REŠENJE:** a) Za kolo sa slike 6.1 može se napisati  $I_A = I_{E4} - I_B + I_{B3}$ , gde je

$$I_{E3} = \frac{1 + \beta}{\beta} I_0 = I_{C1} + \frac{2}{\beta} I_{C1}, \quad I_{C1} = \frac{1 + \beta}{2 + \beta} I_0, \quad I_{C1} = I_{E4}.$$

Zbir struja kroz otpornike  $R_A$  i  $R_B$  iznosi:  $I_A + I_B = I_{E4} + I_{B3} = \frac{1 + \beta}{2 + \beta} I_0 + \frac{I_0}{\beta}$  pa se za izlaznu struju

dobija  $I_0 = \frac{\beta^2 + 2\beta}{\beta^2 + 2\beta + 2} (I_A + I_B)$ , odnosno  $I_0 = \left(1 - \frac{2}{\beta^2 + 2\beta + 2}\right) (I_A + I_B)$ , to je približno:

$$I_0 \cong \left(1 - \frac{2}{\beta^2}\right) (I_A + I_B).$$

Kako je  $I_A = \frac{V_R - 2V_{BE}}{R_A}$ ;  $I_B = \frac{V_{BE}}{R_B}$ , to je izlazna struja data izrazom:

$$I_0 = \left(1 - \frac{2}{\beta^2}\right) \left(\frac{V_R - 2V_{BE}}{R_A} + \frac{V_{BE}}{R_B}\right).$$

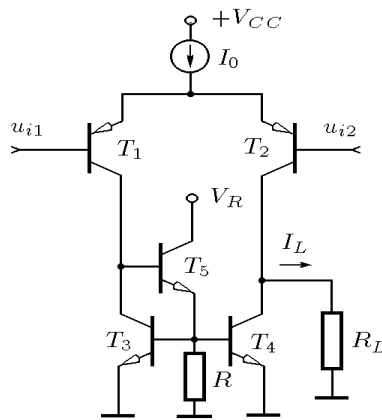
b) Uslov temperaturne kompenzacije:  $R_B = \frac{R_A}{2}$ , tj.  $R_A = 2R_B = 10\text{k}\Omega$ .

Vrednost otpornika  $R_C$  dobija se iz uslova da je  $I_{C4} = I_{C5}$ .

$$\text{Kako je } I_C = \frac{V_R - 3V_{BE}}{R_C}, \text{ to je } R_C = R_A \cdot \frac{V_R - 3V_{BE}}{V_R + 2V_{BE}} = \frac{5 - 1,8}{5 + 1,2} = 5,16\text{k}\Omega.$$

**3. ZADATAK:** Odrediti jednosmernu struju  $I_L$ , kroz potrošač  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , i pojačanje diferencijalnog pojačavača sa slike 4.1.

Poznato je:  $I_0 = 600\mu\text{A}$ ,  $\beta_3 = \beta_4 = 100$ ,  $\beta_5 = 19$ ,  $I_{S3} = I_{S4} = 2 \cdot 10^{-16} \text{ A}$ ,  $R = 15 \text{ k}\Omega$ ,  $U_{BE} = 0.6 \text{ V}$ .



Slika 4.1

**REŠENJE:** Tranzistori  $T_3$ ,  $T_4$  i  $T_5$  predstavljaju dinamičko opterećenje koje služi za transformaciju simetričnog u nesimetrični izlaz. Za ovo kolo se može napisati jednačina:

$$I_{C1} = I_{C3} + I_{B5} = I_{C4} + I_{B5}, \quad (I_{C3} = I_{C4}, \text{ jer je } U_{BE3} = U_{BE4}).$$

Takodje je:

$$I_{B5} = \frac{I_{E5}}{1 + \beta_5} = \frac{1}{1 + \beta_5} (I_{B3} + I_{B4} + I_X) = \frac{1}{1 + \beta_5} (2I_{B4} + I_X),$$

$$I_{B5} = \frac{1}{1 + \beta_5} \left( 2 \frac{I_{C4}}{\beta_4} + \frac{U_{BE5}}{R} \right) = \frac{1}{1 + \beta_5} \left( 2 \frac{I_{C4}}{\beta_4} + I_X \right),$$

gde je sa  $I_X$  struja kroz otpornik  $R$ .

Sredjivanjem ove jednačine dobijamo  $I_X = \frac{U_{BE5}}{R} = \frac{V_T}{R} \ln \frac{I_{C4}}{I_S}$ , odnosno

$$I_{C1} = \left[ 1 + \frac{2}{\beta_4(1 + \beta_5)} \right] I_{C4} + \frac{I_X}{1 + \beta_5},$$

gde član  $\frac{2}{\beta_4(1 + \beta_5)}$  teži nuli, pa se za  $I_{C1} = \frac{I_0}{2} = 300\mu\text{A}$  vrednost struje  $I_{C4}$  dobija iterativnim

postupkom, i ona iznosi  $I_{C4} = 297.4\mu\text{A}$ .

S obzirom da je i  $I_{C2} = I_0/2 = 300\mu\text{A}$  struja kroz potrošač je  $I_L = I_{C2} - I_{C4} = 2.6\mu\text{A}$ .

Diferencijalno pojačanje iznosi  $A_d = g_m R_L = \frac{I_0}{2 V_T} R_L = \frac{300 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 2 \cdot 10^3 = 23.08$  .