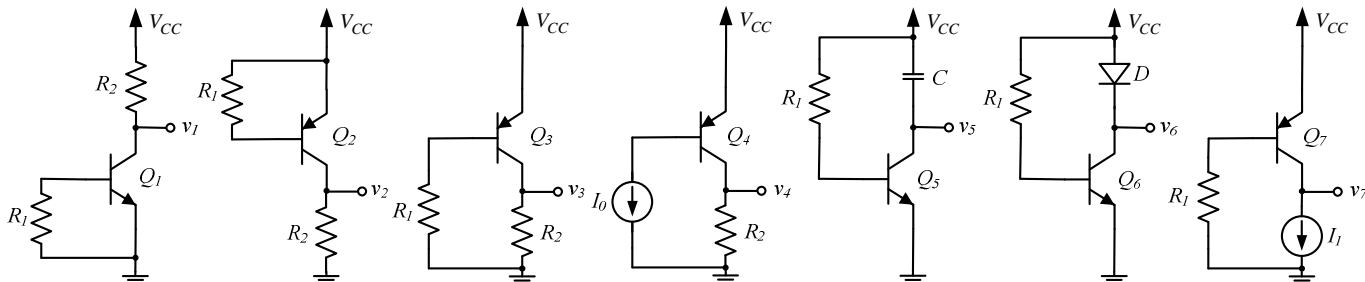


1. U kolima sa slike 1. parametri upotrebljenih tranzistora su  $|V_{BE}| = V_D = 0,6V$ ,  $|V_{BES}| = 0,6V$ ,  $|V_{CES}| = 0,2V$ ,  $V_A \rightarrow \infty$ ,  $\beta_F = 100$ , dok je  $R_1 = 10k\Omega$ ,  $R_2 = 1k\Omega$ ,  $I_0 = 100\mu A$ ,  $I_1 = 1mA$  i  $V_{CC} = 12V$ . Odrediti režime rada svih tranzistora, kao i vrednosti napona  $V_i$ ,  $1 \leq i \leq 7$ . Ponoviti zadatak ukoliko je  $R_2 = 1M\Omega$ .



Slika 1.

### Rešenje:

U kolu baza-emitor u slučaju tranzistora  $Q_1$  i  $Q_2$  ne postoji pobuda koja bi značajno polarisala  $pn$  spoj baza-emitor, tako da su tranzistori  $Q_1$  i  $Q_2$  zakočeni. Kako su stoga odgovarajuće struje kolektora nula, to je  $v_1 = V_{CC} = 12V$ , dok je  $v_2 = 0$ .

U slučaju ostalih kola, tranzistori provode kako im je bazna struja veća od nule. Ukoliko bi bazna struja bila nula, tada bi pad napona na otporniku  $R_1$  bio nula, što bi značilo da napon  $pn$  spoju baza-emitor  $V_{CE}$ . Dakle, treba samo utvrditi da li su ostali tranzistoru u direktnom aktivnom režimu ili u zasićenju.

Primetimo da je u ostalim slučajevima struja kroz otpornik  $I_{R1} = \frac{V_{CC} - |V_{BE}|}{R_1} = 1,14mA$ .

Ukoliko je tranzistor u direktnom aktivnom režimu, tada  $I_C = \beta_F I_B$  i  $V_{CE} \geq V_{CES}$  (za  $npn$  tranzistor), odnosno  $V_{EC} \geq V_{ECS}$  (za  $pnp$  tranzistor). U režimu zasićenja je  $I_C < \beta_F I_B$  i  $V_{CE} = V_{CES}$ .

Kako je  $I_{C5} = 0$  to je  $I_{C5} < \beta_F I_{B5}$  pa je  $Q_5$  u zasićenju. Po jednostavnom modelu tranzistora za velike signale je  $v_4 = V_{CES} = 0,2V$ , dok je realno  $v_4 = 0$ .

Kako tranzistor  $Q_6$  provodi, to provodi i dioda  $D$ , tako da je  $v_6 = V_{CC} - V_D = 11,4V$ . Pošto je  $V_{CE6} = v_6 \geq V_{CES}$  to je tranzistor  $Q_6$  u direktnom aktivnom režimu.

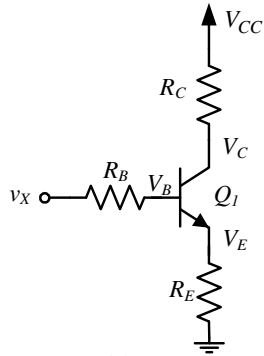
U slučaju tranzistora  $Q_7$  je  $\beta_F I_{B7} = 100 \cdot 1,14mA > 1mA = I_1 = I_{C7}$  pa je on u zasićenju. Stoga je  $v_7 = V_{CC} - V_{ECS} = 12V - 0,2V = 11,8V$ .

Pretpostavimo da tranzistor  $Q_3$  radi u zasićenju. Tada bi bilo  $v_3 = V_{CC} - V_{ECS} = 11,8V$  i  $I_{C3} = \frac{v_3}{R_2} = 11,8mA$ . Ispunjeno je da je  $\beta_F I_{B3} = 100 I_{R1} = 114mA > 11,8mA = I_{C3}$ , što znači da  $Q_3$  zaista radi u zasićenju.

Pretpostavimo da tranzistor  $Q_4$  radi u zasićenju. Tada bi bilo  $v_4 = V_{CC} - V_{ECS} = 11,8V$  i  $I_{C4} = \frac{v_3}{R_2} = 11,8mA$ . Tada je  $\beta_F I_{B4} = 100 I_0 = 10mA < 11,8mA = I_{C4}$  što je u kontradikciji sa pretpostavkom. Dakle  $Q_4$  radi u direktnom aktivnom režimu. Zbog toga je  $I_{C4} = \beta_F I_{B4} = 10mA$ , odakle je  $v_4 = I_{C4} R_2 = 10V$ . Proverimo još jedanput da je  $v_{EC} = V_{CC} - v_4 = 2V > 0,2V = V_{ECS}$ , pa time  $Q_4$  zaista radi u direktnom aktivnom režimu.

2. U kolu sa slike 2. parametri tranzistora su  $V_{BE} = V_{BES} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta_F = 100$  i  $V_A \rightarrow \infty$  dok je  $R_C = R_E = 1k\Omega$ ,  $R_B = 100k\Omega$  i  $V_{CC} = 3V$ . Odrediti napone na bazi, kolektoru i emitoru kada je:

- $v_X = 0$ ;
- $v_X = V_{CC}$ ;



Slika 2.

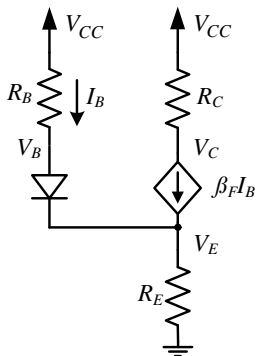
**Rešenje:**

a) Kada je  $v_X = 0$ , tranzistor je zakočen, pa je  $V_B = v_X = 0$ ,  $V_E = 0$ ,  $V_C = V_{CC} = 3V$ .

b) Pretpostavimo da je u ovom slučaju tranzistor u direktnom aktivnom režimu. Predstavljajući tranzistor modelom za velike signale dobijeno je ekvivalentno kolo prikazano slikom 2a. Prema slici je

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0, \quad I_E = I_B + I_C = I_B(1 + \beta_F),$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E(1 + \beta_F)}; \quad I_C = \beta_F I_B = \frac{\beta_F(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + R_E(1 + \beta_F)};$$



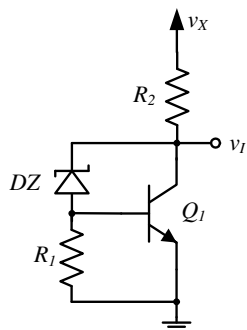
Slika 2a.

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = V_{CC} - \frac{\beta_F R_C (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + R_E(1 + \beta_F)} = 1,81V,$$

$$V_E = R_E I_E = \frac{R_E(1 + \beta_F)(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + R_E(1 + \beta_F)} = 1,21V.$$

Pošto je  $V_{CE} = V_C - V_E = 0,6V > V_{CES} = 0,2V$ , to je tranzistor zaista u direktnom aktivnom režimu i  $V_B = V_E + V_{BE} = 1,81V$ .

3. U kolu sa slike 4. parametri tranzistora su  $V_{BE} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $V_A \rightarrow \infty$ ,  $\beta_F = 100$ . Zener dioda je idealna sa  $V_Z = 6,2V$ , dok je  $R_1 = R_2 = R = 1k\Omega$ ,  $V_{CC} = 12V$ . Odrediti i nacrtati zavisnost izlaznog napona  $v_I$  i struje  $i_C$  u funkciji napona  $v_X$ ,  $v_I = f(v_X)$  i  $i_C = g(v_X)$ ,  $0 \leq v_X \leq V_{CC}$ .



Slika 3.

**Rešenje:**

Kada je  $v_X = 0$ , Zener dioda ne provodi,  $Q_1$  je zakočen i izlazni napon je  $v_I = v_X$ . Povećanjem  $v_X$ , tranzistor je i dalje zakočen,  $v_I = v_X$  i inverzni napon na diodi je  $v_X$ . Dioda ne provodi za sve dok je  $v_X < V_Z$ .

Za  $V_Z \leq v_X \leq V_1$  dioda provodi u oblasti proboja, dok je tranzistor i dalje zakočen. Tada je  $v_I = \frac{v_X R_1}{R_2 + R_1} + \frac{V_Z R_2}{R_2 + R_1} = \frac{v_X}{2} + \frac{V_Z}{2} = 0,5v_X + 3,1V$ .

Tranzistor će se uključiti kada je  $v_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(v_X - V_Z) = V_{BE}$ , tj za  $v_X = V_1 = V_Z + 2V_{BE} = 7,4V$ .

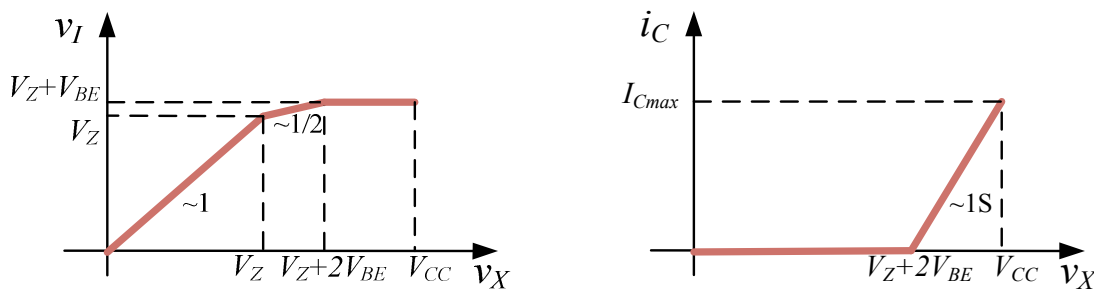
Za  $V_1 \leq v_X \leq V_{CC}$ , Zener dioda radi u oblasti proboja, dok je tranzistor u direktnom aktivnom režimu. Tada je  $v_I = V_{BE} + V_Z = 6,8V$  i

$$\frac{v_X - V_I}{R_2} = i_Z + i_C, \quad i_Z = i_B + \frac{V_{BE}}{R_1}, \quad i_C = \beta_F i_B.$$

Zamenom se dobija  $i_Z = \frac{i_C}{\beta_F} + \frac{V_{BE}}{R_1}$ , odakle je

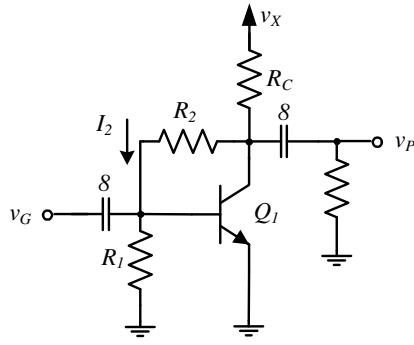
$$\frac{v_X - V_I}{R_2} = \frac{i_C}{\beta_F} + \frac{V_{BE}}{R_1} + i_C \approx \frac{V_{BE}}{R_1} + i_C, \quad i_C = \frac{1}{R}(v_X - V_Z - 2V_{BE}) = v_X \cdot 1S - 7,4mA.$$

Maksimalna vrednost kolektorske struje je  $I_{Cmax} = i_C(v_X = V_{CC}) = 4,6mA$ . Na slici 4a. su grafički prikazane izračunate zavisnosti.



Slika 3a.

4. Parametri tranzistora u pojačavaču sa slike 4. su  $\beta_F = 100$ ,  $V_{BE} = 0,6V$ ,  $V_A \rightarrow \infty$ , dok je  $V_{CC} = 3V$ ,  $R_P = 10k\Omega$ . Odrediti nepoznate otpornosti tako da u mirnoj radnoj tački bude  $I_C = 1mA$ ,  $I_2 = 10I_B$  i  $V_{CE} = V_{CC}/2$ .



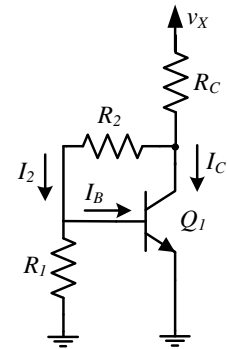
Slika 4.

Dobija se

### Rešenje:

Na slici 4a. je prikazana ekvivalentna šema pojačavača u mirnoj radnoj tački. Kako je  $V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2} = 1,5V$ , to tranzistor radi u direktnom aktivnom režimu. Prema slici 4a. je  $\frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = I_C + I_2$ , odakle je

$$\frac{V_{CC} - V_{CC}/2}{R_C} = I_C + 10 \frac{I_C}{\beta_F}$$



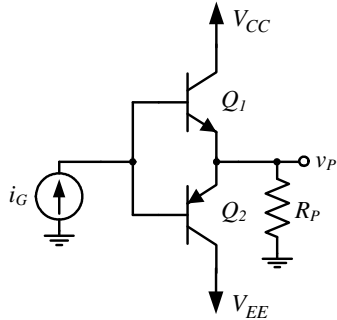
Slika 4a.

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CC}/2}{I_C(1 + 10/\beta_F)} = 1,36k\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_2} = \frac{V_{CC}/2 - V_{BE}}{I_2} = 9k\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{BE}}{I_{R1}} = \frac{V_{BE}}{I_2 - I_B} = \frac{V_{BE}}{9I_B} = \beta_F \frac{V_{BE}}{9I_C} = 6,67k\Omega.$$

5. U kolu sa slike 5. parametri tranzistora su  $|V_{BE}| = 0,6V$ ,  $V_{CES} = V_{ECS} = 0,2V$ ,  $V_A \rightarrow \infty$ ,  $\beta_{FN} = 100$ ,  $\beta_{FP} = 50$ , dok su ostali parametri  $V_{CC} = -V_{EE} = 5V$  i  $R_P = 1k\Omega$ . Odrediti i nacrtati zavisnost napona na potrošaču  $v_P$  u funkciji struje pobudnog generatora  $i_G$ ,  $v_P = f(i_G)$ ,  $-100\mu A \leq i_G \leq 100\mu A$ .



Slika 5.

**Rešenje:**

Tranzistori  $Q_1$  i  $Q_2$  nikada neće istovremeno provoditi s obzirom da je  $v_{BE1} = v_{BE2}$ . Kada je  $i_G = 0$  tranzistori su zakočeni i  $v_P = 0$ . S porastom struje  $i_G$ , tranzistor  $Q_1$  radi u direktnom aktivnom režimu, dok je tranzistor  $Q_2$  zakočen. Ovo važi sve dok je  $0 \leq i_G \leq I_{G1}$ , za neko  $I_{G1}$ . Za te vrednosti struje  $i_G$  je  $v_P = R_P(1 + \beta_{FN})i_G = 1,01 \cdot 10^5 \Omega \cdot i_G$ .

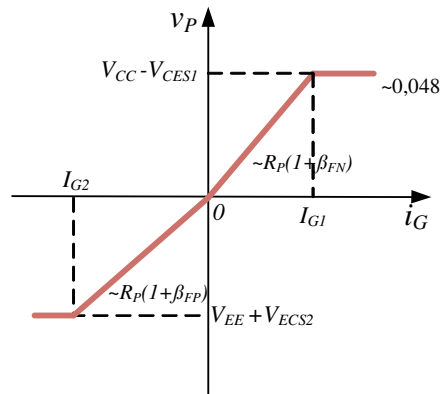
Tranzistor  $Q_1$  ulazi u zasićenje kada je  $v_P = V_{CC} - V_{CES1} =$

$$R_P(1 + \beta_{FN})I_{G1}, \quad I_{G1} = \frac{V_{CC} - V_{CES1}}{R_P(1 + \beta_{FN})} = 47,5\mu A.$$

U opsegu  $I_{G1} \leq i_G \leq 100\mu A$  tranzistor  $Q_1$  radi u zasićenju, dok je  $Q_2$  i dalje zakočen. Tada je  $v_P = V_{CC} - V_{CES1} = 4,8V$ .

U opsegu  $I_{G2} \leq i_G \leq 0$  tranzistor  $Q_2$  radi u direktnom aktivnom režimu, dok je tranzistor  $Q_1$  zakočen. Tada je  $v_P = R_P(1 + \beta_{FP})i_G = 5,1 \cdot 10^4 \Omega \cdot i_G$ . Tranzistor  $Q_2$  ulazi u zasićenje kada je  $v_P = V_{EE} + V_{ECS2} = R_P(1 + \beta_{FP})I_{G2}$ ,  $I_{G2} = \frac{V_{EE} + V_{ECS2}}{R_P(1 + \beta_{FP})} = -94,1\mu A$ .

U opsegu  $-100\mu A \leq i_G \leq I_{G2}$  tranzistor  $Q_2$  radi u zasićenju, dok je  $Q_1$  i dalje zakočen. Tada je  $v_P = V_{EE} + V_{ECS2} = -4,8V$  (slika 5a).



Slika 5a.