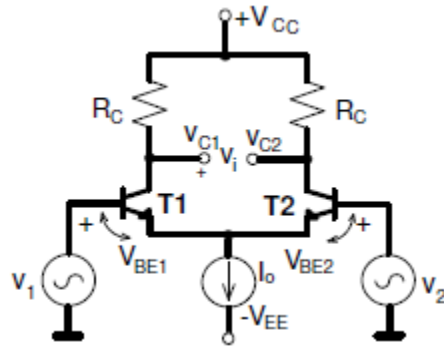


DIFERENCIJALNI POJAČAVAČ



$$v_I = v_{C1} - v_{C2} \quad (1)$$

$v_{C1} = V_{CC} - R_C I_{C1}$ i $v_{C2} = V_{CC} - R_C I_{C2}$ tako da je relacija (1) postaje:

$$v_I = V_{CC} - R_C I_{C1} - (V_{CC} - R_C I_{C2}) = R_C (I_{C2} - I_{C1}) \quad (2)$$

Obzirom da je $I_{C1} = I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}$ i $I_{C2} = I_S e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}$ relacija (2) postaje:

$$v_I = R_C (I_{C2} - I_{C1}) = R_C (I_S e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}) = R_C I_S (e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}) \quad (3)$$

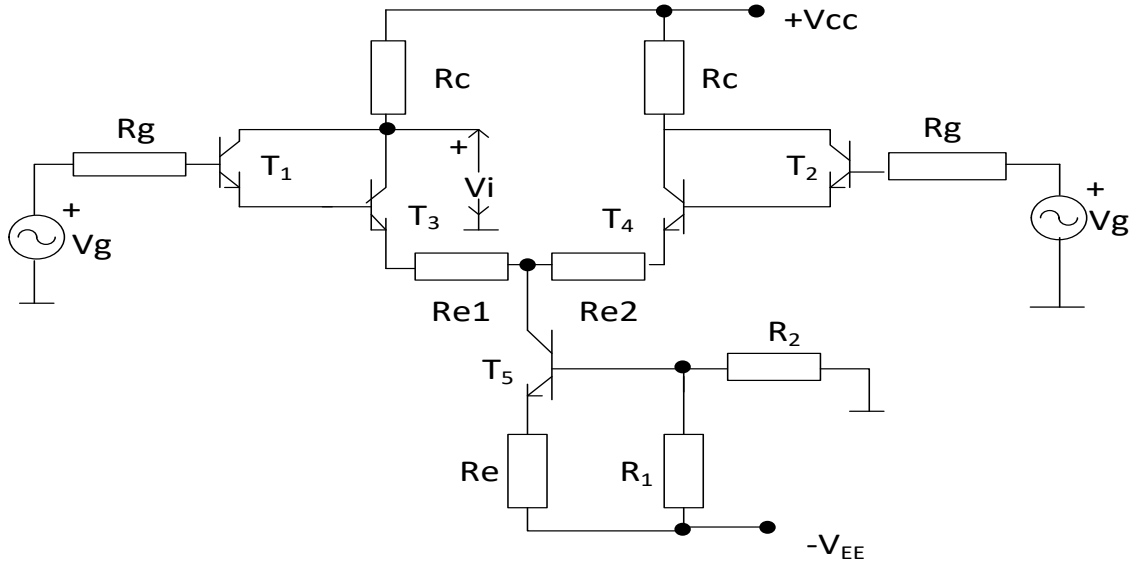
Obzirom da je $I_{C1} \approx I_{E1}$ i $I_{C2} \approx I_{E2}$ a da je $I_{E2} + I_{E1} = I_0$ tj. $I_{C2} + I_{C1} = I_0$

Uvrštavanjem u relaciju (2) dobijamo: $I_S e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} + I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} = I_0 \rightarrow I_S = \frac{I_0}{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} + I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}}$

Relacija (3) sada postaje:

$$v_I = R_C \frac{I_0}{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} + e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}} (e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}) = R_C I_0 \frac{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} (1 - e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}})}{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} (1 + e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}})} = R_C I_0 \frac{1 - e^{\frac{V_d}{V_T}}}{1 + e^{\frac{V_d}{V_T}}}$$

1. Za kolo diferencijalnog pojačavača sa slike izračunati izlazni napon V_i ako je otpornost $R_e = 1,3k\Omega$, $R_2 = 2,9k\Omega$, $R_1 = 1,3k\Omega$, $V_{EE} = 6V$, $V_{BE} = 0,6V$, $V_{CC} = 12V$, $R_C = 10k\Omega$, $R_{e1} = R_{e2} = 50\Omega$.



Rješenje:

Napomena: struje baza se zanemaruju tako da je $I_C \approx I_E$

$$I_0 = \frac{V_{E5} - (-V_{EE})}{R_e} = \frac{V_{E5} + V_{EE}}{R_e} \quad (1) \quad V_{E5} = V_{B5} - V_{BE} \quad (2)$$

Uvrštavanjem (2) u (1) se dobija:

$$I_0 = \frac{V_{B5} - V_{BE} + V_{EE}}{R_e} \quad (3)$$

Obzirom da je $V_{B5} = \frac{-R_2}{R_2 + R_1} V_{EE}$ (4), uvrštavanjem (4) u (3) se dobija:

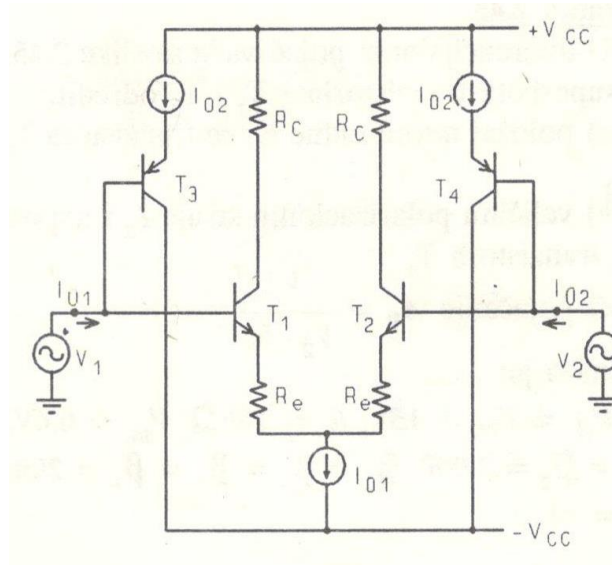
$$I_0 = \frac{\frac{-R_2}{R_2 + R_1} V_{EE} - V_{BE} + V_{EE}}{R_e} = \frac{V_{EE} (1 - \frac{R_2}{R_2 + R_1}) - V_{BE}}{R_e} = \frac{V_{EE} \frac{R_1}{R_2 + R_1} - V_{BE}}{R_e} = 1mA$$

Dalje, $V_{IQ} = V_{CC} - R_C I_{C3}$ pa zbog simetrije kola imamo da je $I_{C3} \approx I_{E3} = I_{E4} = I_0 / 2$ tj.

$I_{CD} \approx I_{ED} = I_0 / 2$ (D-Darlingtonovo)

$$V_{IQ} = V_{CC} - R_C I_0 / 2 = 12V - 5V = 7V$$

2. Za kolo diferencijalnog pojačavača sa slike odrediti I_{01} i I_{02} tako da kolektorska struja tranzistora T_1 u mirnoj radnoj tački iznosi I_{C1Q} , a da su pritom ulazne polarizacione struje I_{U1} i I_{U2} jednake nuli. Tranzistori su istog tipa i imaju identične karakteristike. Poznata su i pojačanja β_1 i β_3 .



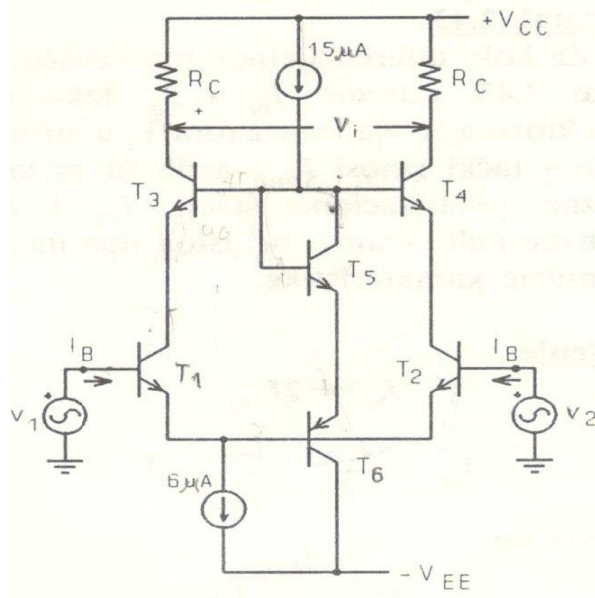
Rješenje:

Sa slike se vidi da je $I_{01} = I_{E1} + I_{E2} \approx I_{C1} + I_{C2}$ (1), a zbog simetrije kola i identičnih karakteristika vidimo da su $I_{C1} = I_{C2}$ pa izaz (1) postaje: $I_{01} = 2I_{C1Q}$ (2).

Dalje sa slike vidimo da je $I_{U1} = I_{B1} - I_{B3} = 0$ tj. $I_{U1} = \frac{I_{C1Q}}{\beta_1} - \frac{I_{C3}}{\beta_3} = 0$ (3). Obzirom da su kod diferencijalnog pojačavača struje kolektora i emitora približno jednake izraz (3) postaje:

$$I_{U1} = \frac{I_{C1Q}}{\beta_1} - \frac{I_{02}}{\beta_3} = 0 \rightarrow I_{02} = \beta_3 \frac{I_{C1Q}}{\beta_1} \quad (4)$$

3. Za kolo diferencijalnog pojačavača sa slike odrediti položaj mirne radne tačke tranzistora T_1 i T_2 ako je poznato $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE3} = V_{BE4} = V_{BE5} = V_{BE6} = 0.6V$, $\beta_1 = \beta_2 = 2000$.



Rješenje:

Sa slike vidimo da je $I_{E1} + I_{E2} = 6\mu A$ (1), a obzirom da su struje kolektora približno jednake strujama emitora slijedi da izraz (1) postaje $I_{C1Q} + I_{C2Q} = 6\mu A$ (2). Kako su struje kolektora tranzistora T_1 i T_2 jednake zbog simetrije kola izraz (2) postaje: $I_{C1Q} + I_{C1Q} = 6\mu A \rightarrow$

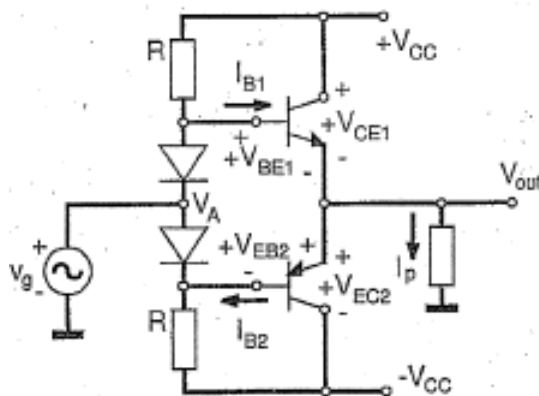
$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = 3\mu A \quad (3)$$

Sa slike dalje vidimo da je $V_{CEQ1} + V_{BE3} - V_{BE5} - V_{EB6} = 0$ (4) $\rightarrow V_{CEQ1} = 0.6V$.

Dalje sa slike vidimo da je $V_{CEQ1} + V_{BE3} - V_{BE5} + V_{CE5} - V_{BE4} - V_{CEQ2} = 0$ (6)

a kako je $V_{BC5} = 0 \rightarrow V_{BE5} = V_{CE5} = 0.6V$ pa izraz (6) postaje $V_{CEQ1} = V_{CEQ2} = 0.6V$ (7)

4. Za kolo na slici odrediti opseg mogućih promjena izlaznog napona V_{out} . Poznato je $V_{CES1} = V_{ECS2} = 0.2V$, $V_{CC} = 12V$, $V_{BE} = 0.7V$, $\beta = 50$, $R = 100\Omega$, $R_P = 10\Omega$.



Rješenje:

Posmatraju se 2 kritična slučaja i nakon analize oba opredjeljuje se za kritičniji:

1. slučaj kada tranzistori “odlaze” u zasićenje (trenutak kada su oba tranzistora u aktivnom režimu)

Za prvi transistor važi: $V_{CE1} = V_{CC} - V_{out}$, a da bi transistor provodio mora da je $V_{CE1} > V_{CES1}$ tj. $V_{CC} - V_{out} > V_{CES}$ $\rightarrow V_{out} < V_{CC} - V_{CES}$ (1)

Za drugi transistor važi: $V_{EC2} = V_{out} - (-V_{CC}) = V_{out} + V_{CC}$, a da bi transistor provodio mora da je $V_{EC2} > V_{ECS2}$ tj. $V_{out} + V_{CC} > V_{ECS2}$ $\rightarrow V_{out} > V_{ECS2} - V_{CC}$ (2)

Na osnovu relacija (1) i (2) slijedi da je u prvom slučaju V_{out} u sljedećim granicama: $V_{ECS2} - V_{CC} < V_{out} < V_{CC} - V_{CES}$ tj. $-11.8V < V_{out} < 11.8V$ (3)

2. slučaj kada neki od tranzistora ne može da obezbijedi onoliko struju koju zahtjeva potrošač. Ako pretpostavimo da npn tranzistor provodi, a da je pnp tranzistor zakočen, dobijamo maksimalnu struju potrošača I_{pmax} , a sam tim dobija se i maksimalan izlazni napon V_{outmax} :

$$V_{outmax} = I_{pmax} R_p = I_{E1} R_p = (1 + \beta) I_{B1} R_p \quad (4)$$

$$\text{S druge strane } I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{outmax}}{R} \quad (5).$$

$$\text{Uvrštavanjem (4) u (5) dobija se } I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - (1 + \beta) I_{B1} R_p}{R} \rightarrow$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{(1 + \beta) R_p + R} \quad (6). \text{ Sada je } I_{pmax} = (1 + \beta) \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{(1 + \beta) R_p + R} \rightarrow \quad (7)$$

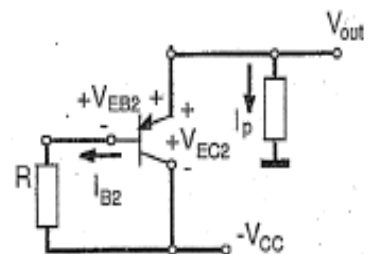
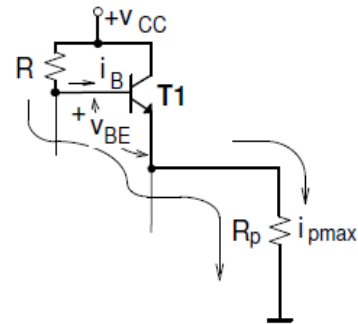
$$V_{outmax} = (1 + \beta) \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{(1 + \beta) R_p + R} R_p = 9.45V \quad (8)$$

Ako pretpostavimo da pnp tranzistor provodi, a da je npn tranzistor zakočen, dobijamo minimalnu struju potrošača I_{pmin} , a sam tim dobija se i minimalni izlazni napon V_{outmin}

$$V_{outmin} = I_{pmin} R_p = -I_{E2} R_p = -(1 + \beta) I_{B2} R_p \quad (9)$$

$$\text{S druge strane } I_{B2} = \frac{V_{outmin} - V_{EB2} - (-V_{CC})}{R} = \frac{V_{outmin} - V_{EB2} + V_{CC}}{R} \quad (10).$$

Uvrštavanjem (9) u (10) se dobija:

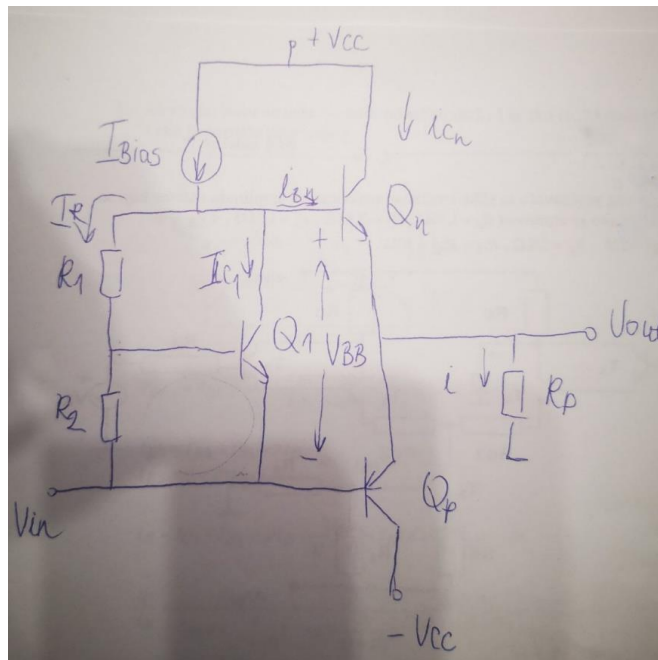


$$I_{B2} = \frac{-(1+\beta)I_{B2}R_p - V_{EB2} + V_{CC}}{R} \rightarrow I_{B2} = \frac{-V_{EB2} + V_{CC}}{R + (1+\beta)R_p} \quad (11)$$

Sada je $I_{p\min} = -(1+\beta) \frac{-V_{EB2} + V_{CC}}{R + (1+\beta)R_p} \quad (12) \rightarrow$

$$V_{out\min} = I_{p\min}R_p = -(1+\beta) \frac{-V_{EB2} + V_{CC}}{R + (1+\beta)R_p} R_p = -9.45V \quad (13)$$

5. Za pojačavač snage sa slike pokazati da napon V_{BB} zavisi od V_T , I_{C1} , I_{S1} , R_1 i R_2 .



Rješenje:

Ako se zanemare struje baza struja I_R prolazi kroz otpornike R_1 i R_2 .

Dalje $I_R = \frac{V_{BE1}}{R_2} \quad (1)$, pa je $V_{BB} = I_R(R_1 + R_2) = \frac{V_{BE1}}{R_2}(R_1 + R_2) = V_{BE1}(1 + \frac{R_1}{R_2}) \quad (2)$.

Kako je $I_{C1} = I_{S1}e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}$, iz ovog izraza slijedi da je $V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} \quad (3)$. Ako (3) uvrstimo u (2)

dobijamo: $V_{BB} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} (1 + \frac{R_1}{R_2})$