

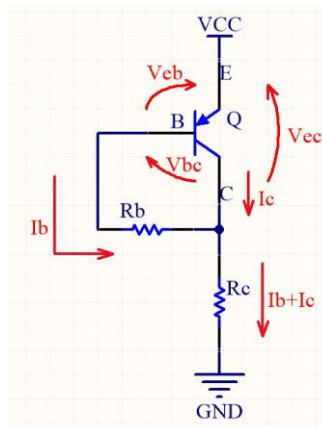
# Hardverski interfejs

## Vežbe 7

### Tranzistori – nastavak

Napomena: Sve što je označeno plavom bojom na crtežima u sklopu zadatka je deo postavke zadatka, a sve što je označeno crvenom bojom dodato je u postupku rešavanja zadatka.

**Primer 1:** Odrediti radnu tačku PNP tranzistora za kolo sa slike, ako radi u aktivnom režimu. Poznato je  $V_{CC} = 9V$ ,  $R_b = 18\text{ k}\Omega$ ,  $R_c = 1\text{ k}\Omega$ ,  $V_{eb} = 0.7\text{ V}$ ,  $h_{FE} = 50$ .



$$V_{CC} = V_{eb} + R_b \cdot I_b + R_c \cdot (I_c + I_b)$$

$$V_{CC} = V_{eb} + R_b \cdot I_b + R_c \cdot I_b \cdot (h_{FE} + 1)$$

$$I_b = \frac{V_{CC} - V_{eb}}{R_b + R_c \cdot (h_{FE} + 1)} = 120\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_c = 50 \cdot I_b = 6.01\text{ mA}$$

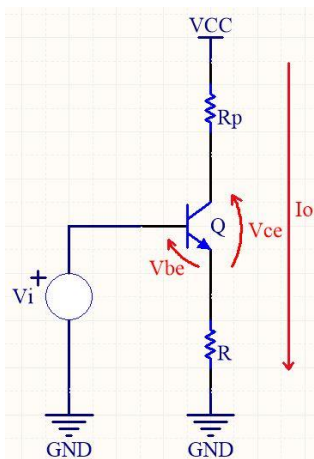
$$V_{ec} = V_{CC} - R_c \cdot (I_c + I_b) = 2.88\text{ V}$$

$$V_{bc} = V_{ec} - V_{eb} = 2.18\text{ V}$$

Radna tačka tranzistora je  $Q(2.88\text{ V}, 6.01\text{ mA})$ . S obzirom na to da je spoj emiter-baza (EB) direktno polarisan, a kolektor-baza (CB) inverzno, može se zaključiti da tranzistor radi u aktivnoj oblasti.

## Primer 2. Strujni generator sa tranzistorom

Za kolo sa slike odrediti vrednost otpornika  $R$ , kao i maksimalnu vrednost otpornika  $R_p$ , tako da izazna struja  $I_o$  (struja kolektora) bude 10mA. Poznato je:  $V_{cc} = 5V, V_i = 3V, h_{FE} \in [200, 300], V_{be} = 0.6V$ .



S obzirom na to da je minimalna vrednost strujnog pojačanja izuzetno velika ( $h_{FEmin} = 200$ ), može se smatrati da je:

$$I_c = I_e = I_o$$

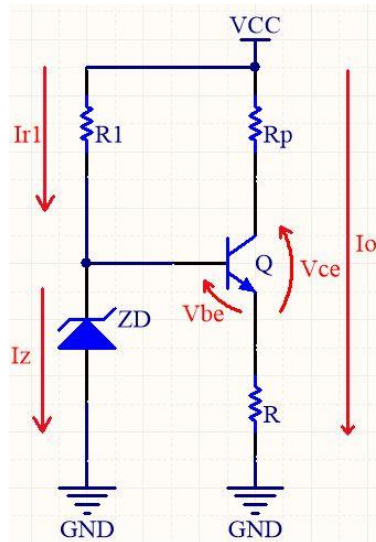
Stoga se može zapisati relacija:

$$V_i - V_{be} - R \cdot I_o = 0$$
$$R = \frac{V_i - V_{be}}{I_o} = 240 \Omega$$

Praktično, odabirom određene vrednosti otpornika  $R$  određuje se vrednost izlazne struje  $I_o$ . Dakle, minimalna vrednost otpornika  $R_p$  pri kojoj će struja  $I_o$  i dalje iznositi 10 mA, jeste 0  $\Omega$ . Međutim, da bi kolo prikazano na slici iznad uvek radilo kao generator struje od 10 mA mora da se odredi maksimalna dozvoljena vrednost otpornika  $R_{pmax}$ . Granični slučaj je upravo onaj, kada napon  $V_{ce}$  bude jednak naponu saturacije tranzistora  $V_{ces}$ , odnosno kada napon  $V_{ce}$  opadne na njegovu minimalnu vrednost ( $V_{ces}$ ) pri provođenju struje  $I_o = 10 \text{ mA}$ .

$$I_o \cdot R_{pmax} + V_{ces} + I_o \cdot R = V_{cc}$$
$$R_{pmax} = \frac{V_{cc} - V_{ces}}{I_o} - R = 240 \Omega$$

**Primer 3:** Odrediti vrednost otpornika  $R, R_1$  i napon na Zener diodi tako da kolo na slici ispod radi kao strujni generator (da izlazna struja  $I_o$  bude 10mA). Poznato je:  $V_{cc} = 5V, R_{pmin} = 0\Omega, R_{pmax} = 300\Omega$ , strujno pojačanje  $h_{FE} \in [200, 300], I_{zmin} = 5mA, V_{be} = 0.6V$ .



U prethodnom zadatku je izvedena relacija:

$$I_o \cdot R_{pmax} + V_{ces} + I_o \cdot R = V_{cc}$$

$$R \leq \frac{V_{cc} - V_{ces}}{I_o} - R_{pmax}$$

$$R \leq 180 \, \Omega$$

U ovom slučaju, usvojiće da je  $R$  baš  $180 \, \Omega$ .

$$V_{ZD} = R \cdot I_o + V_{be} = 2.4 \, V$$

Dakle, potrebna je Zener dioda koja obezbeđuje stabilan napon od 2.4V.

$$I_{r1} = I_z + I_b$$

S obzirom na to da je željena izlazna struja  $I_o = 10 \, mA$ , maksimalna struja baze  $I_b$  je onda kada je strujno pojačanje minimalno ( $h_{FE} = 200$ ). Stoga sledi da je:

$$I_{bmax} = \frac{I_o}{h_{FEmin}} = 50 \, \mu A$$

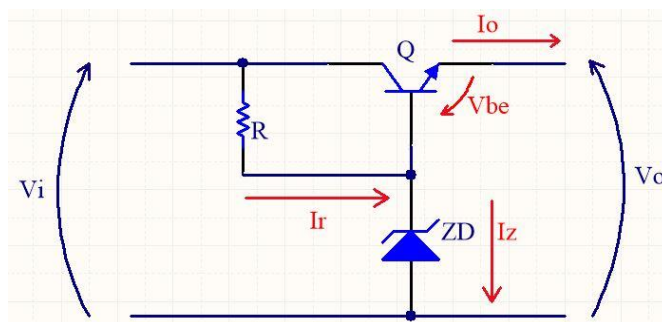
Otpornik  $R_1$  treba da bude takav da struja kroz njega bude dovoljna da Zener dioda uvek radi u režimu proboja (da napon na Zener diodi bude 2.4 V) i da struja baze  $I_b$  može da ima maksimalnu vrednost ( $50 \, \mu A$ , ukoliko je strujno pojačanje minimalno) kako bi izlazna struja  $I_o$  uvek bila željenih 10 mA.

$$R_1 \leq \frac{V_{cc} - V_{ZD}}{I_{zmin} + I_{bmax}} = 514 \, \Omega$$

U ovom slučaju, upotreba otpornika  $R_1$  u vrednosti od  $500 \, \Omega$  bila bi zadovoljavajuća.

#### Primer 4. Stabilizator napona sa tranzistorom

Odrediti vrednost otpornika  $R$  tako da izlazni napon  $V_o$  bude 5V a maksimalna struja koja može da protekne kroz potrošač priključen na 5V bude  $I_{omax} = 1A$ . Odrediti minimalnu snagu disipacije koju upotrebljena Zener dioda mora da bude u stanju da izdrži kako bi uvek radila kao regulator napona (kako bi uvek radila u režimu proboja). Takođe, odrediti i minimalnu snagu disipacije koju upotrebljeni tranzistor mora da bude u stanju da izdrži. Poznato je:  $I_{zmin} = 5mA$ , strujno pojačanje  $h_{FE} \in [100, 150]$ ,  $V_i \in [7.6V, 13V]$ ,  $V_{be} = 0.6V$ .



$$V_o = V_{ZD} - V_{be}$$

$$V_{ZD} = V_o + V_{be} = 5.6V$$

$$I_r = \frac{V_i - V_{ZD}}{R}$$

$$I_r = I_b + I_z$$

Slično kao za otpornik  $R_1$  u prethodnom primeru, otpornik  $R$  treba da bude takav da struja kroz njega bude dovoljno velika da Zener dioda uvek radi u režimu proboja (da napon na Zener diodi bude 5.6 V) i da struja baze  $I_b$  može da ima maksimalnu vrednost (ukoliko je strujno pojačanje minimalno) kako bi izlazni napon  $V_o$  uvek iznosio traženih 5 V izlazna struja  $I_o$  uvek mogla da bude 1 A. Vrednost otpornika  $R$  se određuje za „najgori mogući slučaj“, odnosno kada ulazni napon  $V_i$  ima minimalnu vrednost. Detaljno objašnjenje u vezi sa „najgorim mogućim slučajem“ dato je u *Primeru 4*, u sklopu *Vežbi 5* (stabilizator napona sa Zener diodom).

$$R = \frac{V_{imin} - V_{ZD}}{\frac{I_{omax}}{h_{FEmin}} + I_{zmin}} = 133 \Omega$$

Maksimalna struja kroz Zener diodu biće kada je  $I_o = 0$ , odnosno kada je  $I_b = 0$ , a ulazni napon  $V_i$  ima maksimalnu vrednost. U tom slučaju važi:

$$I_{zmax} = I_{rmax} = \frac{V_{imax} - V_{ZD}}{R} = 55 mA$$

$$P_{ZD} \geq V_{ZD} \cdot I_{zmax}$$

$$P_{ZD} \geq 0.32 W$$

Važno je napomenuti da je u ovoj realizaciji, za razliku od stabilizatora napona bez tranzistora (Vežbe 5), snaga disipacije na diodi znatno manja (a pritom je obezbeđena i veća izlazna struja  $I_o$ ). Stoga se ova realizacija mnogo češće koristi kao stabilizator napona.

S obzirom na to da je maksimalna izlazna struja ( $I_{omax}$ ) 1A, to je onda i maksimalna struja kolektora  $I_{cmax} = 1A$ .

$$V_{cemax} = V_{imax} - V_o = 8V$$

S obzirom na to da je veliko strujno pojačanje  $h_{FE}$  uticaj struje baze  $I_b$  u relaciji za snagu tranzistora se može zanemariti:

$$P_Q = V_{cemax} \cdot I_{omax} = 8W.$$