

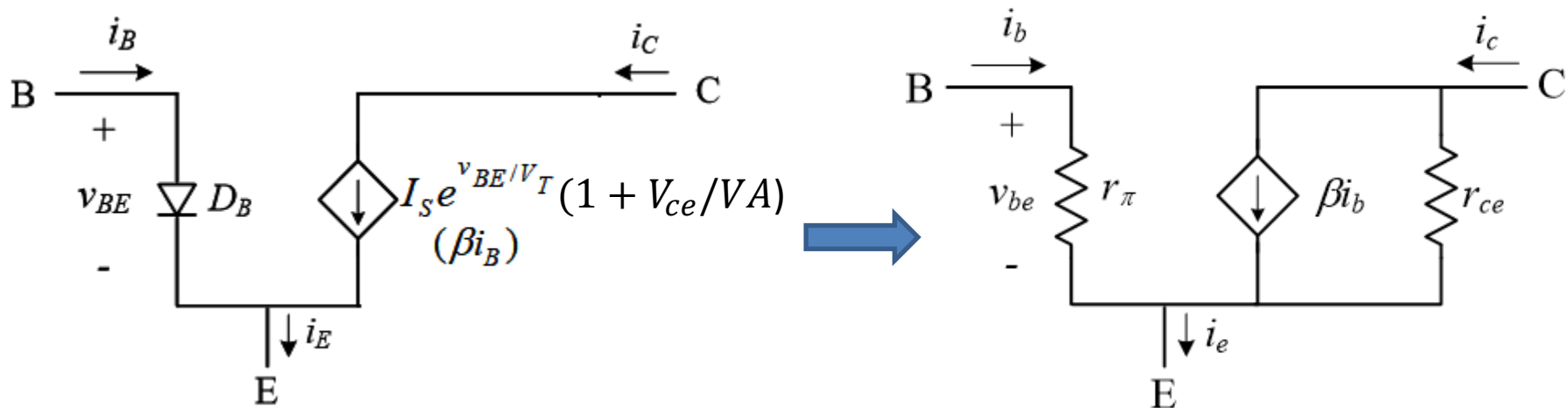
# Osnovi analogne elektronike

prof. Dr Nenad Jovičić

nenad@etf.rs

# Bipolarni tranzistori

- Model tranzistora za male signale



# Bipolarni tranzistori

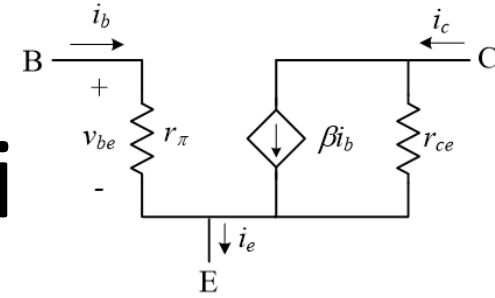
- **Model tranzistora za male signale**

- Znamo da odredimo jednosmerne struje i napone, ali problem se javlja kada postoje promenljivi signali, na primer malo  $v_u$
- Može se koristiti opšti model (za velike signale), ali u njemu dioda... analitičko rešavanje problematično
- Uprošćavanje ako se pretpostavi da su promene signala male, kada smatramo da su karakteristike tranzistora linearne
  - Zato se ovaj model naziva model za male signale

# Bipolarni tranzistori

- **Model tranzistora za male signale**
  - Pretpostavimo da su karakteristike tranzistora u okolini mirne radne tačke linearne, i onda možemo da sve signale rastavimo na jednosmerne i promenljive.
    - Tada može superpozicija (linearna kola), i posebno računanje jednosmernih i promenljivih signala.
      - Ukupni signal se dobija na kraju, sabiranjem jednosmernih i promenljivih signala.

# Bipolarni tranzistori



- **Model tranzistora za male signale**

- Ukupni signali  $i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$ ,  $i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$

- Ulazna otpornost tranzistora za male signale  $r_\pi$  (dinamička)

$$\frac{1}{r_\pi} = \left. \frac{di_B}{dv_{BE}} \right|_Q = \left. \frac{i_b}{v_{be}} \right|_Q = \left. \frac{d}{dv_{BE}} \left( \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \right) \right|_Q$$

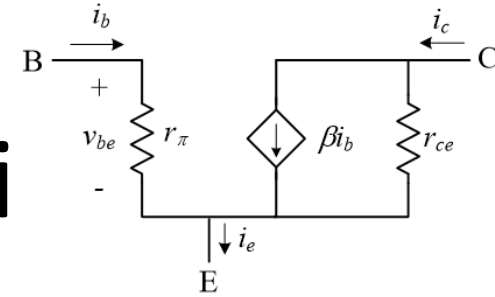
$$= \frac{1}{\beta} \frac{1}{V_T} \left( I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \right) \Big|_Q = \frac{I_{CQ}}{\beta V_T}$$

$$r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}$$

- Vidi se da zavisi od položaja radne tačke, odnosno  $I_{CQ}$

- Kod diode bilo  $r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}}$

# Bipolarni tranzistori

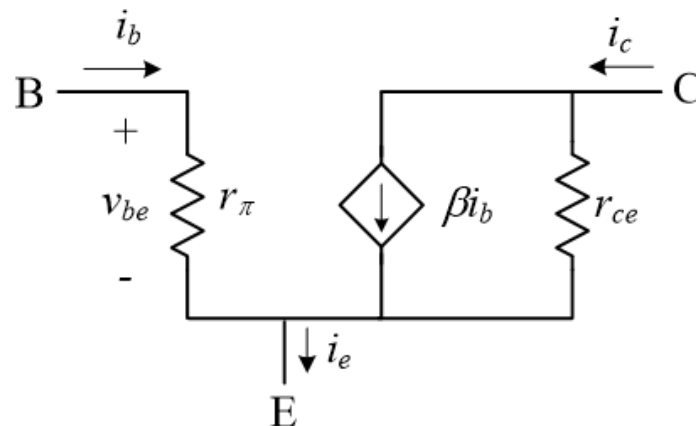


- **Model tranzistora za male signale**

- Tako smo modelovali ulazno kolo
- Za modelovanje prenosa se koristi opšti model, promena  $i_B$  dovodi do  $\beta$  puta veće promene  $i_C$ , što se predstavlja strujnim pojačanjem
- Usled Erlijevog efekta,  $v_{CE}$  utiče na  $i_C$ , što se predstavlja otpornikom  $r_{ce}$
- Smerovi struja  $i_c$  i  $i_c$  vezani, ili u emitor ili obe iz emitora

# Bipolarni tranzistori

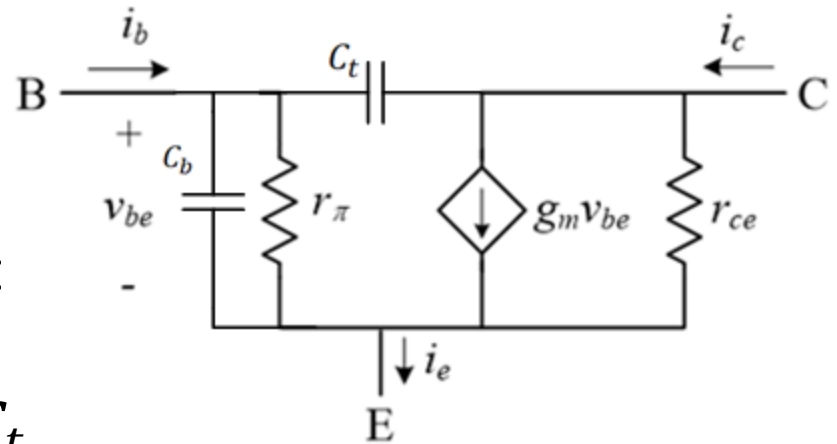
- **Model tranzistora za male signale**
  - Model se naziva uprošćeni  $\pi$  model
  - Važi i za NPN i za PNP tranzistore
    - Promena samo malo menja signal (povećava i smanjuje), ali znak ukupnog signala se ne menja



# Bipolarni tranzistori

- **Ekvivalentno kolo tranzistora za visoke učestanosti**
- Ako su promene ulaza brze, poredive sa brzinom fizičkih procesa, prethodni modeli nisu dobri
- Hibridni  $\pi$  model

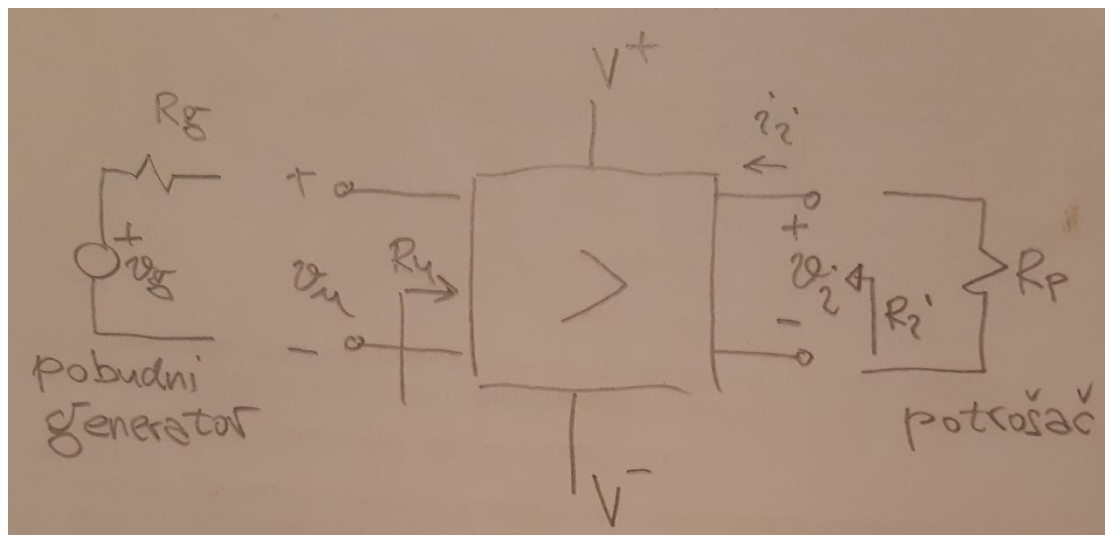
- Između B i E kapacitivnost  $C_b$  koja predstavlja dif kapacitivnost dir polarisanog BE spoja
- Između B i C kapacitivnost  $C_t$  koja predstavlja kapacitivnost oblasti prostornog tovara inverzno polarisanog BC spoja
- Obe vrednosti zavise od položaja mirne radne tačke tranzistora





# Osnovne karakteristike pojačavača

- Pojačavač se može prikazati kao mreža sva dva para priključaka, ulazom i izlazom
- Signal na izlazu pojačana kopija ulaznog  $v_i(t) = Av_u(t)$  ( $A$  je pojačanje). Funkcija linearna, pa je pojačavač linearan
- Pojačavač linearan ako odnos promena signala na izlazu i ulazu ne zavisi od nivoa signala
  - Relativne promene ulaza i izlaza su jednake
- Ako u funkciji ima članova višeg reda, pojačavač je nelinearan
- Na ulaz pojačavača se povezuje pobudni generator koji može imati unutrašnju otpornost, na izlaz potrošač
- Pojačavač ima ulaznu i izlaznu otpornost
- Potreban izvor energije, zato pojačavač ima i **napajanje**



# Osnovne karakteristike pojačavača

- **Statička funkcija prenosa idealnog pojačavača**

- Na ulaz se dovodi jednosmerni napon  $V_U$  i meri  $V_I$ .

- Naponsko pojačanje

$$A_v = \left. \frac{dv_I}{dv_U} \right|_Q = \frac{v_i}{v_u}$$

- Strujno pojačanje

$$A_i = \frac{i_i}{i_u}$$

- Pojačanje snage

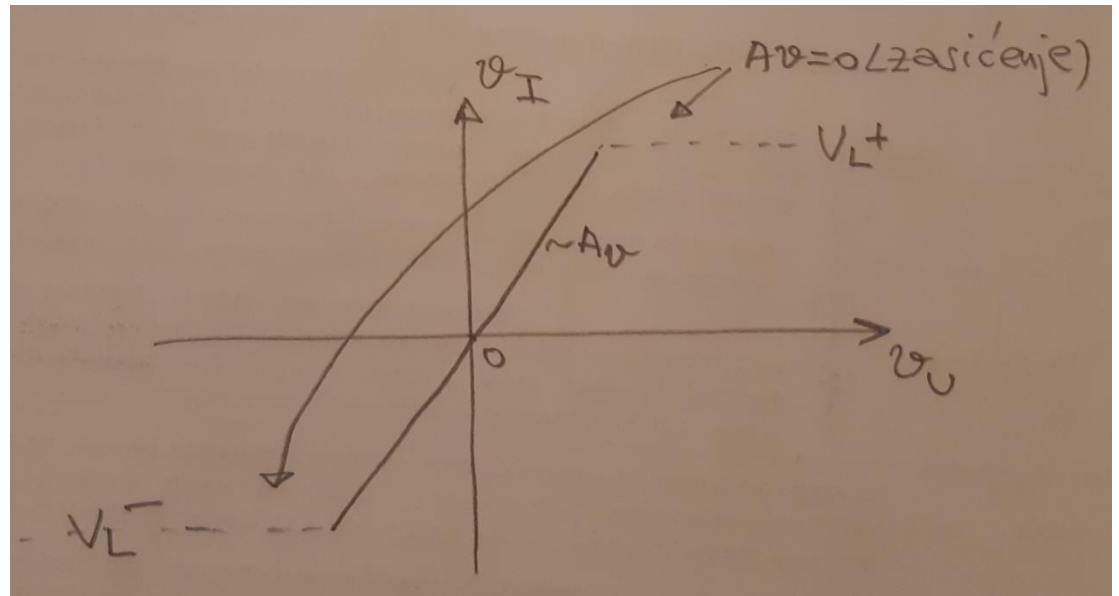
$$A_p = p_i/p_u$$

- Ulazna otpornost

$$R_u = \frac{v_u}{i_u}$$

- Izlazna otpornost

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}, \text{ uz } v_g = 0, \text{ koristi se test generator povezan na izlaz}$$

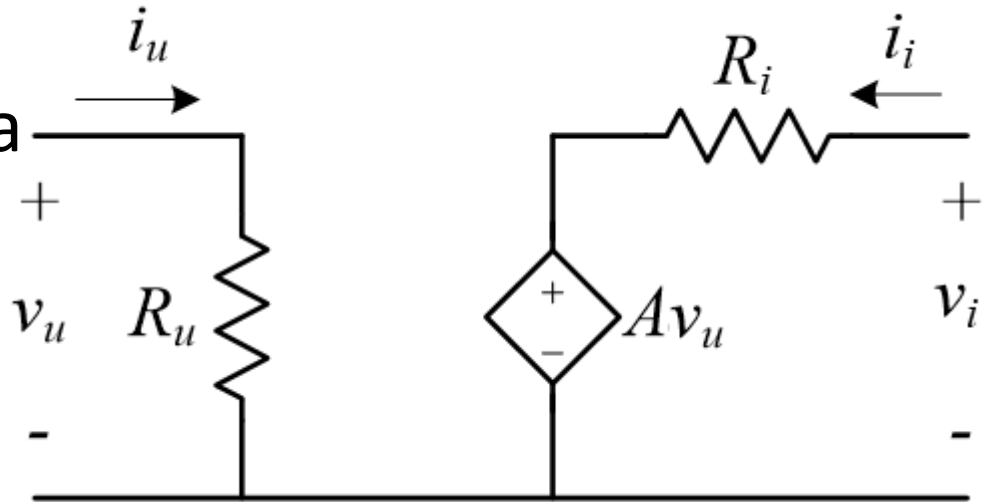


# Osnovne karakteristike pojačavača

- **Model pojačavača**

- Pretpostavka da nema prenosa signala sa izlaza do ulaza

- Na izlazu postoji Thevenenovo ekvivalentno kolo



- $A$ : naponsko pojačanje otvorenog kola

- Kada nema opterećenja  $v_i = A \cdot v_u$

- Sa opterećenjem  $R_P$   $v_i = Av_u \frac{R_P}{R_P + R_i}$

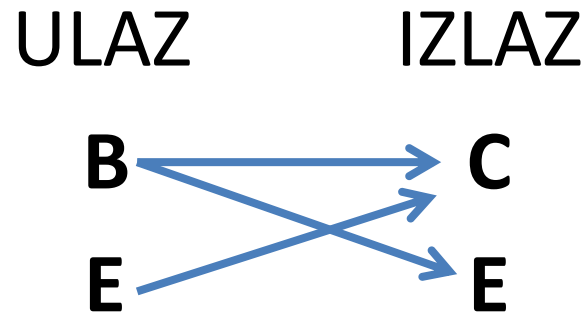
$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = A \frac{R_P}{R_P + R_i}, \text{ a kada } R_i \rightarrow 0 \text{ } A_v = A$$

# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

- Pojačavač ima po dva ulazna i izlaza priključka, a tranzistor ukupno 3.
  - Zato jedan od priključaka zajednički za ulaz i izlaz
- Šta ima smisla da bude ulaz, šta izlaz?
  - Nema svrhe da kolektor bude ulaz, tu je inverzno polarisani C-B spoj, nema efekta
  - Nema svrhe da baza bude izlaz, jer je struja baze mala, pa je i raspoloživa izlazna snaga mala

# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

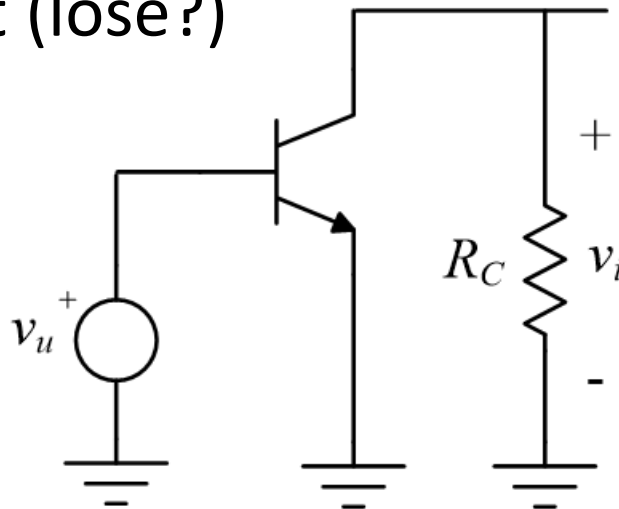
- Ostaju kombinacije:



- Priljučak koji nije ni ulaz ni izlaz je referentni ili **zajednički** priključak

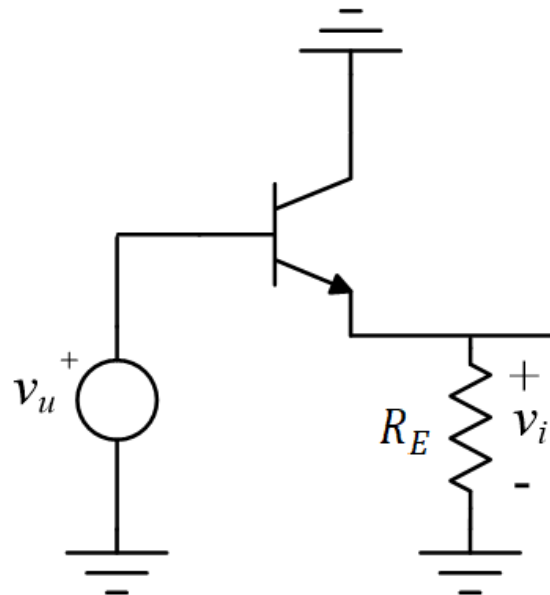
# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

- Stepen sa zajedničkim emiterom
  - Najčešće korišćena „sprega“
  - Veliko strujno i naponsko pojačanje (dobro), osrednja ulazna otpornost (?), velika izlazna otpornost (lose?)



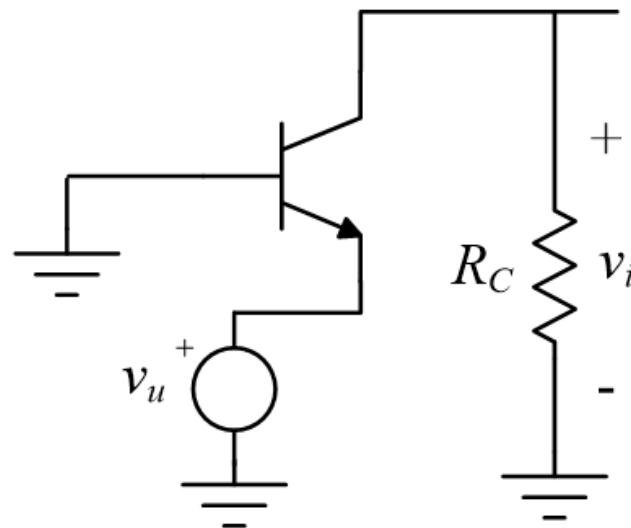
# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

- Stepen sa zajedničkim kolektorom
  - Naponsko pojačanje manje od i teži 1 (lose ?), veliko strujno pojačanje (dobro), velika ulazna otpornost (dobro), mala izlazna otpornost (dobro)



# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

- Stepen sa zajedničkom bazom
  - Veliko naponsko pojačanje (dobro), strujno pojačanje manje od i teži 1 (lose ?), mala ulazna otpornost (lose?), velika izlazna otpornost (dobro?)



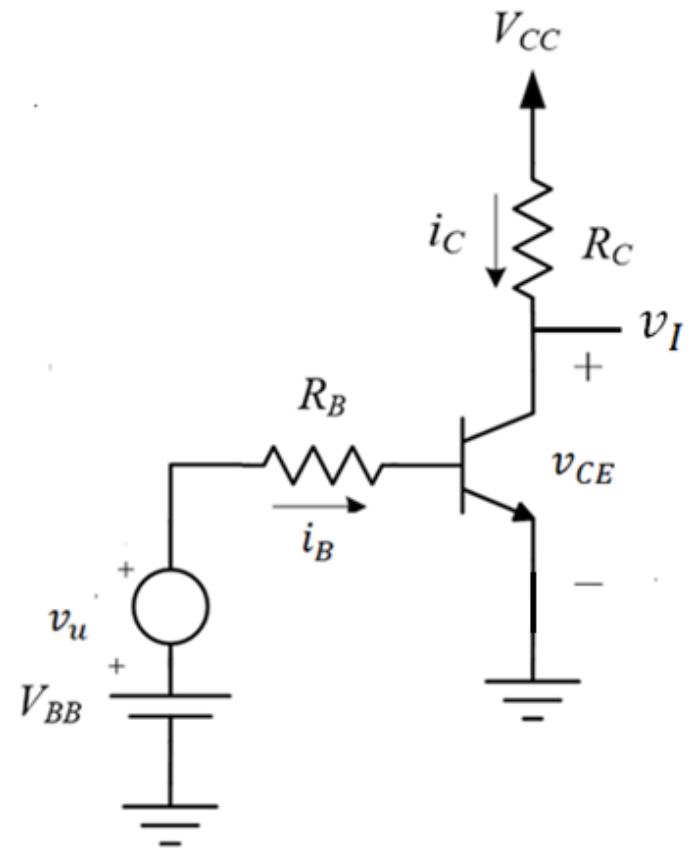


# Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorima

- **Polarizacija tranzistora, radna prava i radna tačka**
  - Da bi tranzistor radio kao pojačavač (aktivan režim), spoj BE direktno polarisan, spoj BC inverzno polarisan.

# Polarizacija tranzistora, radna prava i radna tačka

- Da bi tranzistor radio kao pojačavač (aktivan režim), spoj BE treba da bude direktno polarisan, a spoj BC inverzno polarisan.



# Polarizacija tranzistora

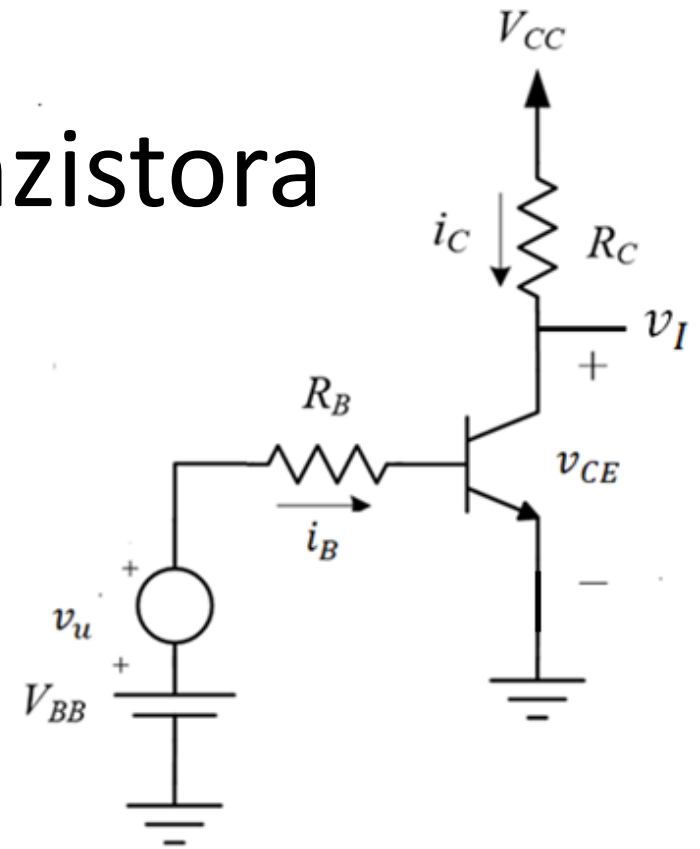
- Polarizacija tranzistora pomoću **dva izvora** napajanja, konfiguracija SZE
- Za jednosmerne napona i struje:

- Bazno kolo:  $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$ ,  
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

Struja baze se podešava pomoću otpornosti  $R_B$

- Kolektorsko kolo:  $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \text{ (radna prava)}$$

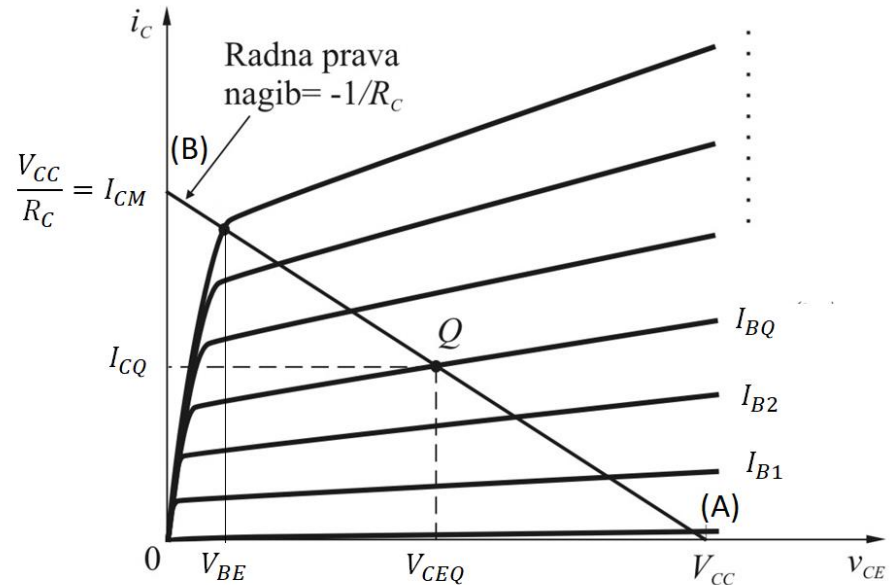


# Radna prava

- Radna prava

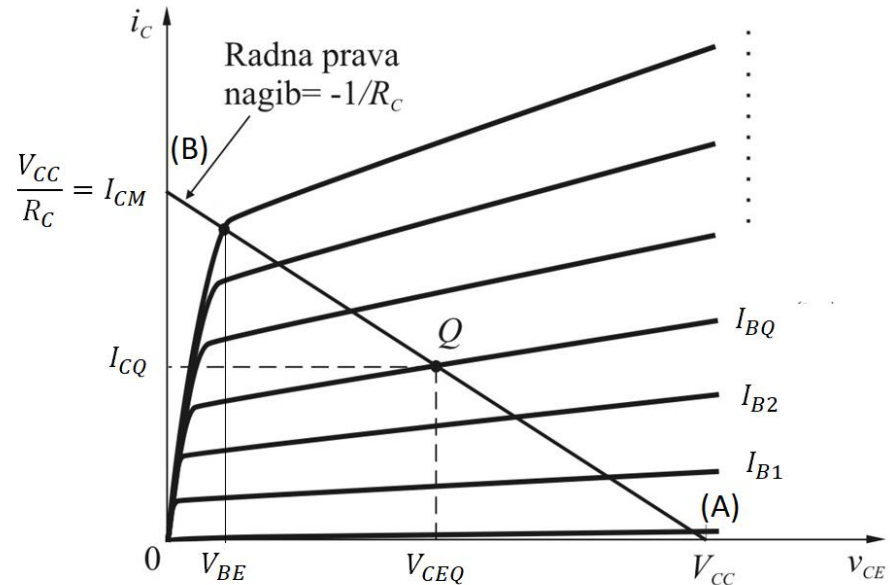
$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

se crta preko dijagrama  
izlaznih statičkih  
karakteristika tranzistora



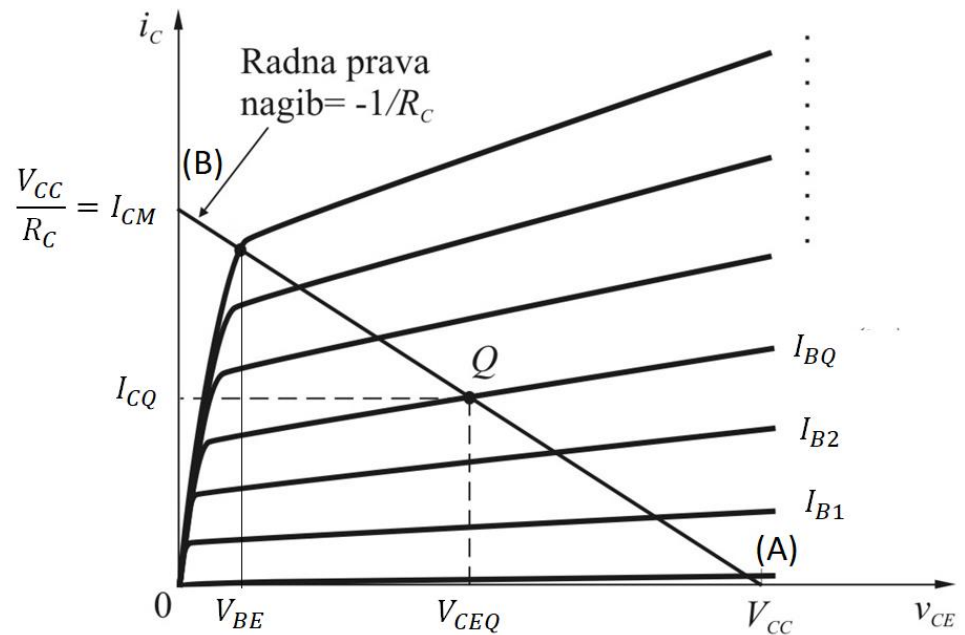
# Radna prava

- Karakteristične tačke:
  - Tačka (A) kada se tranzistor isključuje:  
 $i_C = 0 \Rightarrow v_{CE} = V_{CC}$
  - Tačka (B) kada tranzistor ulazi u zasićenje:  $v_{CE} \approx 0 \Rightarrow$   
 $i_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$  (maksimalna struja  $I_{CM}$ )

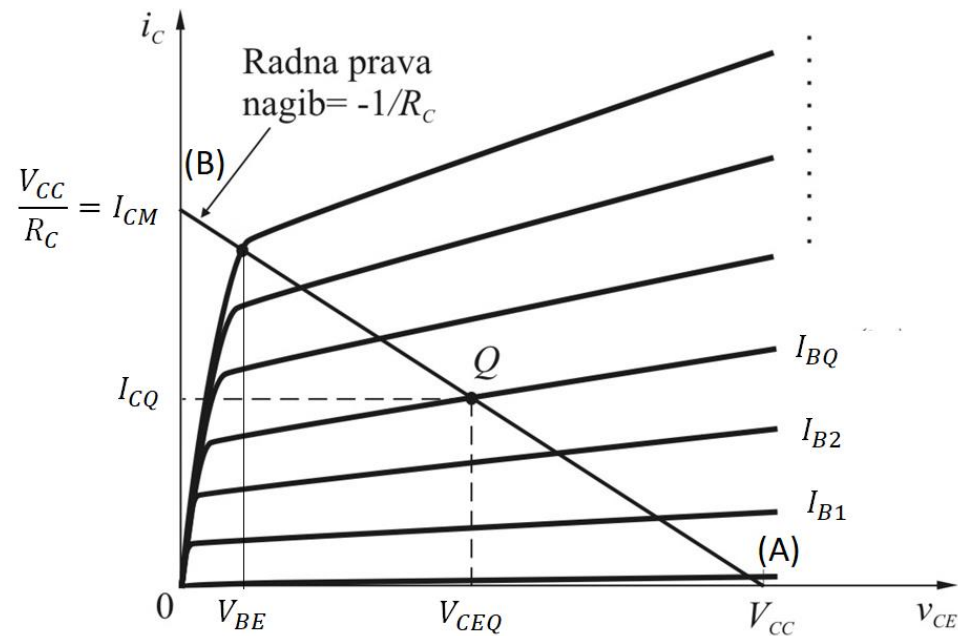
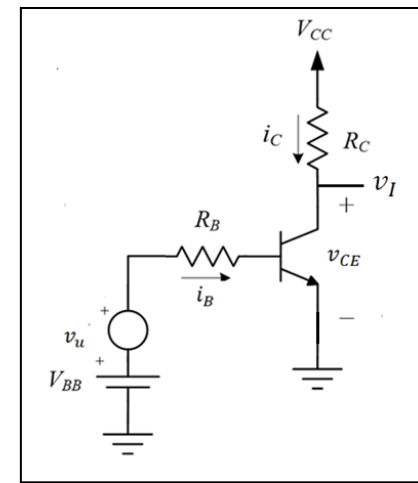


# Radna tačka

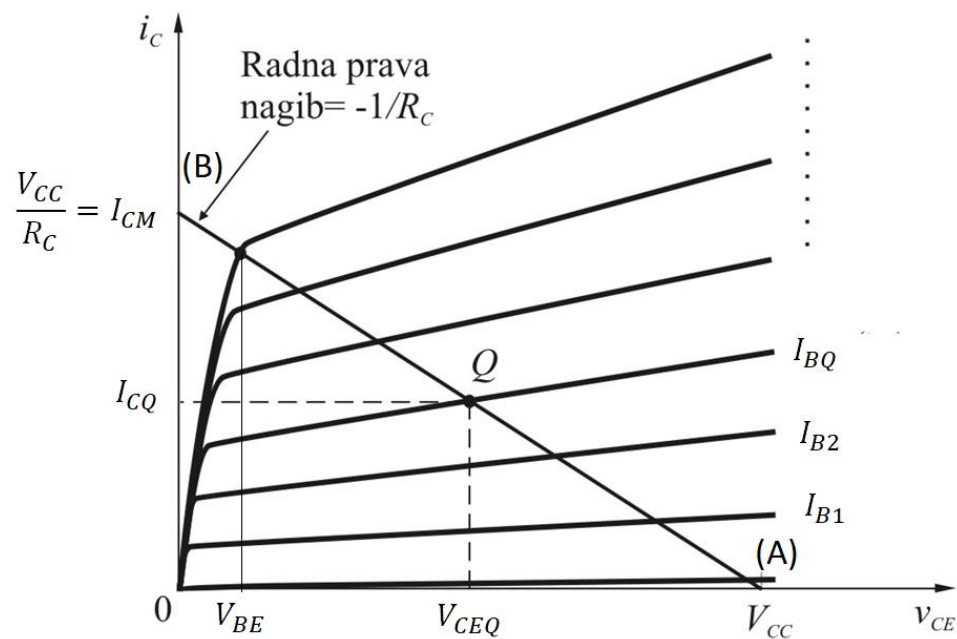
- Radna tačka  $Q(V_{CEQ}, I_{CQ})$  u preseku radne prave i odgovarajuće karakteristike (odgovara struji baze)



# Šta se dešava kada se pojave „mali“ signali?



# Gde postaviti radnu tačku?





# Optimalno postavljena radna tačka

- Da bismo imali najveće moguće promene napona i struje **simetrično oko radne tačke** (i u poz. i u neg. smeru), radna tačka se postavlja na sredinu radne prave.
- Tada je  $I_{CQ} = \frac{I_{CM}}{2}$ ,  $V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2}$
- Potrebna bazna struja  $I_{BQ}$  se izračuna ili odredi sa karakteristika, i onda podese otporikom  $R_B$ .
- Postoji potencijalni problem, dva naizgled ista tranzistora nemaju identično  $\beta$ , pa ista bazna struja neće „napraviti“ istu struju kolektora u ta dva slučaja...

# Polarizacija može i na neki drugi način

