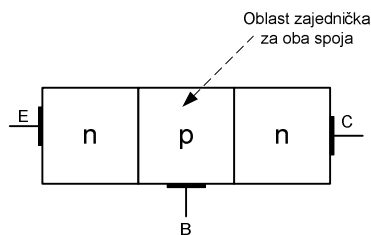


VJEŽBE 3 BIPOLARNI TRANZISTORI

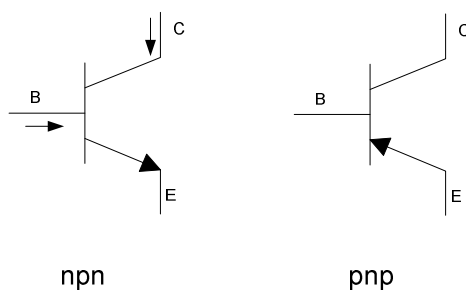
Bipolarni tranzistor se sastoji od dva pn spoja kod kojih je jedna oblast zajednička za oba i naziva se baza, slika 1.



Slika 1

Bipolarni tranzistor ima 3 izvoda: emitor (E), kolektor (K) i baza (B), slika 1.

Postoje npn i pnp bipolarni tranzistori i njihovi simboli su dati na slici 2 i to npn – lijevo i pnp – desno.



Slika 2

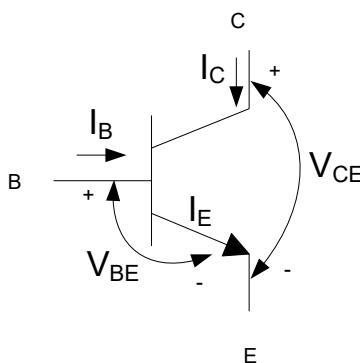
Mi ćemo u zadacima koristiti isključivo npn tranzistor. Ima 4 režima rada, ali ćemo mi proučavati 3.

I – zakočen

II – provodi – aktivan režim rada

III – provodi – zasićen

Smjer struja u tranzistoru u slučaju kada provodi je dat na slici 2 lijevo. Proračun uvijek vršimo tako što pretpostavimo da tranzistor provodi i da je smjer struja kao na slici 2. Na slici 3 su dati, takođe, smjerovi struja u tranzistoru kada provodi kao i karakteristični naponi koji će se koristiti za proračun režima rada u kojem se tranzistor nalazi.



Slika 3

Za određivanje u kojem je režimu rada tranzistor koristićemo sledeća pravila

I – zakočen – U ovom slučaju je:

$$V_{BE} < 0.6V$$

$$I_B = I_C = I_E = 0A$$

II – provodi – aktivan režim rada – U ovom slučaju je:

$$V_{BE} = 0.6V$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$$

$$V_{CE} > V_{CES} = 0.2V .$$

III – provodi – zasićen režim rada – U ovom slučaju je:

$$V_{BE} = 0.6V$$

$$I_C \neq \beta I_B$$

$$I_C < \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

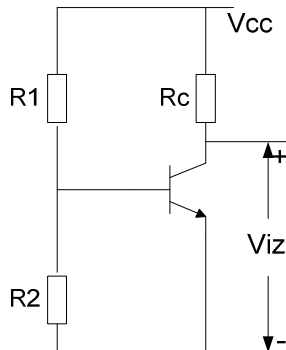
$$V_{CE} = V_{CES} = 0.2V .$$

Zad. 1 Za kolo sa slike 4 izračunati izlazni napon V_{iz} i struju I_c . Poznato je: $R_1 = 50K\Omega$, $R_C = 1K\Omega$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_{BE} = 0.6V$, $\beta = 100$.

a) $R_2 = 50K\Omega$
 $V_{CC} = 9V$

b) $R_2 = 5K\Omega$
 $V_{CC} = 9V$

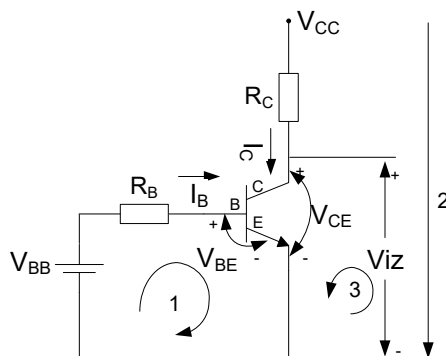
c) $R_2 = 5K\Omega$
 $V_{CC} = 5V$



Slika 4

Rješenje:

Proračun ćemo vršiti iz ekvivalentne šeme koja je data na slici 5.



Slika 5

Da bi šeme sa slike 4 i slike 5 bile ekvivalentne potrebno je da važi:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Date relacije i šema sa slike 5 se mogu koristiti za rješavanje zadatka pod a), b) i c). Samo će se mijenjati brojne vrijednosti i u zavisnosti od njih režimi rada tranzistora, ali od režima rada tranzistora ne zavisi zamjenska šema.

$$\text{a) } R_2 = 50K\Omega \quad V_{CC} = 9V$$

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{9V \cdot 50K\Omega}{50K\Omega + 50K\Omega} = \frac{9V \cdot 50K\Omega}{100K\Omega} = \frac{9V}{2} = 4.5V$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50K\Omega \cdot 50K\Omega}{50K\Omega + 50K\Omega} = \frac{50K\Omega \cdot 50K\Omega}{100K\Omega} = \frac{50K\Omega}{2} = 25K\Omega$$

Sada želimo odrediti režim rada tranzistora i vrijednosti struja i izlaznog napona. Pretpostavimo da tranzistor provodi. Ukoliko provodi, struja baze mora imati smjer kao na slici 5. Struju I_B dobijamo primjenjujući II Kirhof-ov zakon na konturu 1, slika 5.

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{4.5V - 0.6V}{25K\Omega} = \frac{3.9V}{25K\Omega} = 0.156mA > 0$$

Dobili smo pozitivnu vrijednost za struju baze što znači da tranzistor provodi. Ako provodi, može biti aktivan ili zasićen. Sada treba da odredimo struju koja protiče kroz kolektor I_C . Pretpostavimo da je tranzistor aktivan i da možemo koristiti vezu struje baze i struje kolektora:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 0.156mA = 15.6mA$$

Vrijednost za struju izračunata u gornjoj formuli je tačna ukoliko je tranzistor aktivan. Da li je tranzistor aktivan određujemo na osnovu vrijednosti napona između kolektora i emitora V_{CE} . Ovaj napon ćemo odrediti pomoću konture 2, slika 5.

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_{CE} = 9V - 1K\Omega \cdot 15.6mA = 9V - 15.6V$$

$$V_{CE} = -6.6V < V_{CES} = 0.2V$$

Dobili smo da je napon između kolektora i emitora manji od napona V_{CES} , što je nemoguće. Ovaj napon mora biti veći od V_{CES} ukoliko je tranzistor aktivan. Znači, nije dobra pretpostavka da je tranzistor aktivan a obzirom da smo dokazali da provodi, ostaje samo opcija da je zasićen. Ukoliko je tranzistor zasićen ne važi veza $I_C = \beta I_B$ između struje baze i struje kolektora koju smo mi koristili ali znamo da je:

$$V_{CE} = V_{CES} = 0.2V.$$

Znajući ovaj napon, kao i to da šema na osnovu koje smo pisali formule važi za sve režime rada, možemo iskoristiti formulu koju smo dobili iz konture 2 i na osnovu nje naći struju kolektora:

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0$$

Kada je tranzistor zasićen važi $V_{CE} = V_{CES} = 0.2V$, pa se prethodna formula piše kao:

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CES} = 0$$

$$V_{CC} - V_{CES} = R_C I_C$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C}$$

$$I_C = \frac{9V - 0.2V}{1K\Omega} = \frac{8.8V}{1K\Omega} = 8.8mA$$

Ukoliko bi nam trebala struja emitora dobili bi je na sledeći način:

$$I_E = I_B + I_C = 0.156mA + 8.8mA = 8.956mA .$$

Ostalo je još da se izračuna izlazni napon. Obilazimo konturu 3 u smjeru prikazanom na slici 5 i pišemo:

$$V_{iZ} - V_{CE} = 0$$

$$V_{iZ} = V_{CE} = V_{CES} = 0.2V$$

b) $R_2 = 5K\Omega$ $V_{CC} = 9V$

Promijenila se vrijednost za R_2 pa se mijenja vrijednost i za R_B i V_{BB} , a samim tim i za sve struje i napone. Biće:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{9V5K\Omega}{50K\Omega + 5K\Omega} = \frac{9V5K\Omega}{55K\Omega} = 0.82V$$

$$R_B = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50K\Omega5K\Omega}{55K\Omega} = 4.54K\Omega$$

Možemo koristiti ranije izvedenu formulu za struju baze:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{0.82V - 0.6V}{4.54K\Omega} = \frac{0.22V}{4.54K\Omega} = 0.048mA > 0$$

Dobili smo pozitivnu vrijednost za struju baze što znači da tranzistor provodi. Ako provodi može biti aktivan ili zasićen. Sada treba da odredimo struju koja protiče kroz kolektor I_C . Pretpostavimo da je tranzistor aktivan i da možemo koristiti vezu struje baze i struje kolektora:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 0.048mA = 4.8mA$$

Vrijednost za struju izračunata u gornjoj formuli je tačna ukoliko je tranzistor aktivan. Da li je tranzistor aktivan određujemo na osnovu vrijednosti napona između kolektora i emitora V_{CE} . Izraz za izračunavanje ovog napona koristimo iz dijela zadatka pod a) gdje smo iz konture 2, slika 5, dobili.

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_{CE} = 9V - 1K\Omega 4.8mA = 9V - 4.8V$$

$$V_{CE} = 4.2V > V_{CES} = 0.2V$$

Dobili smo da je napon između kolektora i emitora veći od napona V_{CES} i dokazali da je tranzistor aktivan i da je vrijednost za struju kolektora koju smo izračunali tačna.

Ostaje da se odredi još izlazni napon. Opet se može koristiti izraz iz zadatka pod a), gdje smo iz treće konture dobili:

$$V_{iZ} = V_{CE} = 4.2V$$

Ukoliko bi nam trebala struja emitora dobili bi je na sledeći način:

$$I_E = I_B + I_C = 0.048mA + 4.8mA = 4.848mA$$

c) $R_2 = 5K\Omega$ $V_{CC} = 5V$

U odnosu na dio zadatka pod b) promijenila se vrijednost baterije V_{CC} pa će se mijenjati vrijednost za V_{BB} i nova vrijednost će biti:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5V \cdot 5K\Omega}{50K\Omega + 5K\Omega} = \frac{5V \cdot 5K\Omega}{55K\Omega} = 0.45V,$$

dok se vrijednost $R_B = 4.54K\Omega$ izračunata u dijelu zadatka pod b) nije promijenila. Sada će struja baze biti:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{0.45V - 0.6V}{4.54K\Omega} = -\frac{0.15V}{4.54K\Omega} = -0.033mA < 0$$

Dobili smo da je struja baze negativna, što znači da pretpostavka da tranzistor provodi nije dobra. Tranzistor je zakočen i nema struja:

$$I_B = I_C = I_E = 0A$$

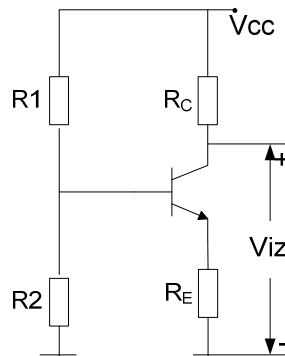
Potrebno je odrediti još izlazni napon. Posmatramo šemu sa slike 5, vidimo da više ne možemo koristiti relaciju $V_{iz} = V_{CE}$. Sada obilazeći konturu 2 i znajući da je $V_{iz} = V_{CE}$ dobijamo:

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{iz} = 0$$

$$V_{iz} = V_{CC} - R_C I_C = V_{CC} - R_C \cdot 0 = V_{CC} = 5V$$

Zad. 2 Za šemu sa slike 6 izračunati izlazni napon V_{iz} i struju I_c . Poznato je: $R_1 = R_2 = 50K\Omega$, $R_C = 800\Omega$, $R_E = 2K\Omega$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_{BE} = 0.6V$, $\beta = 100$.

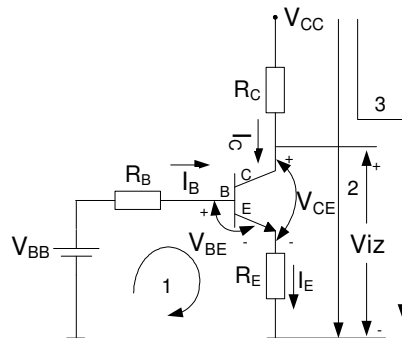
- a) $V_{CC} = 20V$ b) $V_{CC} = 1V$.



Slika 6

Rješenje:

Crtamo zamjensku šemu i na njoj označimo sve napone i struje, slika 7.



Slika 7

- a) $V_{CC} = 20V$, računamo vrijednosti za R_B i V_{BB} :

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20V \cdot 50K\Omega}{50K\Omega + 50K\Omega} = \frac{20V \cdot 50K\Omega}{100K\Omega} = \frac{20V}{2} = 10V$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50K\Omega \cdot 50K\Omega}{50K\Omega + 50K\Omega} = \frac{50K\Omega \cdot 50K\Omega}{100K\Omega} = \frac{50K\Omega}{2} = 25K\Omega$$

Pretpostavimo da tranzistor provodi. Ukoliko provodi, struja baze mora imati smjer kao na slici 7. Struju I_B dobijamo primjenjujući II Kirhof-ov zakon na konturu 1, slika 7.

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$$

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E I_E$$

Dobili smo jednu jednačinu sa dvije nepoznate I_B i I_E . Da bi odredili ove dvije veličine potrebna nam je još jedna jednačina. Pretpostavimo da je tranzistor i aktivan i možemo koristiti:

$$I_C = \beta I_B$$

Ako tranzistor provodi, takođe, važi:

$$I_E = I_C + I_B,$$

a ako je aktivan i:

$$I_E = \beta I_B + I_B = (\beta + 1) I_B.$$

Zamjenjujući ovo u:

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E I_E$$

dobijamo:

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E (\beta + 1) I_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B (R_B + R_E (\beta + 1))$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{10V - 0.6V}{25K\Omega + 2K\Omega \cdot 101} = \frac{9.4V}{227K\Omega} = 0.041mA > 0$$

Dobili smo pozitivnu vrijednost za struju baze što znači da tranzistor provodi. Pretpostavili smo da je aktivan pa računamo:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 0.041mA = 4.1mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 0.041mA + 4.1mA = 4.141mA$$

Vrijednost za struju izračunata u gornjoj formuli je tačna ukoliko je tranzistor aktivan. Da li je tranzistor aktivan određujemo na osnovu vrijednosti napona između kolektora i emitora V_{CE} . Ovaj napon ćemo odrediti pomoću konture 2, slika 4.

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} - R_E I_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_{CE} = 10V - 0.8K\Omega \cdot 4.1mA - 2K\Omega \cdot 4.141mA = 10V - 3.28V - 8.282V$$

$$V_{CE} = 8.438 > V_{CES} = 0.2V$$

Dakle, tačna je pretpostavka da je tranzistor aktivan. Za izračunavanje napona između kolektora i emitora pretvorili smo $R_C = 800\Omega = 800 \frac{1000}{1000} \Omega = 0.8K\Omega$.

Sada možemo izračunati izlazni napon V_{iz} . Obilazeći konturu 3 u smjeru prikazanom na slici 7, pišemo:

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{iz} = 0$$

$$V_{iz} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_{iz} = 20V - 0.8K\Omega \cdot 4.1mA = 20V - 3.28V$$

$$V_{iz} = 16.72V$$

b) $V_{CC} = 1V$, promjena vrijednosti napona V_{CC} neće uticati na promjenu otpornosti R_B pa koristimo vrijednost izračunatu u dijelu zadatka pod a), $R_B = 25K\Omega$. Nova vrijednost za napon V_{BB} će biti:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1V 50K\Omega}{50K\Omega + 50K\Omega} = \frac{1V 50K\Omega}{100K\Omega} = \frac{1V}{2} = 0.5V$$

Vrijednost za struju baze za nove parametre će biti:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{0.5V - 0.6V}{25K\Omega + 2K\Omega 101} = \frac{-0.1V}{227K\Omega}$$

$$I_B = -0.00044mA = -0.44\mu A < 0$$

$$\mu = 10^{-6}$$

μ se čita mikro

Dobili smo negativnu vrijednost za struju tranzistora na osnovu čega zaključujemo da je početna pretpostavka da tranzistor provodi netačna. Tranzistor je zakočen, nema struje, odnosno:

$$I_B = I_C = I_E = 0A.$$

I dalje izlazni napon možemo odrediti pomoću jednačina dobijenih obilaskom konture 3 sa slike 7:

$$V_{iz} = V_{CC} - R_C I_C = 1V - 0.8K\Omega \cdot 0A$$

$$V_{iz} = 1V$$