

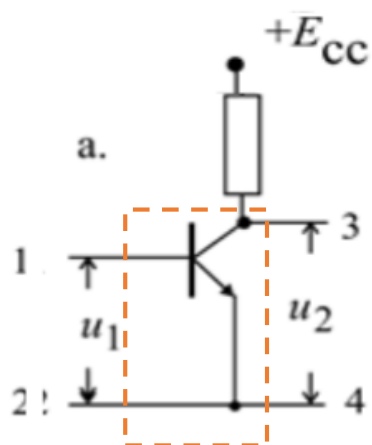
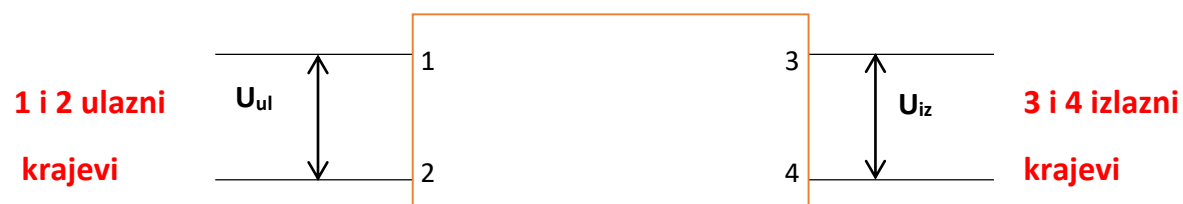
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Predmet Elektronika u geodeziji

Nastavnik dr Ljiljana Brajović

Predavanje 4 Poluprovodnici 2

U elektronskim kolima tranzistor se tretira kao četvoropol



Jedna elektroda je zajednička i za ulazni i za izlazni kraj

← Veza sa zajedničkim emiterom

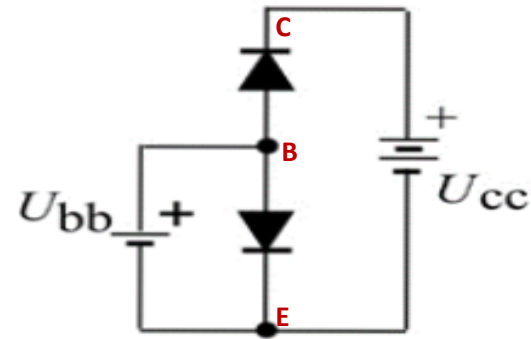
PRINCIP RADA TRANZISTORA

- tranzistor se praktično sastoji od dve diode, tj dva PN spoja :

BE (baza - emiter) i

CB (kolektor- baza)

svaki može biti direktno i inverzno polarisan



Moguća su 4 slučaja režima rada :

1. Spoj BE –direktno
Spoj CB – direktno

Tranzistor radi u zasićenju

Tranzistor propušta svu struju koja se dovodi između njegovih krajeva

Analogija : otvorena slavina crevu kroz koje protiče voda

1. Spoj BE –direktno
Spoj CB – inverzno

Tranzistor radi u aktivnom režimu

Struja kroz tranzistor se može kontrolisati

Analogija : pomoću slavine se reguliše protok kroz crevo

3. Spoj BE –inverzno
Spoj CB – inverzno

Tranzistor radi u zakočenju

Tranzistor ne propušta direktnu struju već samo zanemarljivu inverznu struju u suprotnom smeru

Analogija : zatvoreni ventil na crevu koji sprešava protok vode kroz crevo

4. Spoj BE –inverzno
Spoj CB – direktno

Obrnuti tranzistor , slično radi kao u aktivnom režimu ali ima slabije karakteristike jer E i C nisu pri izradi tranzistora simetrični.

Aktivni režim

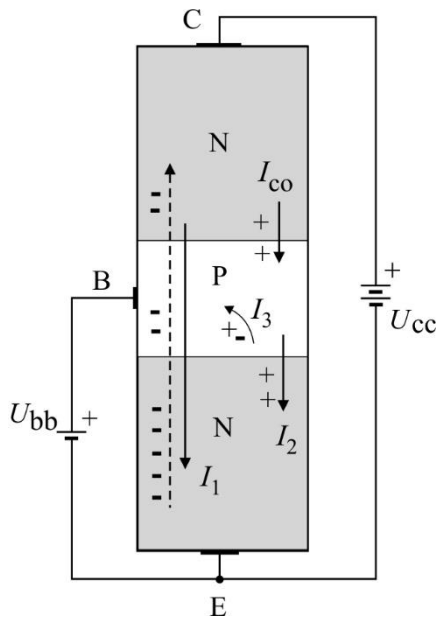
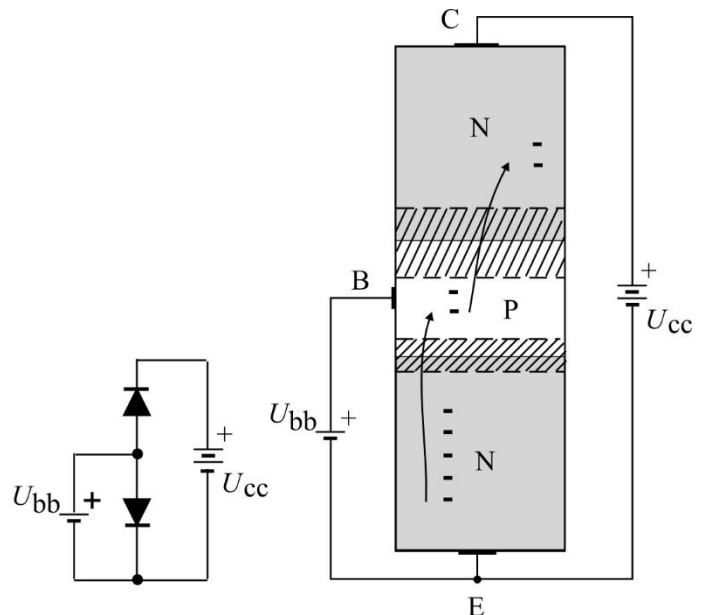
Primer NPN

-Izvori U_{bb} i U_{cc} omogućavaju polarizacije PN spojeva

-Spoj BE direktna polarizacija, **Plus izvora U_{bb} na B, a minus na E.**

- $U_{cc} > U_{bb}$ pa je napon $U_{CB} = U_{cc} - U_{bb} > 0$
pa je C na većem potencijalu od B i spoj je inverzno polarisan

-Zbog direktne polarizacije BE elektroni iz emitera prelaze u bazu gde se rekombinuju sa šupljinama. P oblast je mnogo uža od N i mnogo elektrona ostane nerekombinovano (95%).



-Elektroni u bazi postaju sporedni nosioci,

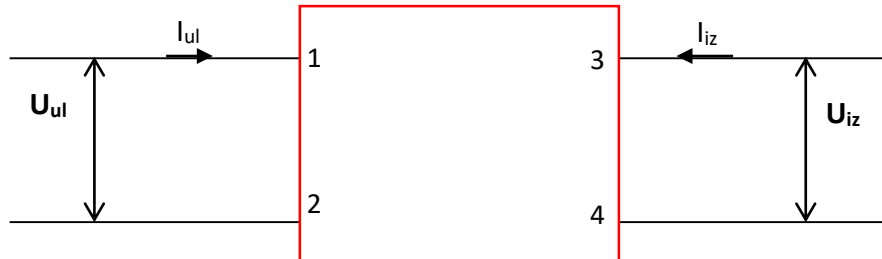
-Kako je CB inverzno polarisan u njemu mogu se nesmetano kreću sporedni nosioci, pa nagomilani elektroni iz baze mogu slobodno da prelaze u kolektor C

Ovi elektroni čine glavnu struju I_1 kroz tranzistor između emitera i kolektora. (tehnički smer struje obrnut od smera elektrona)

Pored elektrona i šupljine kao sporedni nosioci iz C mogu da se kreću u bazu, a u bazi postaju glavni i idu nesmetano ka emiteru. Ovo je sporedna struja I_{co} i naziva se inverzna struja zasićenja.

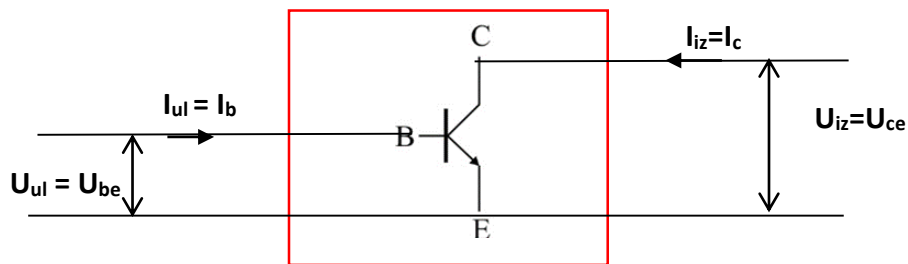
KARAKTERISTIKE TRANZISTORA

Svaki element sa četiri kraja ima ulazne i izlazne karakteristike koje su vezane za izlazne struje i napone



Ove karakteristike predstavljaju zavisnost dve od ovih veličina dok se treća održava konstantnom

Tranzistor sa zajedničkim emiterom



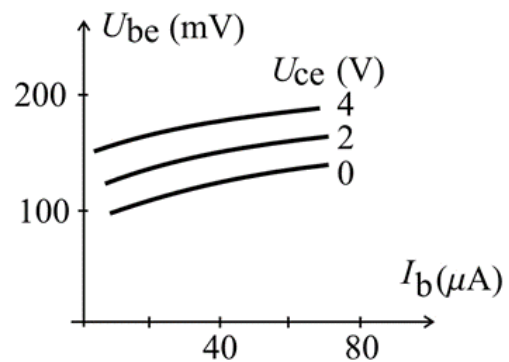
Ulazna karakteristika

-predstavlja familiju krivih :

$$U_{ul} = f(I_{ul}) \quad \text{za} \quad U_{iz} = \text{const}$$

Za tranzistor:

$$U_{be} = f(I_b) \quad \text{za} \quad U_{ce} = \text{const}$$



(ako se nacрта $I_b(U_{be})$ predstavlja karakteristiku direktno polarizovane diode)

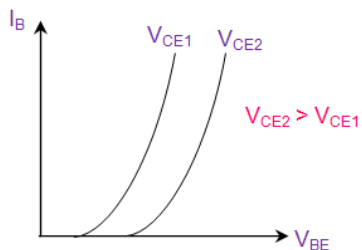
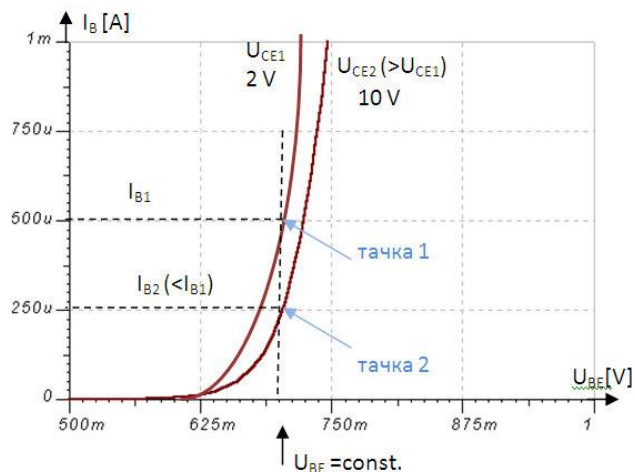


Figure 10 Input Characteristics for CE Configuration



Izlazna karakteristika

$$I_{iz} = f(U_{iz}) \quad za \quad I_{ul} = const.$$

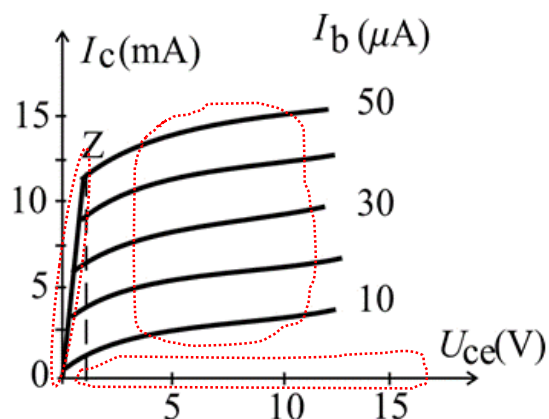
Za tranzistor:

$$I_c = f(U_{ce}) \quad za \quad I_b = const.$$

- pri konstantnoj vrednosti struje baze, vrednost kolektorske struje ulazi u zasićenje pri određenoj promeni napona između kolektora i emitera U_{ce} .

Familija izlaznih statičkih karakteristika tranzistora može se podeliti u tri oblasti:

aktivnu oblast, oblast zasićenja i oblast zakočenosti.



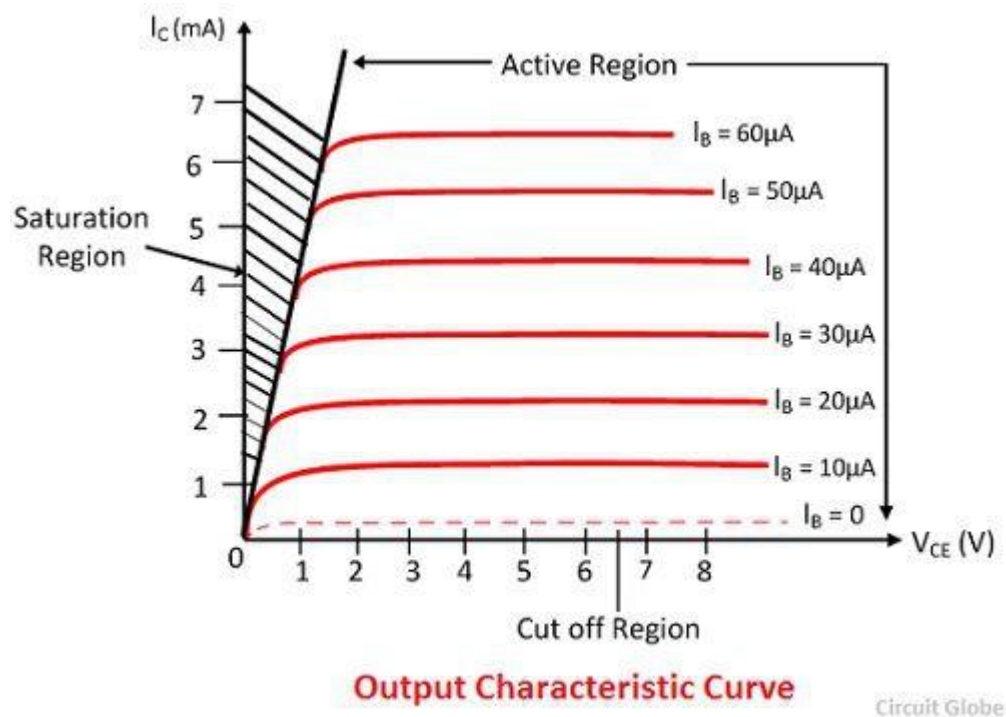
1. **Aktivna oblast** se nalazi u domenu napona $U_{ce} > 0,2 \text{ V}$ i iznad karakteristike za $I_b = 0$.

- vrednost kolektorske struje menja se linearno u funkciji promene vrednost struje baze.

-tranzistorski pojačavač se podešava da radi u aktivnoj oblasti podesiti u aktivnoj oblasti,

2. **Oblast zasićenja** tranzistora se javlja pri veoma malim vrednostima napona U_{ce} .

- izlazne karaktersitika, se stapaju u jednu zajedničku krivu (deo krive od O do Z).

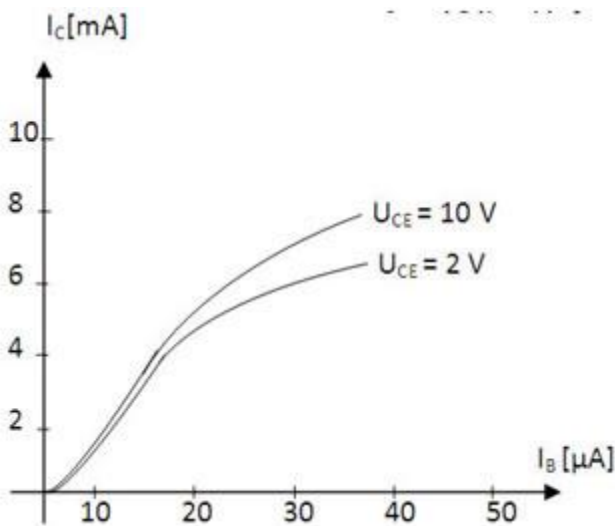


3. **Oblast zakočenosti** tranzistora nastaje kada je vrednost struje emitera jednaka nuli ($I_e = 0$), tj.,

vrednost kolektorske struje se svodi samo na vrednost inverzne struje zasićenja kolektorskog spoja I_{CO} (reda μA za Ge i reda nA za Si)

Prenosne karakteristike

- Povezuju ulazne i izlazne veličine



a) direktna prenosna karakteristika

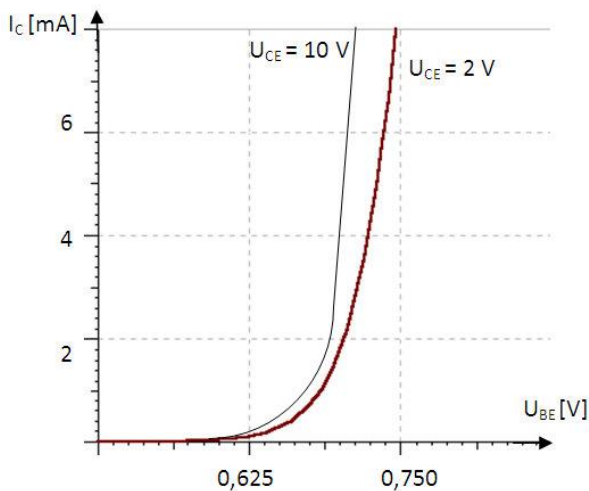
$$I_{iz} = f(I_{ul}) \quad za \quad U_{iz} = const$$

b) Za tranzistor:

$$I_c = f(I_b) \quad za \quad U_{ce} = const$$

Za manje ulazne struje je linearna I san je se moće odrediti koeficijent strujnog pojačanja

$$\beta = \frac{dI_c}{dI_b} \quad pri \quad U_{ce} = const.$$



b) povratno prenosna karakteristika

$$I_{iz} = f(U_{ul}) \quad za \quad U_{iz} = const$$

Za tranzistor:

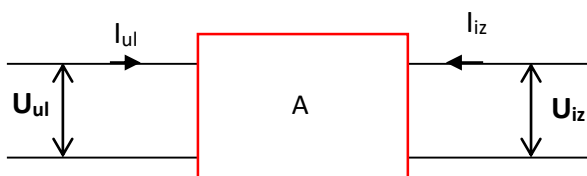
$$I_c = f(U_{be}) \quad za \quad U_{ce} = const$$

Za manje ulazne struje je linearna I san je se moće odrediti koeficijent strujnog pojačanja

Primena tranzistora kod pojačavača

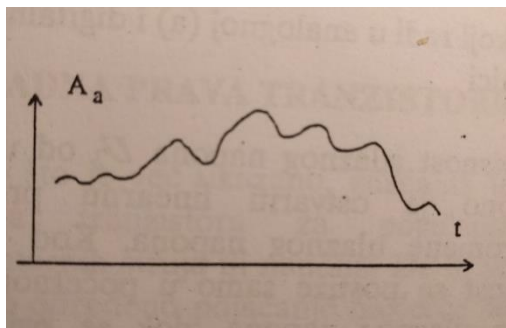
a) Pojačanje signala

Najčešća primena tranzistora je za pojačavanje slabih jednosmernih I naizmeničnih napona. Na izlazu se dobija signal, najčešće uvećan koji može da bude manje ili više sličan ulaznom signal.

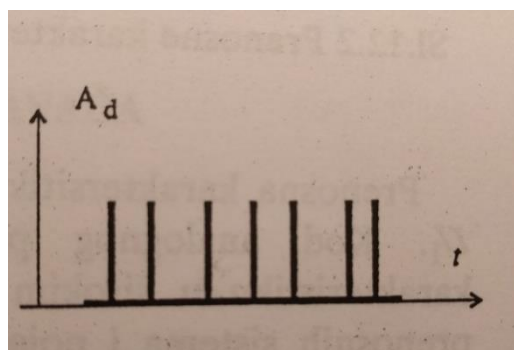


Blok šema pojačavača

Razlikujemo dve vrste signala



Analogni signal je kontinualan u vremenu. U toku njegovog prenosa, jačina struje ili napon su najčešće neprekidne funkcije,



Digitalni signal, koji ima samo određene diskretne vrednosti odabrane veličine,

U zavisnosti od toga da li treba pojačavati analogni ili digitalni signal zavisi režim rada pojačavača.

Kod pojačanja analognog signala

- svakoj trenutnoj vrednosti ulazne veličine odgovara vrednost izlazne veličine pa je izlazna veličina slična i proporcionalna ulaznoj veličini.

Ako se kao ulazni napon dovodi

prostoperiodični signal

$$U_{ul}(t) = U_{0u} \sin(\omega t)$$

, na izlazu se dobija

$$U_{iz}(t) = U_{0i} \sin(\omega t + \varphi)$$

gde su

U_{0u} - amplituda ulaznog signala

U_{0i} - amplituda izlaznog signala

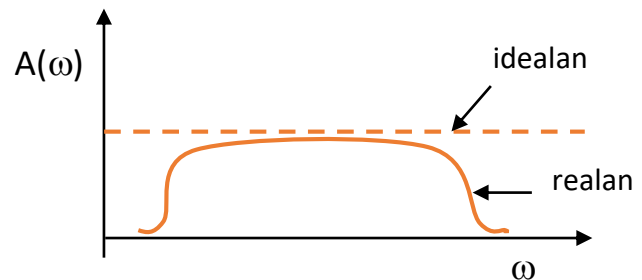
$\varphi(\omega)$ - fazno kašnjenje izlaznog u odnosu na ulazni signal na frekvenciji ω

Tada se za svaku kružnu frekvenciju za pojačavač određuje

$$A(\omega) = \frac{U_{0i}(\omega)}{U_{0u}(\omega)}$$

odnos amplitude izlaznog i ulaznog signala za datu kružnu frekvenciju

Pri čemu funkcija $A(\omega)$ predstavlja amplitudsko- frekventnu karakteristiku pojačavača

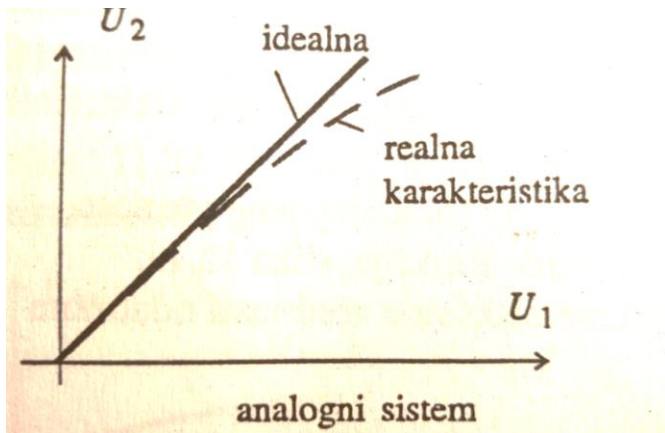


Realni pojačavač ima približno konstantnu ovu karakteristiku u nekom opsegu frekvencija

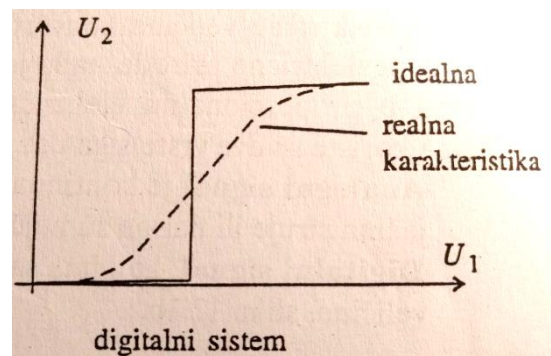
Funkcija $\varphi(\omega)$ predstavlja fazno-frekventnu karakteristiku pojačavača

Amplitudska i fazno frekventna karakteristika čine dva dela **prenosne karakteristike pojačavača**.

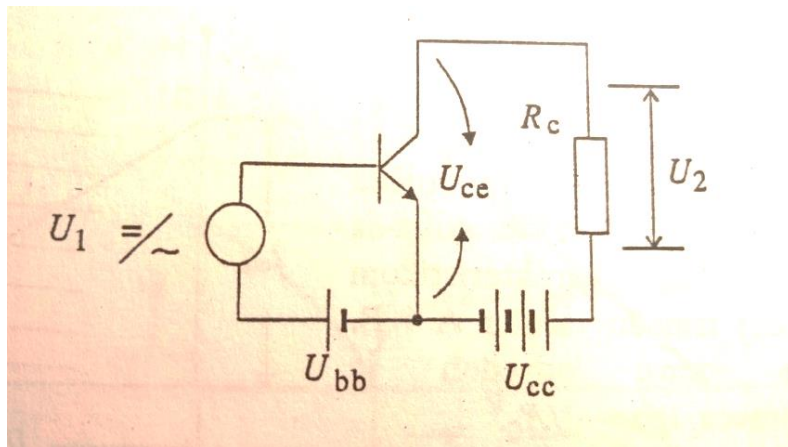
Kod idealnog pojačavača be $A(\omega)$ trebalo da bude konstantno tj, $A(\omega)=A$, i tada bi postojala linearna zavisnost izmedju ulaznog i izlaznog signala.,



Kod **diskretnih i digitalnih** signala izlazni signal ima samo određeni skup vrednosti (često za jedan ulazni signal je 0, a za neki ulazni signal je 1)



OSNOVNI OBLIK TRANZISTORSKOG POJAČAVAČA

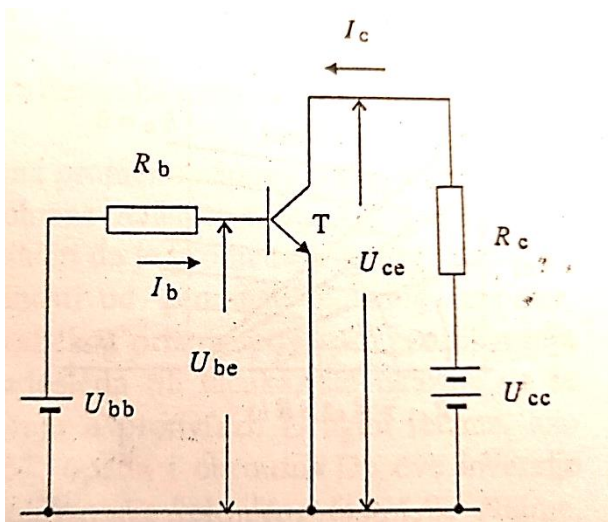


- Tranzistor radi u aktivnom režimu
- dva izvora : kolektorsko kolo se napaja iz izvora napona U_{CC} , a kolo baze iz izvora U_{bb} .
- U kolektorskom kolu je dodat otpornik R_c između izvora i kolektora

-U kolo baze uključen je i generator jednosmernog ili naizmeničnog napona U_1 koji treba pojačati.

Svaka promena napona U_1 izaziva i promenu jačine struje baze, odnosno promenu jačine struje kolektora. Promena jačine struje kolektora izaziva i promene pada napona U_2 na kolektorskom otporniku R_c , kao i promenu napona između kolektora i emitera U_{ce} . i ostvaruje se pojačanje napona.

Radna prava (dinamička karakteristika tranzistora)

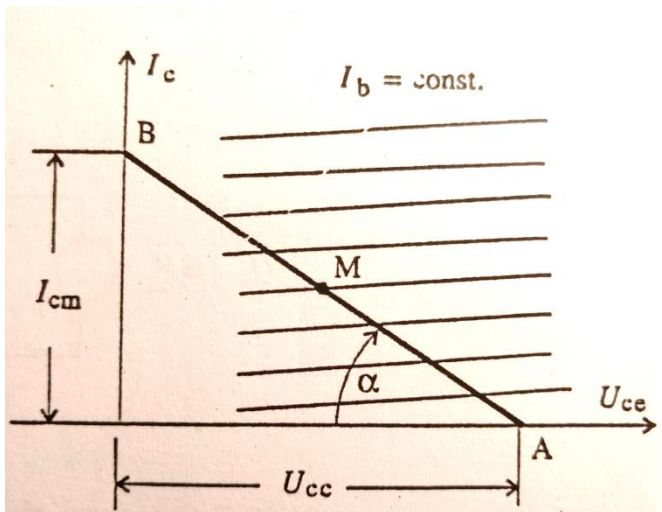


Da bi se odredilo pojačanje u kolektorskom kolu se vezuje otpornik R_c , a može i oscilatorno kolo ili transformator.

Zbog postojanja otpornika R_c u kolektorskom kolu postoji još jedna relacija između I_c i U_{ce} pored izlazne karakteristike

$$U_{CC} = U_{ce} + R_C \cdot I_c$$

Ovo predstavlja jednačinu prave u I_c-U_{ce} dijagramu



$$I_c = \frac{U_{cc}}{R_c} - \frac{U_{ce}}{R_c}$$

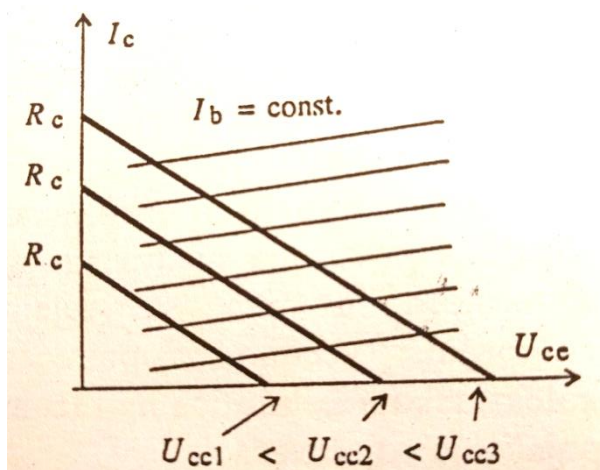
U tački A: za $I_c=0$, $U_{ce}=U_{cc}$

U tački B: za $U_{ce}=0$, $I_{cm}=U_{cc}/R_c$

M- radna tačka ,

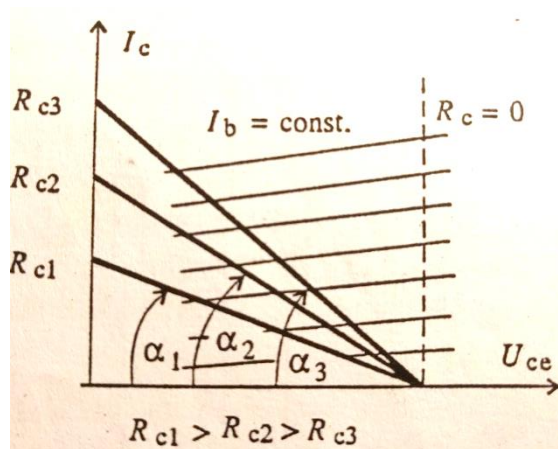
(

Za U_{bb} konstantno, I_b je konstantno pa je I položaj radne tačke strogo utvrđen



Odsečak na vertikalnoj osi

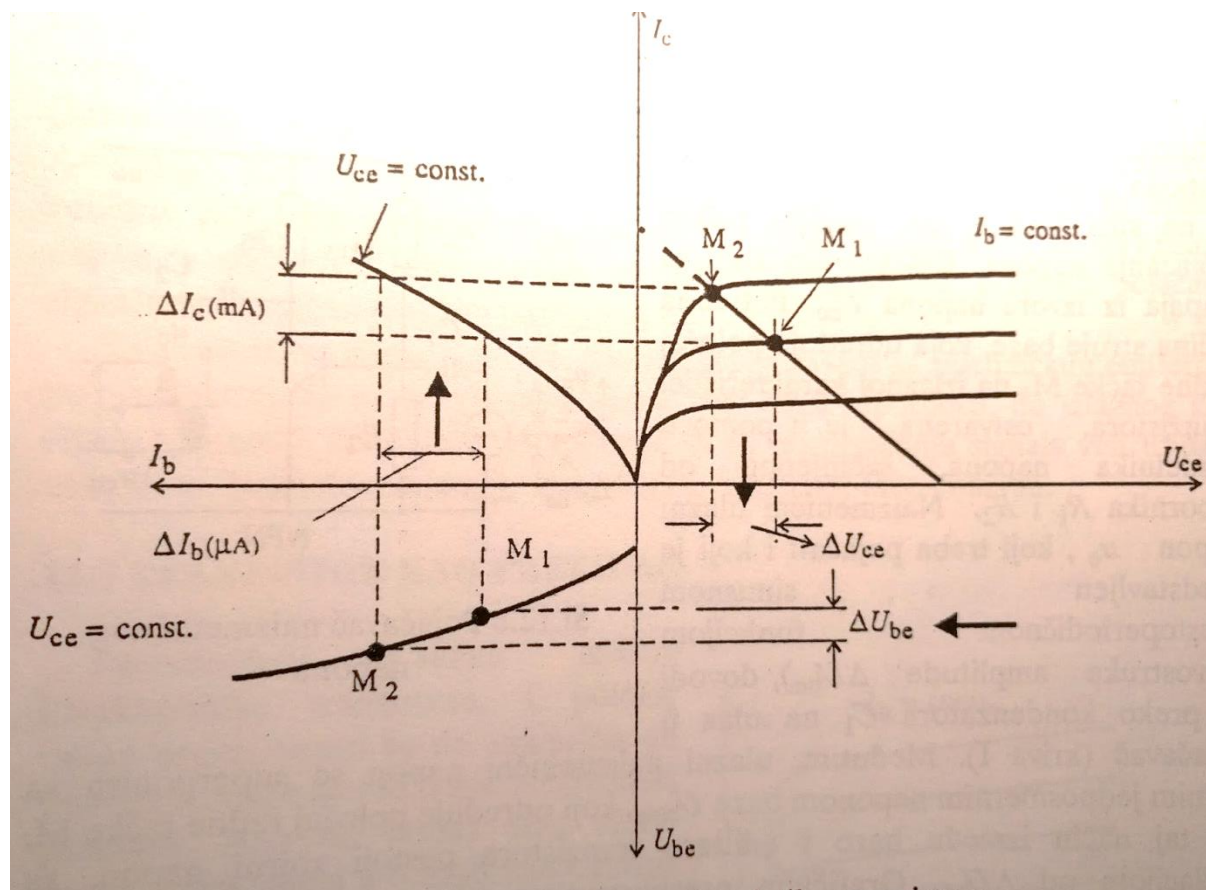
$$I_{cm} = \frac{U_{cc}}{R_c}$$



Nagib radne prave

$$tg\alpha = -\frac{1}{R_c}$$

Princip rada pojačavača preko preslikavanja karakteristika tranzistora

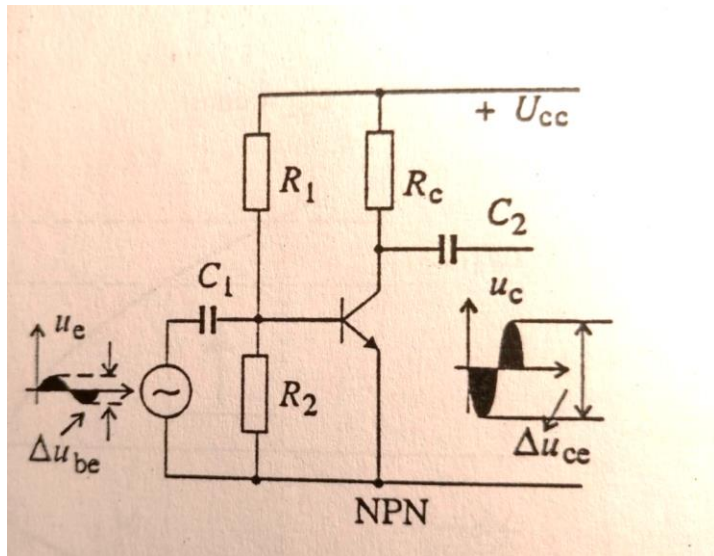


Za početno U_{be} , preko karakteristika U_{be} se preslikava (dobija) u I_b , pa preko sledeće I_b u I_c i konačno I_c u U_{ce} . Radna tačka tranzistora je M_1 .

Kada se U_{be} promeni i poraste radna tačka postaje M_2 , a preko karakteristika se dobija promenjeno U_{ce}

Ako napon U_{be} raste, napon U_{ce} opada

Pojačavač naizmeničkog signala



-Umesto dva postoji jedan izvor U_{cc}

- R_1 i R_2 - čine sa U_{cc} razdelnik napona da se dovede odgovarajući jednosmerni napon na spoj BE za direktnu polarizaciju spoja

- R_c , R_1 i R_2 -obezbeđuju inverznu polarizaciju spoja CE

- R_c i U_{cc} - definišu radnu

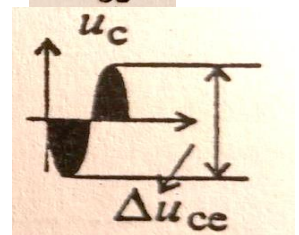
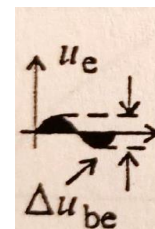
pravu - C_1 -kao deo ulaznog diferencijatora (sa R_2) propušta samo vremenski promenljive (naizmenične) ka bazi tranzistora signale

- C_2 - izlaznog signala se izdvaja samo naizmenična komponenta

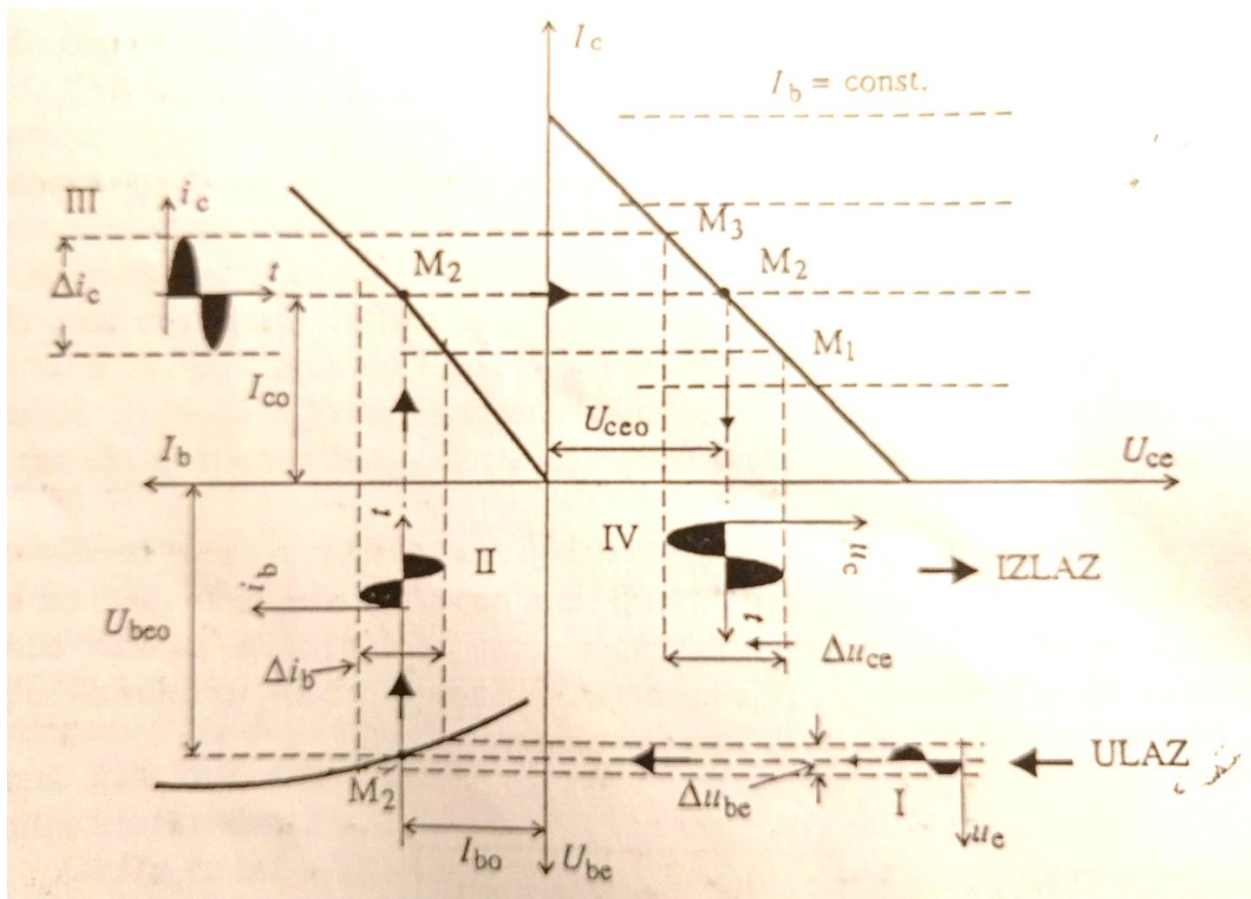
- Izlazni U_c i ulazni U_e napon su u protiv fazi, tj. Pojačavač menja fazu ulaznog napona za π .

Pojačanje signala se odvija od ulaznog kola male otpornosti do izlaznog kola veće otpornosti pa se vrši transfer otpornosti eng.- transfer resistor- transistor

- Pojačanje naizmeničnog signala se vrši korišćenjem energije jednosmernog izvora napajanja (energije jednosmernog napona)

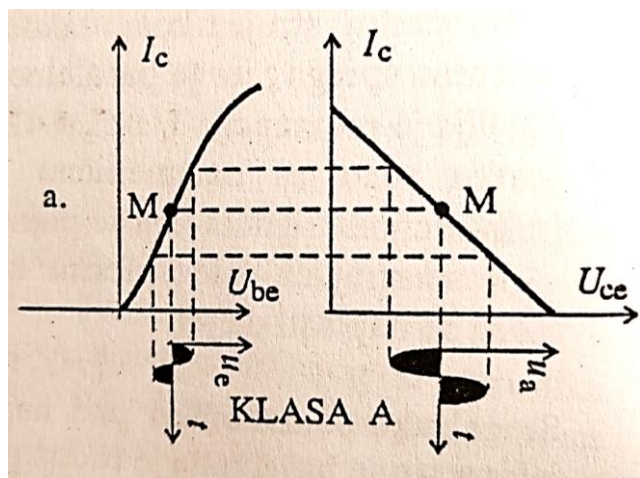


Preko karakteristika tranzistora



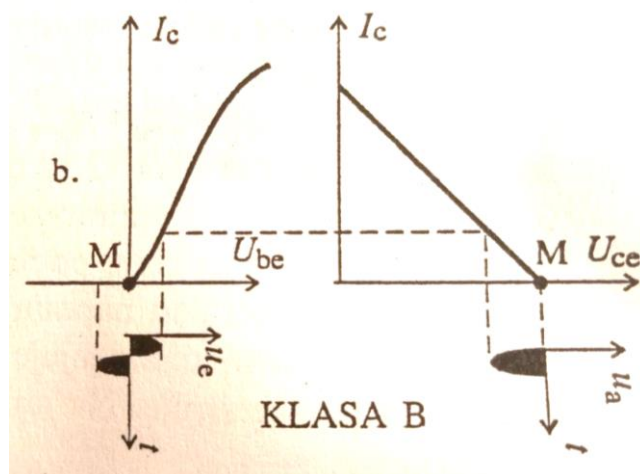
Režimi rada tranzistorskog pojačavača

Preko položaja radne tačke M



Klasa A

- Radna tačka na polovini radne prave
- Pojačavaju se na isti način obe poluperiode naizmjeničnog signala,
- Stepen korisnog dejstva 50%
- Pojačavač kad je uključen daje struju I_c kroz R_C i kada nema ulaznog napona koji se pojačava



Klasa B

Radna tačka na dnu radne prave ($U_{ce}=U_{cc}$ | $I_c=0$)

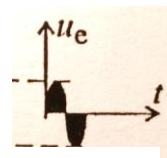
Pojačavaju se samo jedna poluperioda naizmjeničnog signala, (kada je $U_{be}=0$)

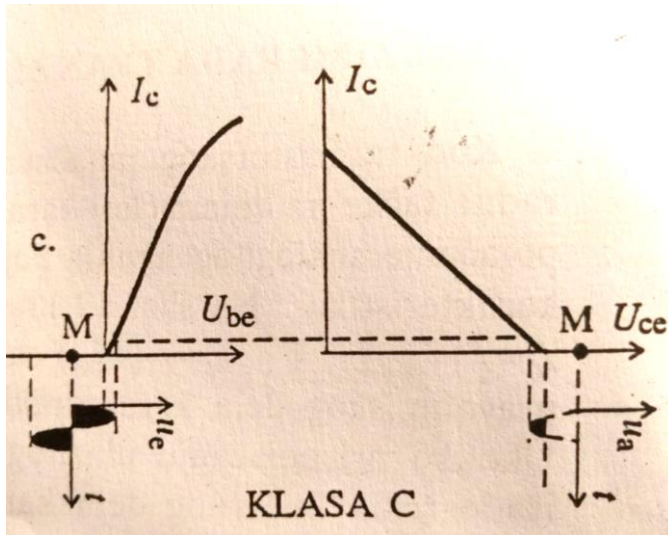
-stepen korisnog dejstva 86%

kada je $U_{be} \leq 0$ tranzistor u zakočenju | $U_{ce} > 0$

Pojačavač kad je uključen ne daje struju na R_C kada nema ulaznog napona koji se pojačava

Ovo važi za NPN transistor, ako se želi pojačanje negativne poluperiode potreban je PNP transistor.





Klasa C

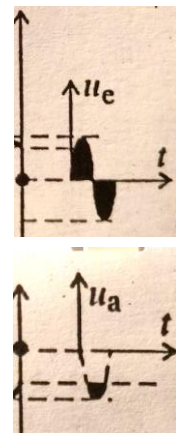
Radna tačka van radne prave ($U_{ce} > U_{cc}$ | $I_c = 0$) i transistor je u zakočen

Tranzistor je aktivan ako je U_{be} veće od neke pozitivne vrednosti, a zakočen za ostale

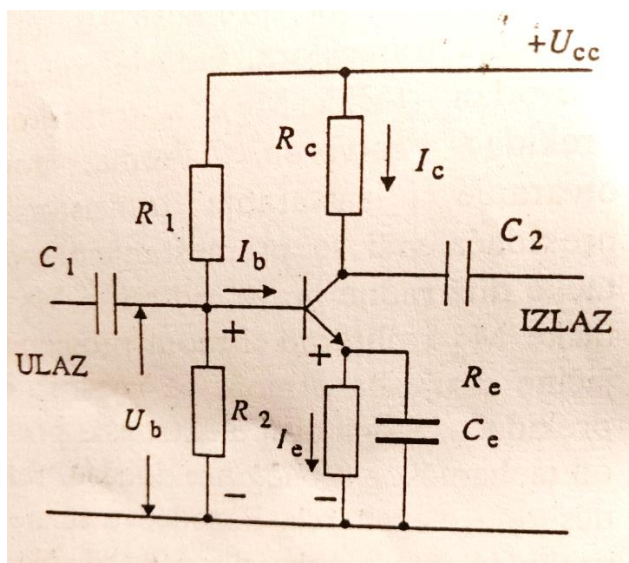
Pojačava se samo jedan deo poluperiode nazmeničnog signala,

Pojačavač kad je uključen ne daje struju na R_c i kada nema ulaznog napona koji se pojačava.

Primena kod oscilatora.



Polarizacija baze tranzistora i stabilizacija radne tačke



- Jedan izvor obezbežuje bolju stabilizaciju radne tačke
- Zbog promene temperature dolazi do povećanja bazne struje I_b , zbog termičke generacije elektrona.
- Vršiti se regulacija radne tačke tako dodavanjem R_e i C_e u kolo emitera da bi se pri povećanju bazne sprečilo porast, tj. smanjio porast kolektorske struje.

Kada I_b raste, rastu i struja I_e i I_c

Napon na bazi je

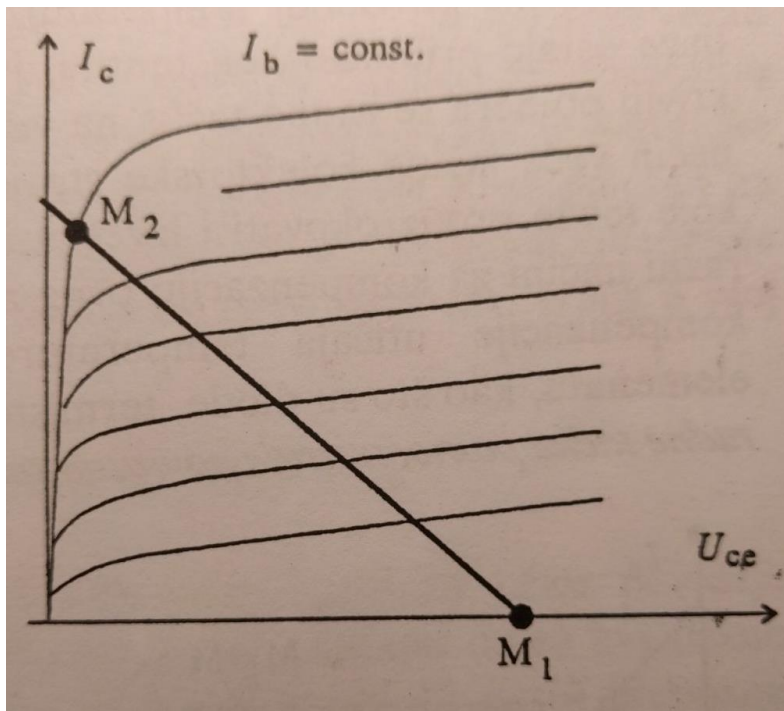
$$U_{b1} = U_{be} + R_e \cdot I_e$$

U_b je konstantno, (napon na R_2), pa je U_{be} jednako

$$U_{be} = U_{b1} - R_e \cdot I_e$$

Ako zbog porasta I_b raste I_e , na osnovu prethodne relacije U_{be} i smanjuje povećanu I_c .

Tranzistor kao prekidač



Radna prava prolazi kroz oblasti zasićenja i zakočenja

Tranzistor radi ili u zakočenju (kao otvoren prekidač - radna tačka M_1) ili u zasićenju (kao zatvoren prekidač - radna tačka M_2)

Prekidač menja stanje menjanjem napona U_{be} ili struje I_b koja se najčešće u vidu četvrtki dovodi na ulaz

Kada je **zakočen njegova otpornost je reda $5M\Omega$** , ali nije beskonačna kao kod idealnog prekidača, pa tada ipak vodi neku malu struju .

Kada je **u zasićenju otpornost je reda Ω** , ali nije nula kao kod idealnog prekidača

Zbog **elektronskog načina otvaranja i zatvaranja prekidača** , brzina **prekidanja je nekoliko MHz** i mnogo je brži od mehaničkih prekidača.

Slike tranzistora

<https://jelkaminhajlovic.wordpress.com/2010/12/01/%D0%B1%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B8-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8/>