

Elektronički Elementi i Sklopovi

Sadržaj predavanja:

1. Spoj zajedničkog emitera
2. Pojačanje β u spoju zajedničkog emitera
3. Spoj zajedničkog kolektora
4. Limiti rada tranzistora s obzirom na snagu tranzistora
5. DC analiza rada tranzistora

Elektronički Elementi i Sklopovi

U prethodnom predavanju smo našli struju kolektora I_C koja teče kroz kolektor pri struji baze $I_B = 0A$ te takvu struju kolektora I_C označavamo sa I_{CEO} :

$$(1) I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \Big|_{I_B=0 \mu A}$$

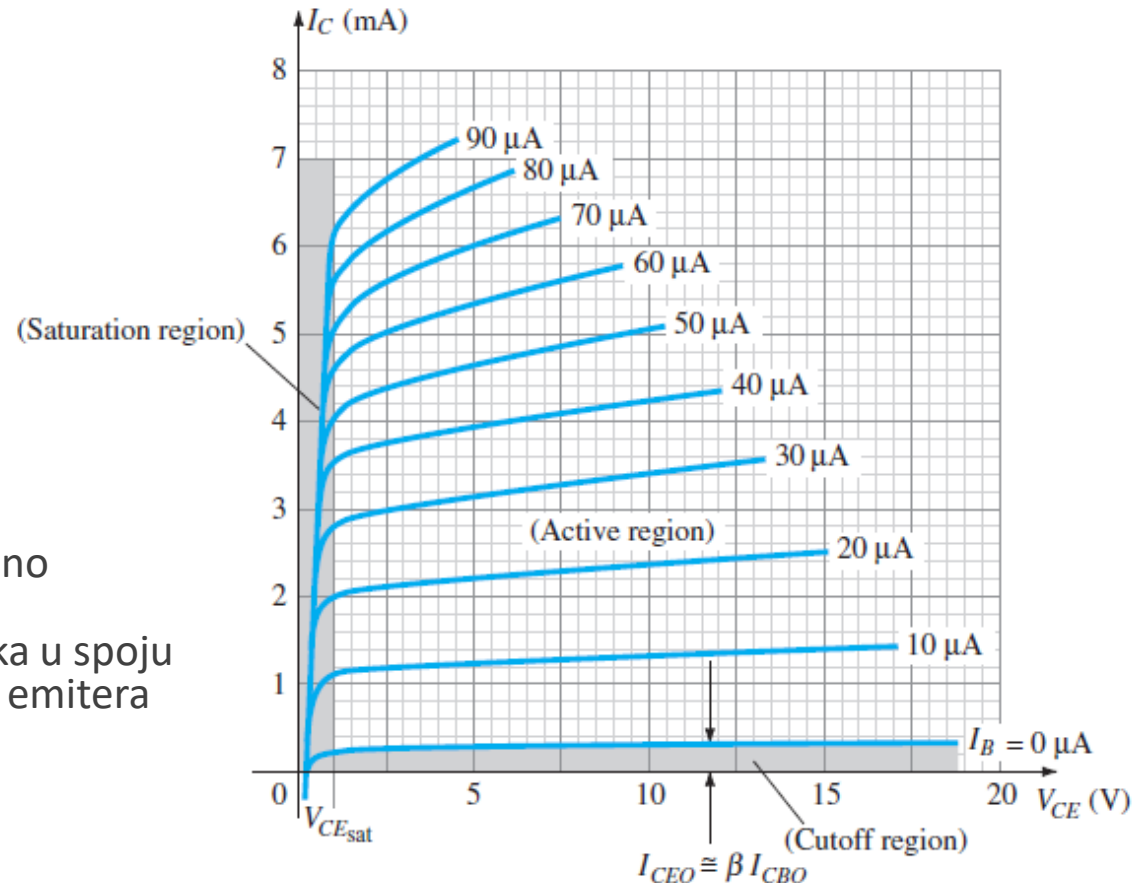
Iz jednadžbe (1) slijedi:

Cutoff regiju tranzistora definiramo kao onu regiju ispod pravca $I_C = I_{CEO}$.

To znači da ako želimo tranzistor koristiti kao linearno pojačalo cutoff regiju treba izbjegavati.

Ako se tranzistor koristi kao prekidač (eng. *switch*) onda obično radi ili u regiji saturacije ili u cutoff regiji.

Elektronički Elementi i Sklopovi



Izlazna strujno naponska karakteristika u spoju zajedničkog emitera

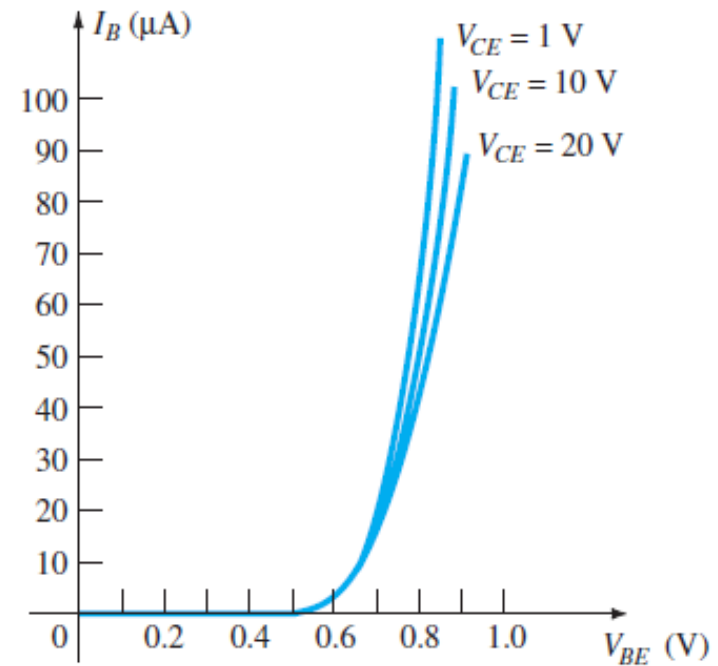
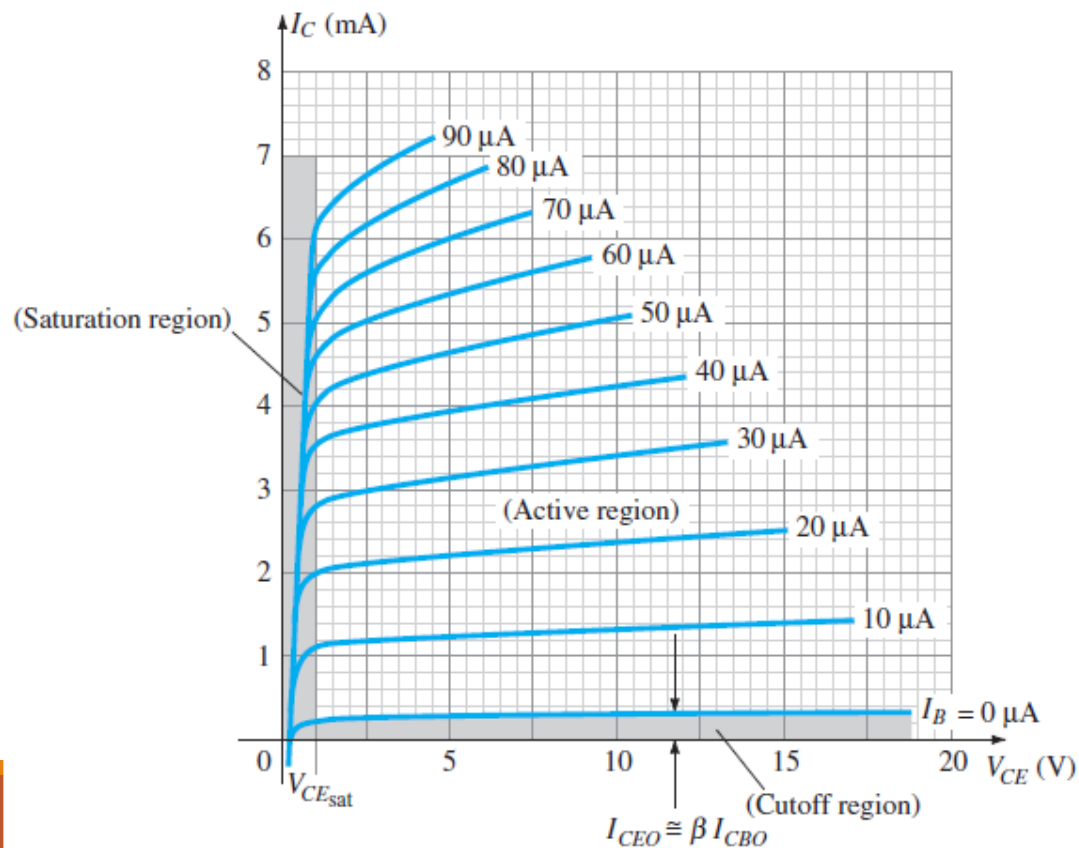
Treba primjetiti da kada je tranzistor u aktivnom području tada možemo uzeti da je napon emiter-baza:

$$(2) V_{BE} = 0.7 V$$

U slučaju aktivnog područja možemo uzeti da napon V_{BE} ostaje isti za bilo koji nivo struje baze I_B

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 1. (a) Iz karakteristike na slici treba odrediti struju I_C kada je $I_B = 30 \mu A$ i napon $V_{CE} = 10 V$. (b) treba odrediti struju I_C kada je $V_{BE} = 0.7 V$ i $V_{CE} = 15 V$



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje:

(a) iz izlazne karakteristike može se odrediti da je na sjecištu pravca $V_{CE} = 10 V$ i dijela izlazne karakteristike za koji je $I_B = 30 \mu A$ struja $I_C = 3.4 mA$

(b) iz ulazne karakteristike prvo odredimo struju I_B kada je napon $V_{BE} = 0.7 V$ i $V_{CE} = 15 V$

$$I_B \cong 20 \mu A$$

budući da sada znamo struju baze I_B i napon $V_{CE} = 15 V$ iz ulazne karakteristike nalazimo:

$$I_C \cong 2.5 mA$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

U DC režimu rada tranzistora u spoju zajedničkog emitera možemo definirati veličinu β_{dc} kao:

$$(3) \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

gdje struje I_C i I_B ovise o statičkoj radnoj točki tranzistora. Kod realnih tranzistora ova veličina varira između $50 < \beta_{dc} < 400$

To znači da ako je $\beta_{dc} = 200$ onda je struja kolektora I_C 200 puta veća od struje baze I_B .

U specifikacijama tranzistora vrijednost β_{dc} se obično označava oznakom h_{FE} .

Slovo h dolazi iz hibridnog ekvivalentnog kruga tranzistora.

Subskript FE dolazi iz engleskog termina *forward-current* za zajednički emiter (eng. *common emitter*)

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za AC veličine definiramo β_{dc} kao:

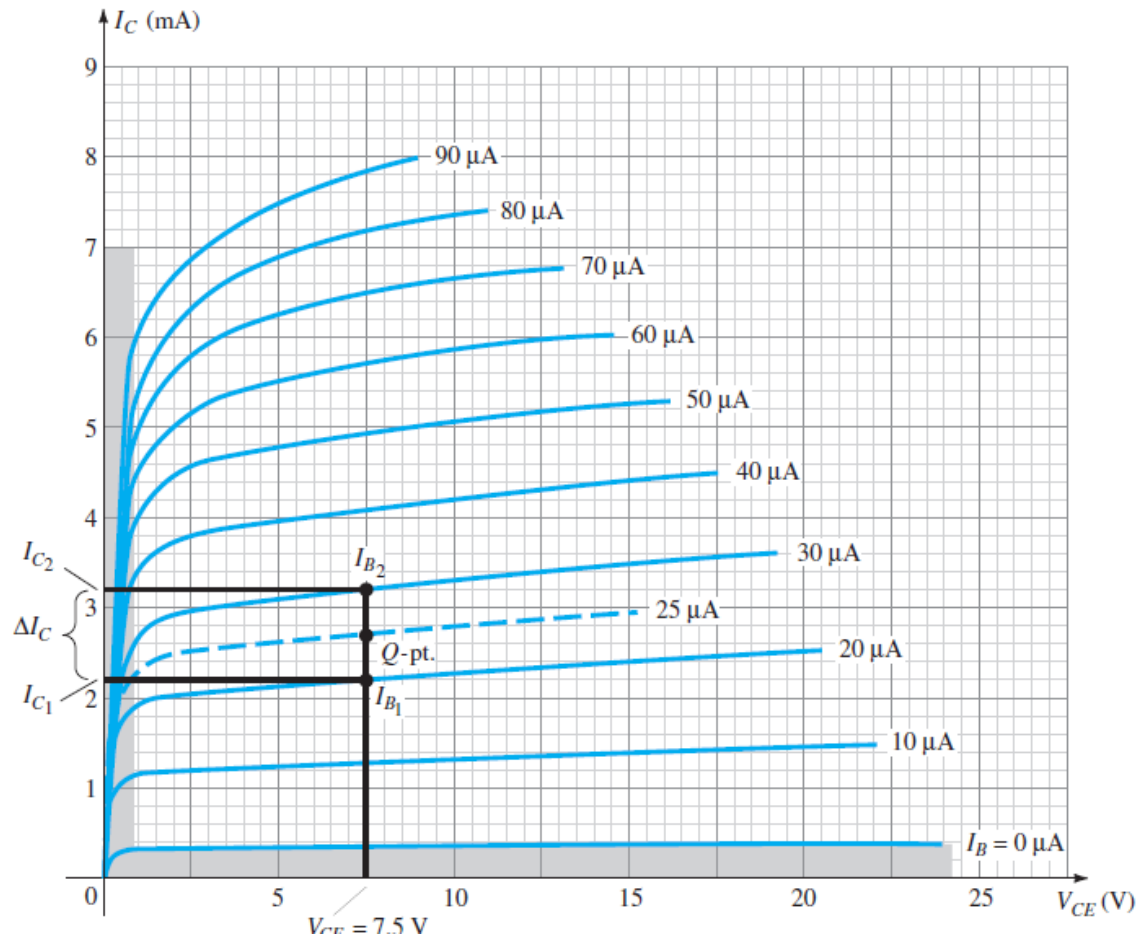
$$(4) \beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} = \text{const.}}$$

U specifikacijama tranzistora vrijednost β_{ac} se obično označava oznakom h_{fe} . Razlika između oznaka za β_{dc} i β_{ac} je samo u tome da li je subskript FE pisan velikim ili malim slovima.

Veličina β_{ac} se može otprilike izračunati iz izlazne karakteristike tranzistora u spoju zajedničkog emitera.

Treba izračunati β_{ac} kada je struja baze $I_B = 25 \mu A$ i $V_{CE} = 7.5 V$. Na karakteristici možemo povući vertikalnu liniju za napon $V_{CE} = 7.5 V$ kao na slici:

Elektronički Elementi i Sklopovi



Promjenu struje ΔI_B možemo naći tako što ćemo odabrati dvije točke jednako udaljene od Q točke (ili statičke radne točke):

$$I_{B_2} = 30 \mu A$$

$$I_{B_1} = 20 \mu A$$

Kod odabira ove dvije točke treba voditi računa da ne budu previše udaljene od Q točke

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za ove dvije točke možemo iz izlazne karakteristike odrediti i struje I_{C_1} i I_{C_2} kao:

$$I_{C_2} = 3.2 \text{ mA}$$

$$I_{C_1} = 2.2 \text{ mA}$$

Budući da sada znamo struje I_{B_1} , I_{B_2} , I_{C_1} i I_{C_2} možemo izračunati β_{ac} :

$$(5) \beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=\text{const.}} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=7.5V} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{I_{B_2} - I_{B_1}} = \frac{3.2 \text{ mA} - 2.2 \text{ mA}}{30 \mu\text{A} - 20 \mu\text{A}} = 100$$

Jednadžba (5) sugerira da će kod AC signala struja kolektora I_C biti oko 100 puta veća od struje baze I_B . Možemo izračunati i DC pojačanje u Q točki:

$$(6) \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.7 \text{ mA}}{25 \mu\text{A}} = 108$$

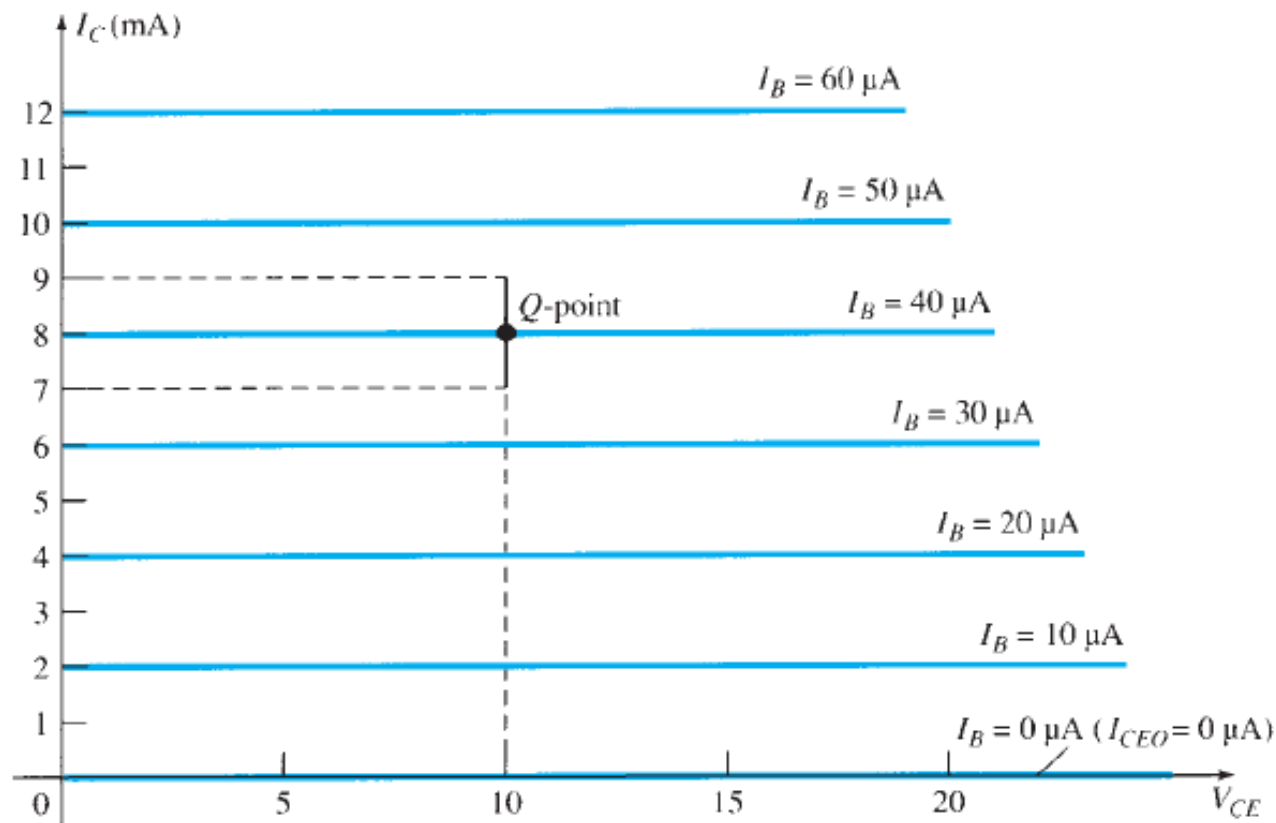
Elektronički Elementi i Sklopovi

Iako vrijednosti β_{dc} i β_{ac} nisu jednake, njihove vrijednosti su dovoljno blizu da se u praktičnim proračunima često uzimaju da su jednake.

Također treba imati u vidu da vrijednosti β_{dc} i β_{ac} variraju za tranzistor istog tipa (npr. BC107). U praksi, što je manja struja I_{CEO} to su vrijednosti β_{dc} i β_{ac} bliže jedna drugoj.

Ako pretpostavimo da je izlazna karakteristika linearna za aktivno područje te ako izlazne karakteristike za određeni nivo struje baze I_B zamijenimo pravcima (prihvatljiva aproksimacija!) tada možemo uzeti da je β_{dc} konstantan za cijelo aktivno područje kao na slici:

Elektronički Elementi i Sklopovi



Ovdje koristimo dvije aproksimacije:

(a) u aktivnom području struja $I_C = \text{const.}$ za bilo koji nivo struje baze I_B .

(b) struja I_C raste proporcionalno struji I_B

U ovoj aproksimaciji možemo izračunati β_{ac} kao:

$$(7) \beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} = \text{const.}} = \frac{9 \text{ mA} - 7 \text{ mA}}{45 \mu\text{A} - 10 \mu\text{A}} = 200$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Iz prethodne izlazne karakteristike možemo pronaći β_{dc} u Q točki:

$$(8) \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{8 \text{ mA}}{40 \mu\text{A}} = 200$$

Također treba primjetiti da je na izlaznoj karakteristici sa prethodne slike $I_{CEO} = 0$, te zbog toga imamo identični β_{dc} i β_{ac} .

U analizi koja slijedi, radi pojednostavljenja izraza, nećemo više pisati subskript *dc* i *ac* za β . Umjesto toga, podrazumijvat ćemo β_{dc} ili β_{ac} ovisno o tome da li analiziramo DC ili AC slučaj.

Može se pronaći i veza između vrijednosti α i β tranzistora. Da bi se ta veza pronašla, pišemo 1. Kirchhoffov zakon za tranzistor:

$$(9) I_E = I_C + I_B$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

U jednadžbu (9) substituiramo $\beta = I_C/I_B$ i $\alpha = I_C/I_E$ te dobijemo:

$$(10) \frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta}$$

Podijelimo obje strane jednadžbe (10) sa I_C :

$$(11) \frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

Iz izraza (11) može se dobiti ovisnost α o β i obrnuto:

$$(12) \alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

$$(13) \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Sa prethodnog predavanja imamo da vrijedi izraz:

$$(14) I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$$

Iz jednadžbe (11) imamo da vrijedi:

$$(15) \frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1$$

Uvrštavajući (15) u (14) dobije se:

$$(16) I_{CEO} = I_{CBO}(\beta + 1)$$

Budući da je $\beta \gg 1$ možemo pisati da je:

$$(17) I_{CEO} \cong \beta I_{CBO}$$

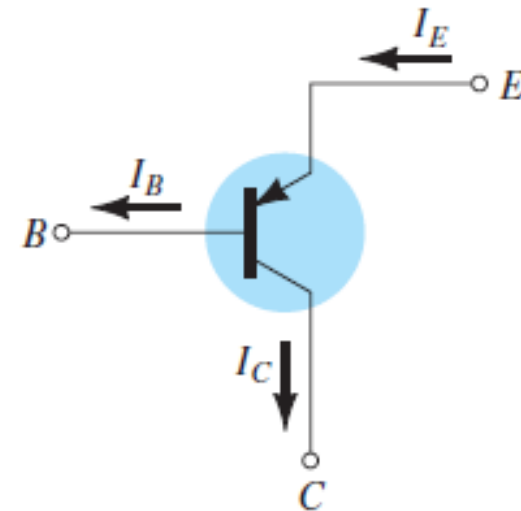
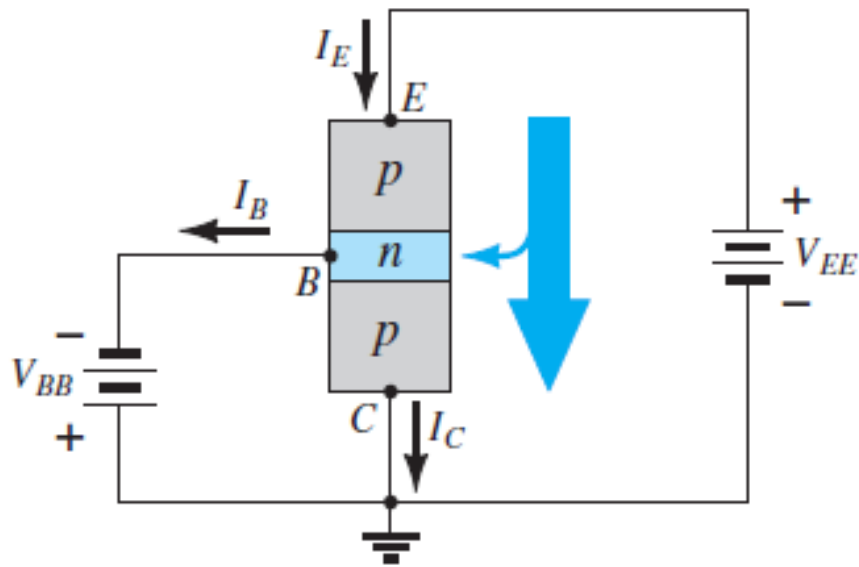
Elektronički Elementi i Sklopovi

Parametar β nam je bitan i zbog toga što možemo naći vezu između struje emitera I_E i struje I_B u spoju zajedničkog emitera. Uvrštavajući izraz $I_C = \beta I_B$ u (9) dobije se da je:

$$(18) I_E = I_C + I_B = \beta I_B + I_B = (\beta + 1)I_B$$

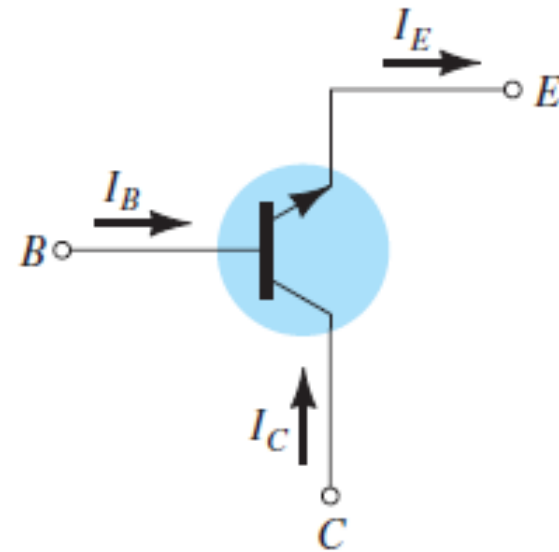
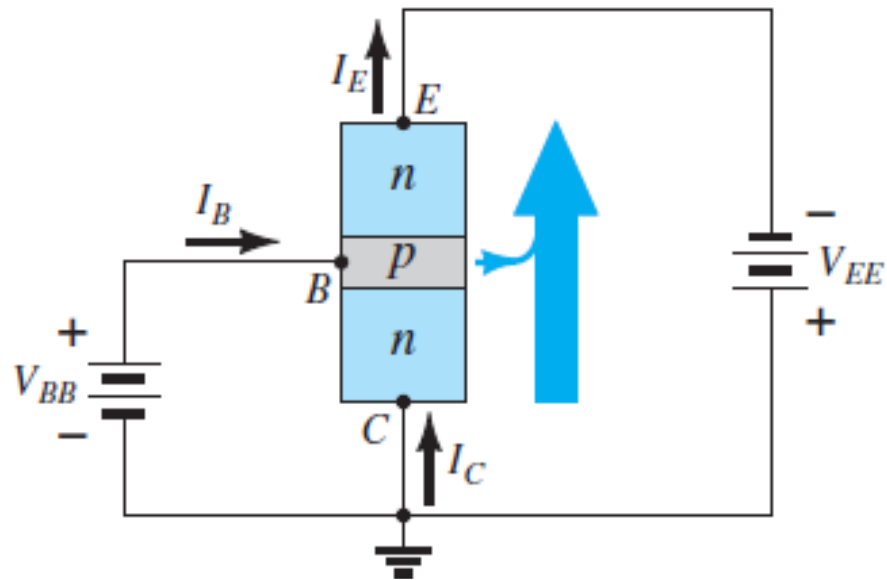
Elektronički Elementi i Sklopovi

PNP i NPN tranzistori mogu biti i u spoju zajedničkog kolektora (kolektor je zajednička elektroda):



Konvencionalni polariteti napajanja za PNP tranzistor u spoju zajedničkog kolektora

Elektronički Elementi i Sklopovi



Konvencionalni polariteti napajanja za NPN tranzistor u spoju zajedničkog kolektora

Elektronički Elementi i Sklopovi

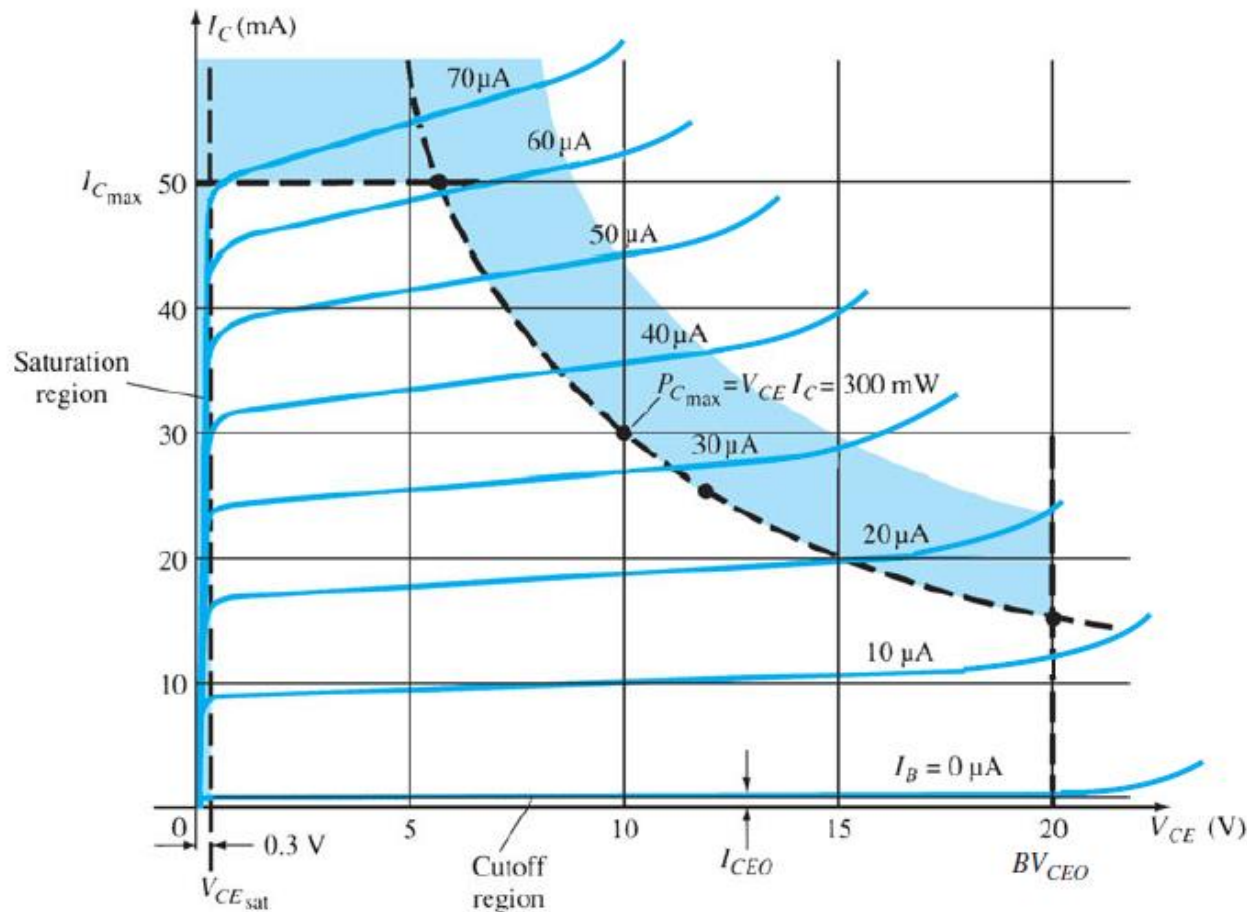
Nema praktične potrebe za zasebni skup ulaznih i izlaznih karakteristika za spoj zajedničkog kolektora.

Izlazna karakteristika tranzistora u spoju zajedničkog kolektora je ovisnost struje I_E o naponu V_{CE} pri određenom nivou struje baze I_B .

Na izlaznoj karakteristici spoja zajedničkog emitera samo treba promijeniti polaritet napona V_{CE} da se dobije horizontalna os spoja zajedničkog kolektora.

Također na izlaznoj karakteristici spoja zajedničkog emitera treba promijeniti simbol I_C u simbol I_E te se na taj način dobije izlazna karakteristika spoja zajedničkog kolektora.

Elektronički Elementi i Sklopovi



Sklop sa tranzistorom ne smije preći maksimalne specificirane vrijednosti struje i napona.

Crtna krivulja na slici je krivulja maksimalne snage tranzistora i opisana je jednačbom:

$$(19) P_{C_{max}} = V_{CE} I_C$$

gdje uzimamo da je snaga $P_{C_{max}}$ konstanta specificirana je u specifikacijama proizvođača tranzistora.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za DC analizu rada tranzistora koriste se slijedeće tri jednačbe:

$$(19) V_{BE} = 0.7 V$$

$$(20) I_E = (\beta + 1)I_B \cong I_C$$

$$(21) I_C = \beta I_B$$

Najčešće u DC analizi rada tranzistora prvo treba naći struju baze I_B . Kada je poznata struja baze I_B pomoću jednačbi (19)-(21) odrede se i ostale struje tranzistora (I_C, I_E)

Slično kao i kod analize sklopova sa diodama, i kod tranzistora imamo statičku radnu točku ili Q-točku (lat. *quiescent* – mirna, neaktivna)

S obzirom da se vrijednosti β_{ac} i I_{CEO} mijenjaju s temperaturom, odabrana električna mreža u sklopu s tranzistorom mora biti tako odabrana da se Q-točka stabilizira. Ovakav odabir se naziva i *stabilizacija radne točke*.