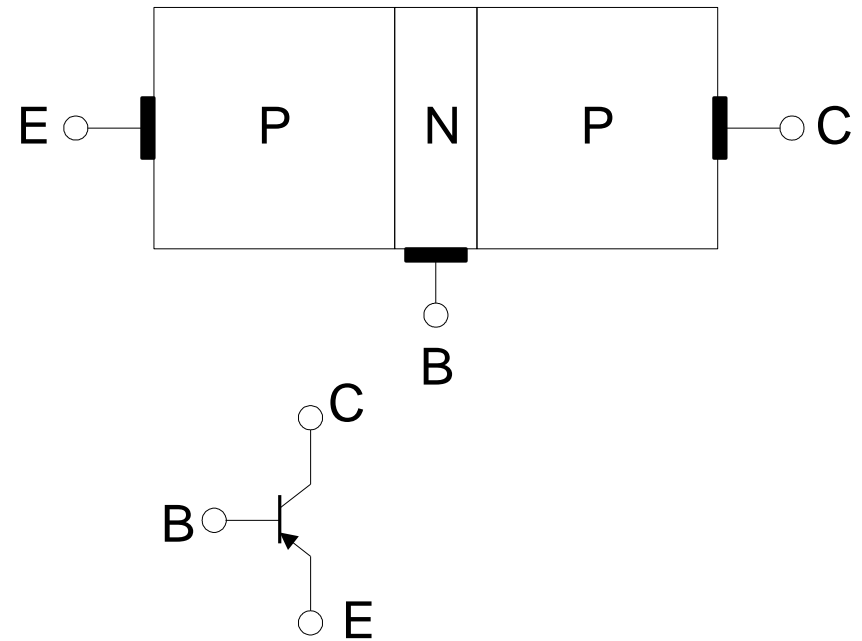
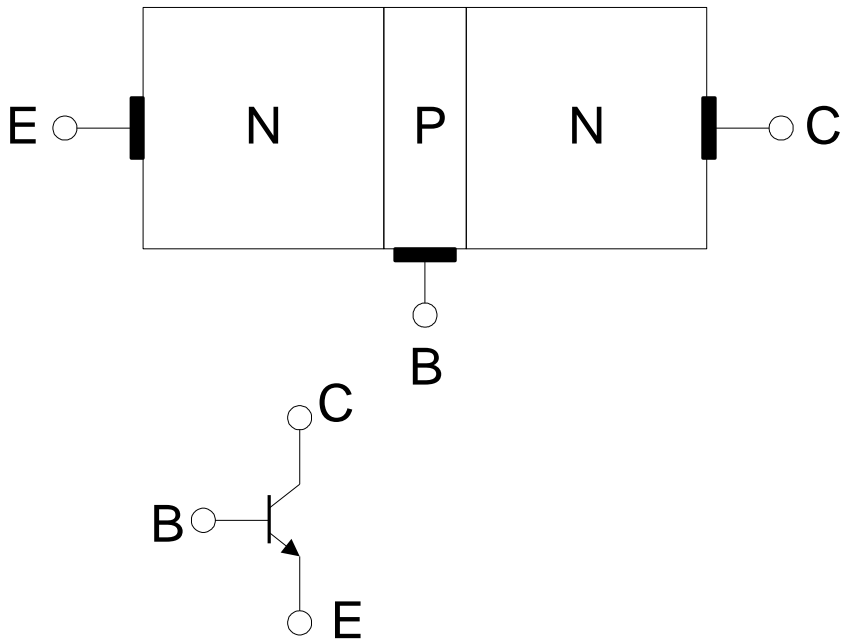


Bipolarni tranzistori

- **Bipolarni tranzistor je komponenta sa tri elektrode**
- **Poseduje pojačavačko svojstvo u smislu da male promene signala između ulazne i referentne elektrode izazivaju nagle promene između izlazne i referentne elektrode**
- **Konstrukcija tranzistora je izvedena tako što su dva komada poluprovodnika istog tipa (zovu se kolektor i emiter) spojena uskim poluprovodnikom suprotnog tipa koji se zove baza**
- **U zavisnosti od toga da li su kolektor i emiter poluprovodnici N tipa, a baza P tipa ili obrnuto imamo NPN i PNP tipove bipolarnih tranzistora**

Bipolarni tranzistori



Da bi bipolarni tranzistor imao pojačavačko svojstvo, potrebno je ispuniti:

- Tehnološke zahteve izrade
- Pravilno polarisati tranzistor

Tehnološki zahtevi da bi tranzistor imao pojačavačko svojstvo su:

- Emitor mora biti najjače dopiran, baza najslabije, a kolektor jače dopiran od baze a slabije od emitora
- Širina baze između emitora i kolektora mora biti dovoljno mala

Pravilno polarisati bipolarne tranzistore znači:

- Kolektorsko – bazni PN spoj polarisati inverzno
- Bazno emitorski PN spoj polarisati direktno
- Ovo se postiže adekvatnim podešavanjem i napona i struja u kolu u kom se bipolarni tranzistor nalazi

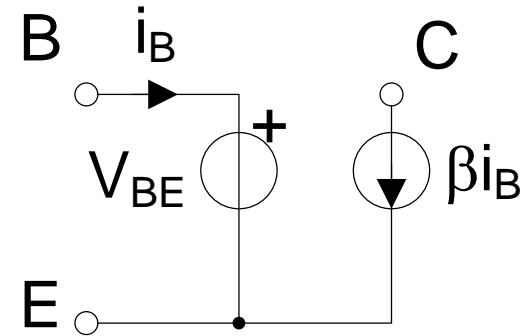
Kada bipolarni tranzistor radi u aktivnom režimu, kolektorska struja je proporcionalna baznoj struji: $i_C = \beta i_B$

- **Koeficijent strujnog pojačanja β je tipično vrednosti od nekoliko stotina puta**
- **Ovaj koeficijent zavisi od temperature tranzistora i vrednosti bazne struje**
- **Približno se može smatrati konstantnim kod rešavanja kola, sa vrlo tačnim rezultatima**
- **Kolektorska struja u manjoj meri zavisi od napona kolektor – baza jer veći napon sužava oblast prostornog tovara i unekoliko povećava kolektorsku struju**
- **Ova pojava naziva se Erlijev (Early) efekat**
- **Napon V_A u izrazu naziva se Erlijev napon**

$$i_C = I_S \left(1 + \frac{v_{CB}}{V_A} \right) e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

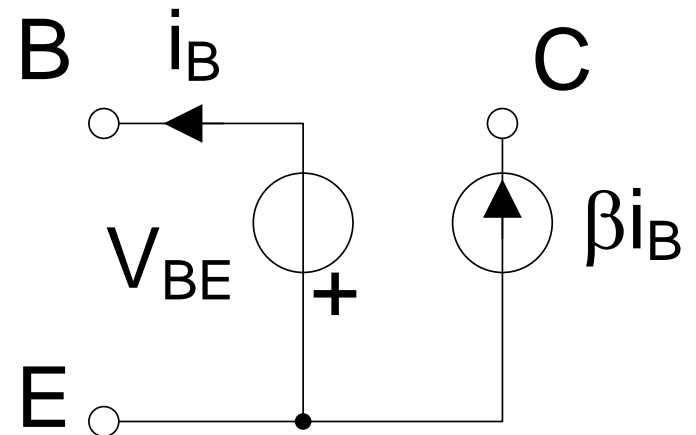
Električni model NPN tranzistora u aktivnom režimu

- Uloga električnog modela je da bipolarni tranzistor predstavi kao kombinaciju standardnih naponskih i strujnih generatora
- I pored relativne složenosti bipolarnog tranzistora, električni model u aktivnom režimu je relativno jednostavan
- Napon baze u aktivnom režimu je za 0,6V veći od napona emitora
- Kolektorska struja je β puta veća od bazne struje



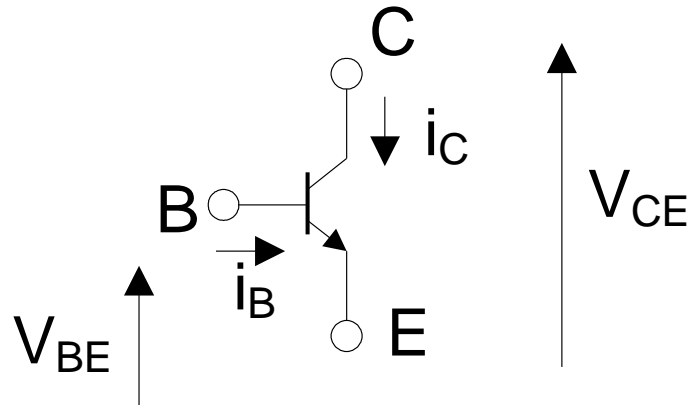
Električni model PNP tranzistora u aktivnom režimu

- Napon baze u aktivnom režimu je za 0,6V manji od napona emitora
- Kolektorska struja je β puta veća od bazne struje, ali su smerovi i bazne i kolektorske struje suprotni od smerova bazne i kolektorske struje kod NPN tranzistora

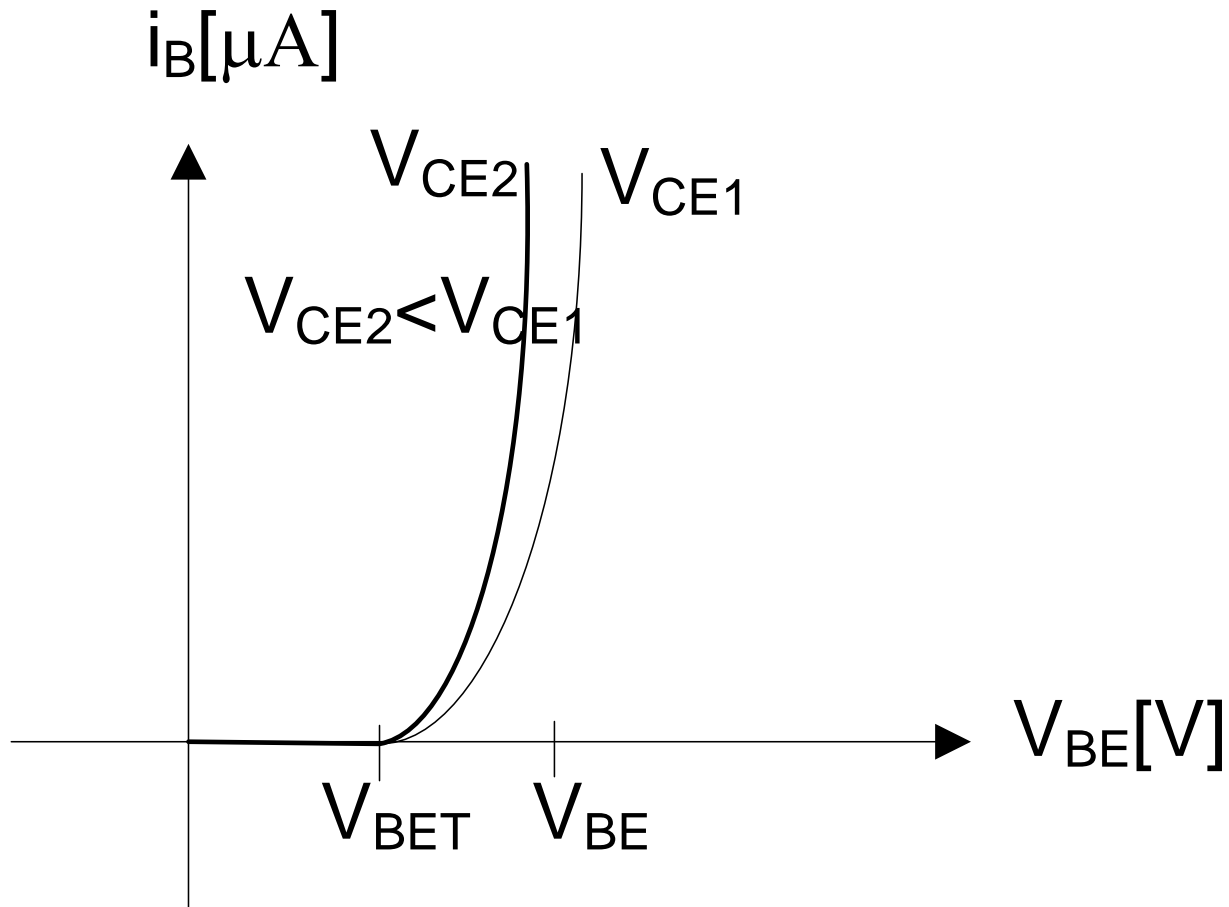


Statičke karakteristike tranzistora

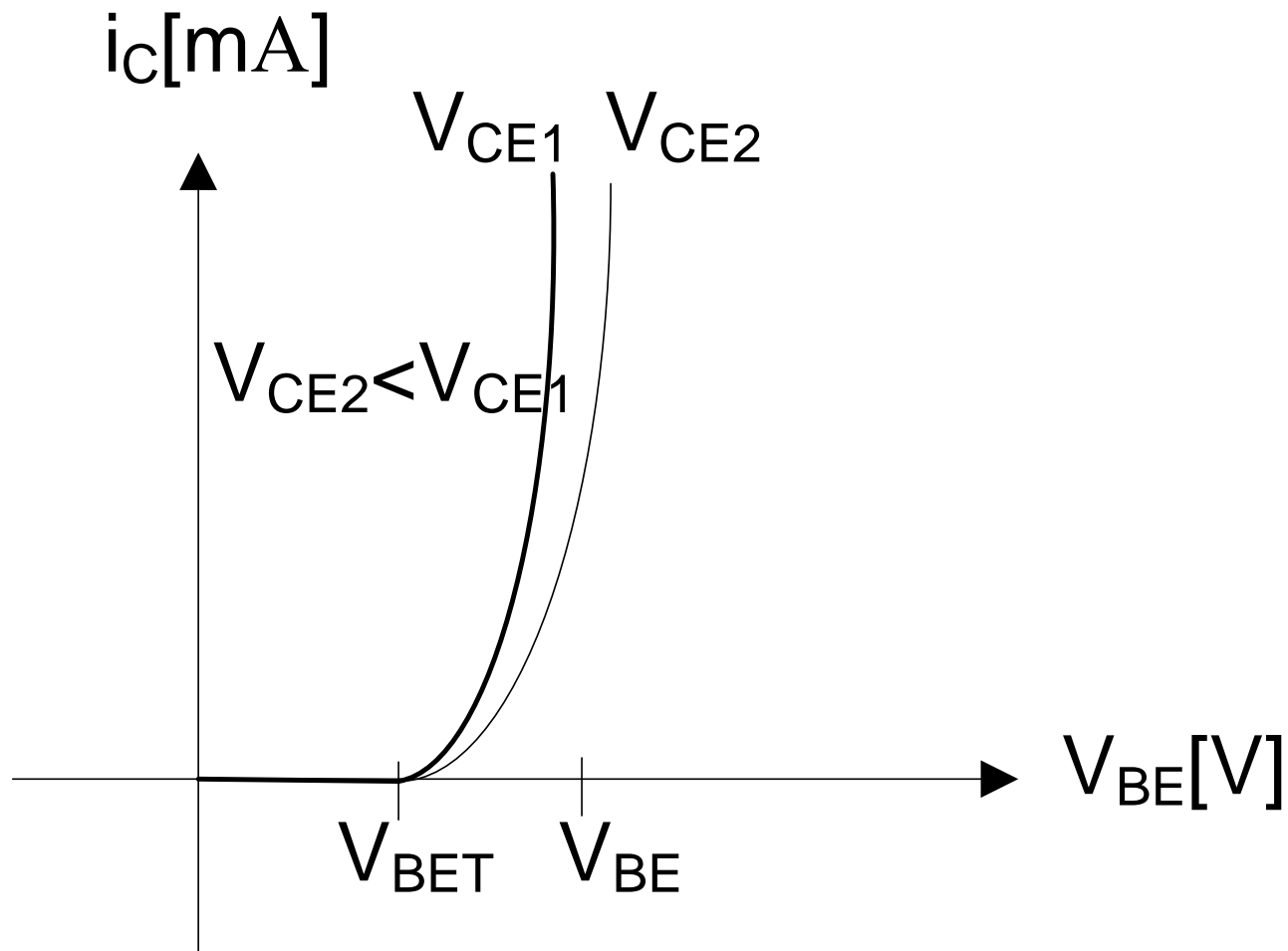
- Statičke karakteristike tranzistora su krive koje pokazuju zavisnosti između odgovarajućih napona i/ili struja



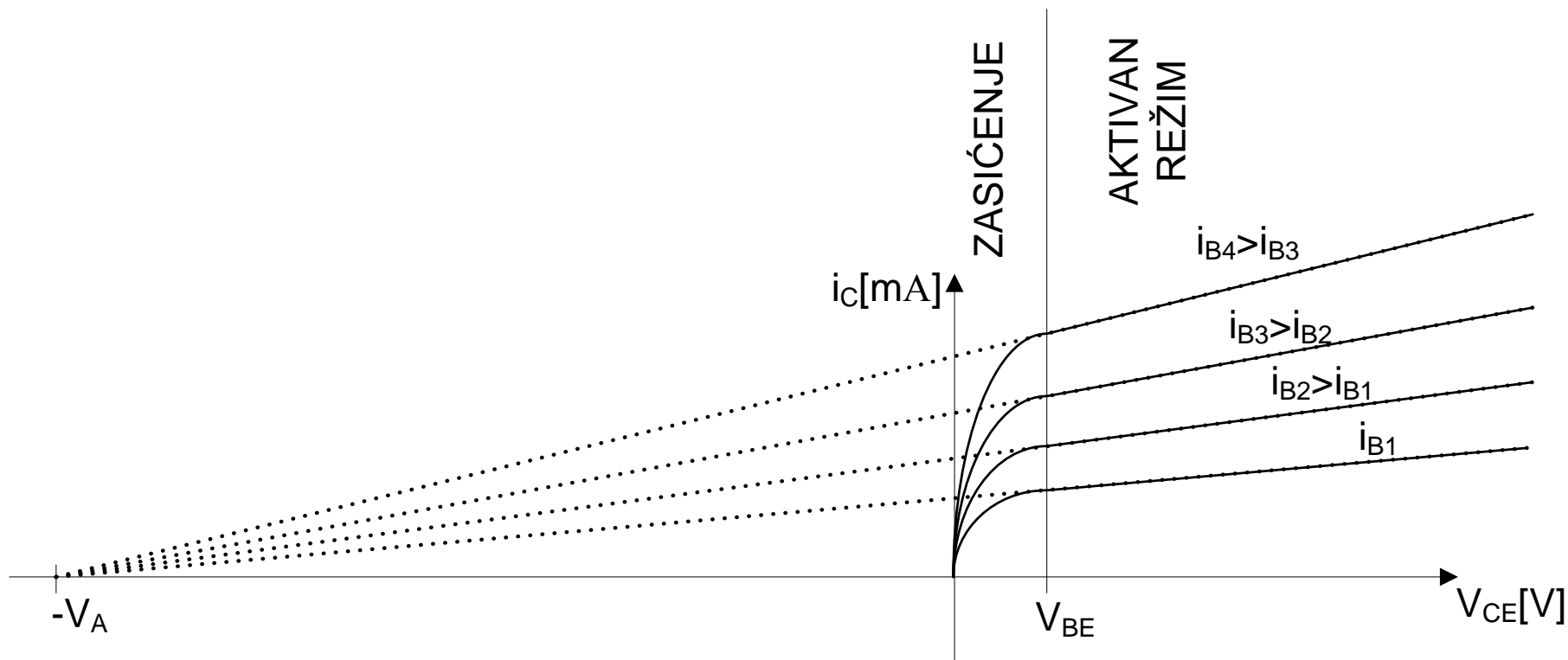
Ulazna karakteristika tranzistora sa zajedničkim emitorom



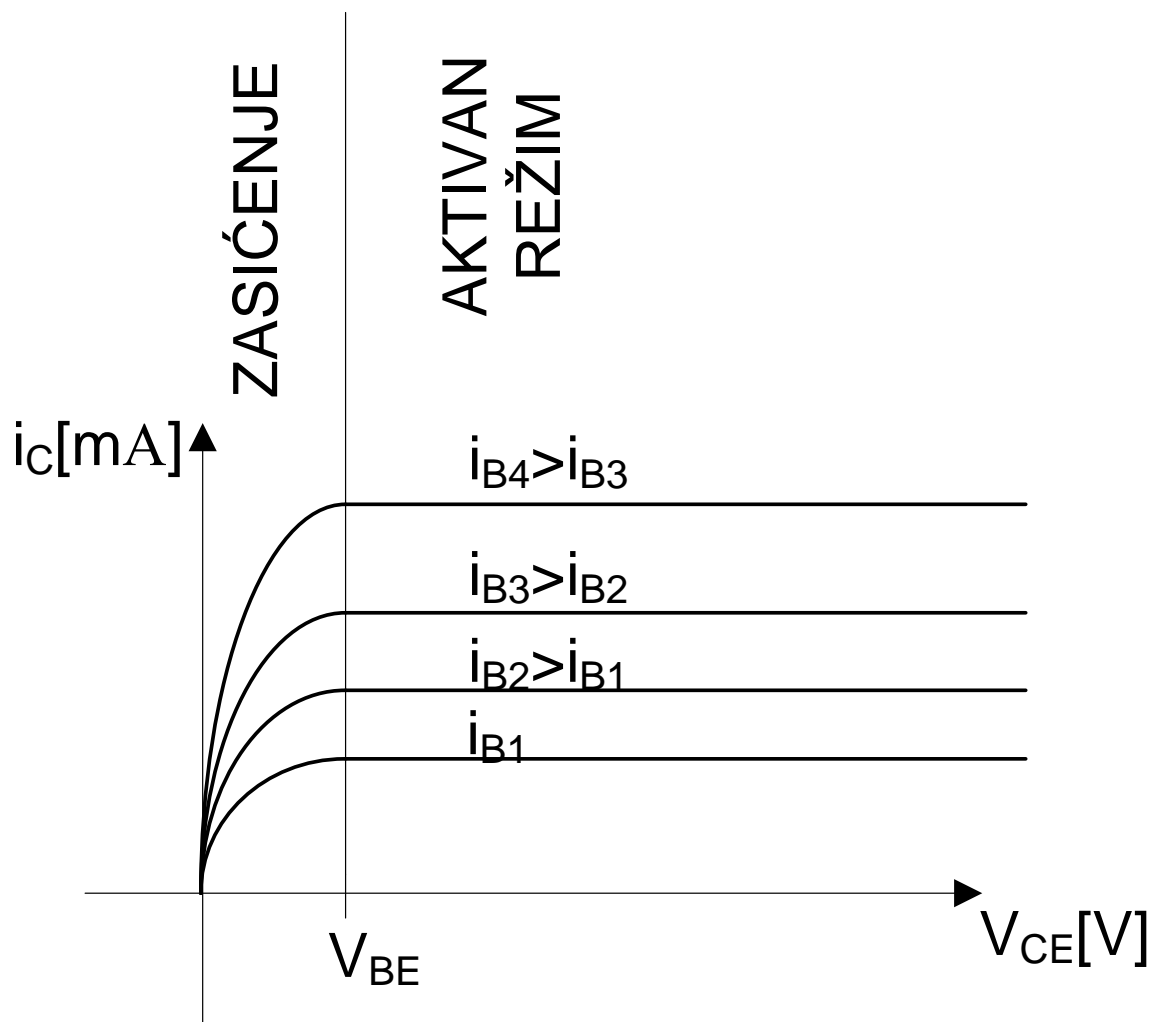
Prenosna karakteristika tranzistora sa zajedničkim emitorom



Realna izlazna karakteristika tranzistora sa zajedničkim emitorom



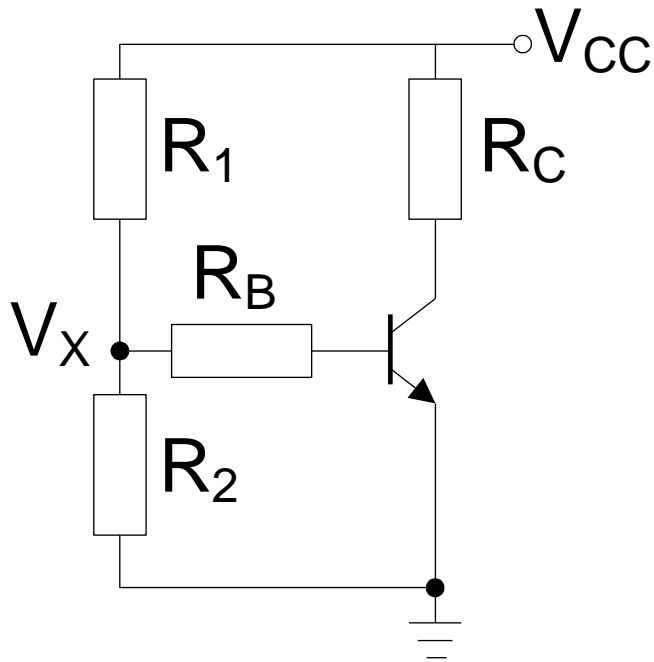
Idealizovana izlazna karakteristika tranzistora sa zajedničkim emitorom



Polarizacija tranzistora

- **Pod polarizacijom se podrazumeva priključenje tranzistora na jednosmerne napone tako da tranzistor radi u željenom režimu**
- **Ako je cilj aktivni režim spoj kolektor – baza mora biti polarisan inverzno, a baza emiter direktno**

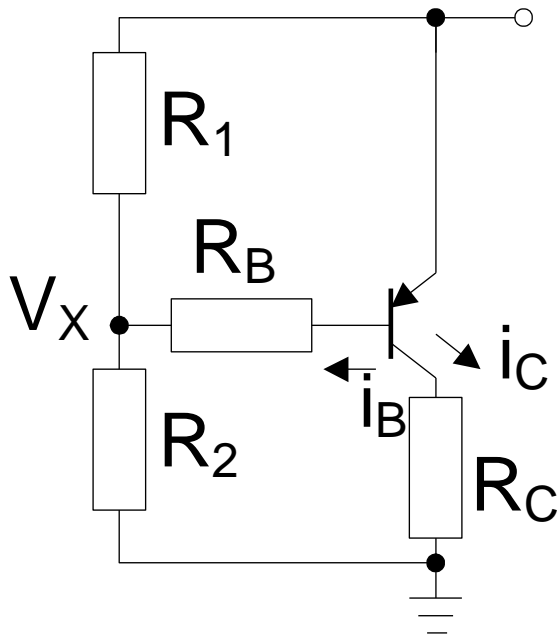
Polarizacija NPN tranzistora jednom baterijom



$$R_2 \ll R_B \quad V_X = \frac{V_{CC}}{2} \quad i_B = \frac{V_X - 0,6V}{R_B}$$

$$R_B = 10k\Omega \quad i_C = \beta i_B \quad R_1 = R_2 = 1k\Omega$$

Polarizacija PNP tranzistora jednom baterijom



$$R_2 \ll R_B \quad V_X = \frac{V_{CC}}{2} \quad i_B = \frac{V_X - 0,6V}{R_B}$$

$$R_B = 10k\Omega \quad i_C = \beta i_B \quad R_1 = R_2 = 1k\Omega$$

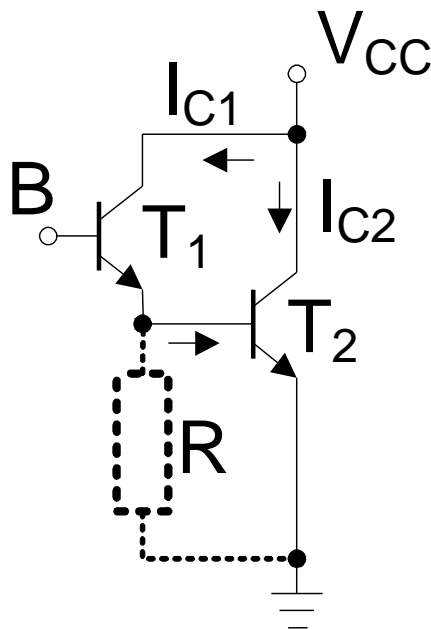
Polarizacija Darlingtonove sprege tranzistora

- Da bi se povećalo strujno pojačanje β , tranzistori se povezuju u speregu, koja se naziva Darlingtonova sprega tranzistora
- Pošto je emitor ulaznog tranzistora direktno povezan na bazu izlaznog tranzistora, ukupno pojačanje Darlingtonove sprege jednako je proizvodu pojedinačnih strujnih pojačanja $\beta_e = \beta_1 \beta_2$
- Da bi Darlingtonova sprega imala veliko pojačanje i pri malim i pri velikim strujama, poželjno je staviti otpornik između baze i emitora izlaznog tranzistora
- Zadatak ovog otpornika je da dozvoli uključenje izlatnog tranzistora tek kad kolektorska struja ulaznog tranzistora dostigne vrednost

$$I_{C1} = \frac{V_{BET}}{R}$$

- Otpornik R ujedno doprinosi temperaturnoj stabilnosti, i omogućava brže rasterćenje sporednih nosilaca iz baze, odnosno omogućava brže isključenje

Polarizacija Darlingtonove sprege tranzistora



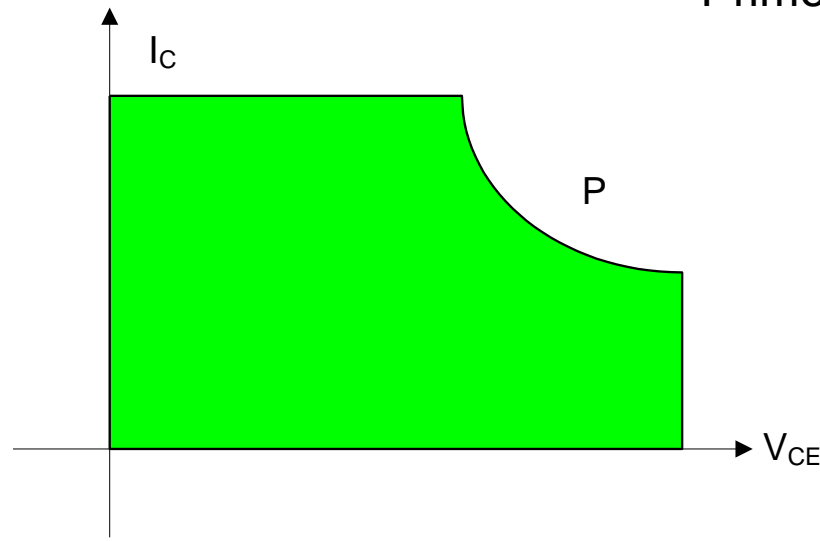
- Nedostatak darlingtonove sprege je taj što mu je napon uključenja $2V_{BE} = 1,2V$
- Kod zasićenja najniži napon saturacije mu je $V_{CES2} = 0,7V$ ($V_{CES2} = V_{BE2} + V_{CES1}$), što mu unekoliko ograničava primenu u energetsnoj elektronici

Oblast sigurnog rada tranzistora

Postoje tri ograničenja o kojim treba voditi računa prilikom primene tranzistora, i to su:

- Naponsko ograničenje da napon kolektor baza ne pređe napon proboja V_{CEBDV}
- Strujno ograničenje - struja kroz tranzistor stvara disipaciju kroz isti, pa se mora voditi računa o tome da struja ne pređe granične vrednosti (kataloški ih zadaje proizvođač) I_{cmax}
- Ograničenje po snazi - važno je da se tranzistor ne optereti preko ograničenja po snazi (proizvodu napona i struje) u skladu sa specifikacijom proizvođača

Primeri: [2N3055](#), [PN2369](#)

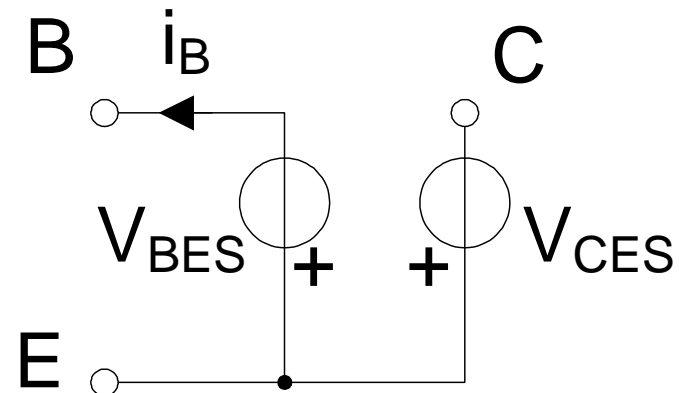
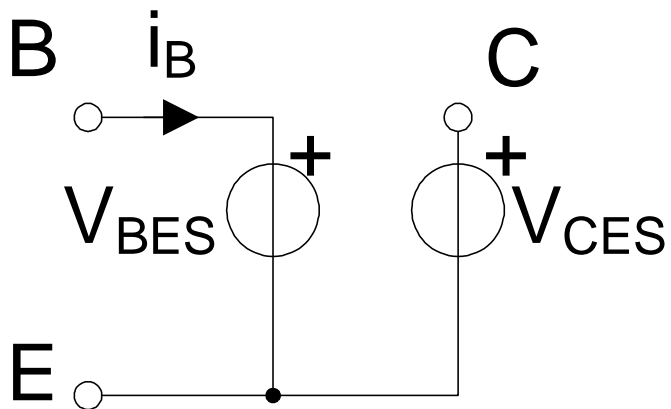


Zasićenje bipolarnog tranzistora

- Do zasićenja u radu bipolarnog tranzistora dolazi kada se oba PN spoja direktno polarišu
- U praksi, to se događa kada struja kolektora na otporniku u kolektorskoj grani stvori dovoljan pad napona da razlika između napona baterije V_{CC} i pada napona na otporniku u kolektorskoj grani bude jednaka naponu kolektor – emiter saturacije, koji tipično iznosi $V_{CES}=0,2V$
- Napon baza – emiter kada je tranzistor u saturaciji je tipično $V_{BES}=0,7V$
- Napon kolektor baza je tada
- $V_{CBS} = V_{CES} - V_{BES} = 0,2V - 0,7V = - 0,5V$
- Kolektor je na potencijalu za 0,5V nižem od potencijala baze, što za NPN tranzistor znači da je i spoj baza – kolektor direktno polarisan

Zasićenje bipolarnog tranzistora

- Usled velike koncentracije elektrona kao sporednih nosilaca naelektrisanja u bazi NPN tranzistora, smanjuje se gradijent, a sa njime i struja kolektora
- Pojačanje bazne struje više ne iznosi nekoliko stotina puta kao kod aktivnog režima, već 1 do 2 puta, a može se desiti da bazna struja bude veća od kolektorske u slučaju duboke saturacije



Zakočenje bipolarnog tranzistora

- **Bipolarni tranzistor je zakočen kada su oba PN spoja inverzno polarisana, odnosno kada je napon baza – emiter manji od napona praga $V_{BE} < 0,5V$**
- **Tada se sve tri elektrode modeluju kao međusobno nespojene (nulte struje između bilo koje dve elektrode)**

Bipolarni tranzistor u inverzno aktivnom režimu

- **Bipolarni tranzistor radi u inverzno aktivnom režimu kada je spoj baza – emiter inverzno polarisan, a spoj baza – kolektor direktno**
- **Tada je strujno pojačanje znatno manje nego u aktivnom režimu zbog slabije dopiranosti kolektora u odnosu na emiter**
- **Ovaj režim biće obrađen u okviru predavanja o logičkim kolima**

Prekidački režim rada tranzistora

- Kada se koristi u impulsnom režimu, kao prekidač, tranzistor treba da brzo promeni stanje iz zakočenja (neprovodno stanje) u saturaciju (provodno stanje) i obrnuto u skladu sa kontrolnim naponom koji se dovodi na bazu
- Vreme kašnjenja t_d je vreme potrebno da bazna struja napuni kapacitivnost PN spoja baza – emiter do napona praga V_{BET}
- Kada je PN spoj baza – emiter na naponu praga V_{BET} , kolektorska struja I_C počinje da raste eksponencijalno i potrebno je da prođe vreme uspona t_r dok ne dostigne 90% svoje nominalne vrednosti
- Vreme uključanja jednako je zbiru vremena kašnjenja t_d i vremena uspona t_r , $t_i = t_d + t_r$
- Kod isključenja, prvo je potrebno da bazna struja krene na suprotnu stranu dok ne izvuče višak sporednih nosilaca iz baze
- To je vreme rasterećenja (storage time) t_s . Po isteku t_s , potrebno je da prođe vreme opadanja t_f da bi isključeni PN spoj baza – emiter isključio struju kolektora I_C koja eksponencijalno opada
- Vreme isključenja jednako je zbiru vremena rasterećenja t_s i vremena opadanja t_f , $t_i = t_s + t_f$

