

Elektronički sklopovi

- Predavanja su namijenjena za dva tjedna odnosno za 8 sati, od 16.-28.3.2020. Nastavak je gradiva ispravljačkih sklopova sa diodama. U predavanjima su opisani tranzistori, njihova građa i princip rada te vrste spojeva u kojima se koristi tranzistor i pitanja na koje trebate dati odgovore, a bit će provjereni kada se nastava vrati u učionice.

Uspješan rad!



Bipolarni Tranzistori (BJT)

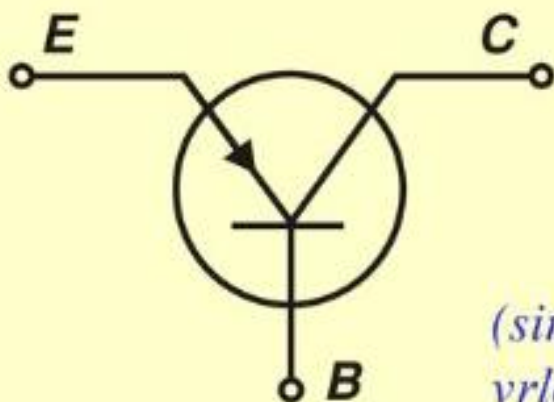
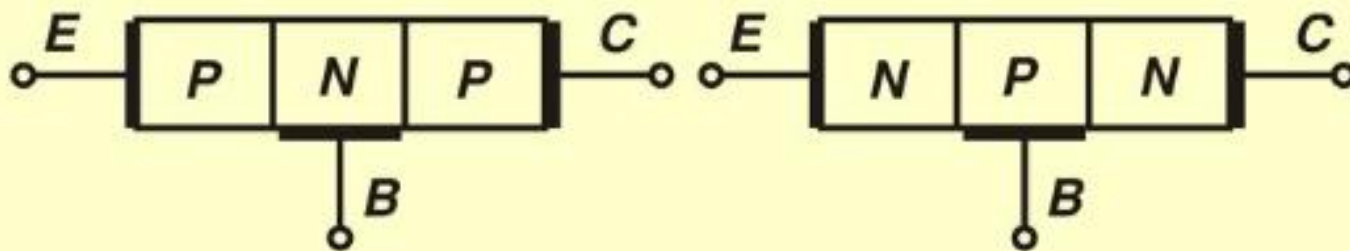
- **Osnovna ideja:**
naponom i strujom u jednom električnom krugu upravlja se pomoću malih struja ili napona iz drugog kruga.
- **aktivni** poluvodički elementi – zahtijevaju vlastito napajanje
- u pravilu imaju **tri elektrode**
- Primjena: **pojačala i elektroničke sklopke.**
- Mnoštvo tipova – osnovni tipovi: bipolarni (BJT) i FET (JFET i MOSFET)

- Bipolarni tranzistor: spoj **dva** poluvodička PN spoja
- Za rad su ključni i većinski ali i manjinski nosioci – nositelji naboja imaju 2 polariteta - zato bipolarni tranzistori

Dva tipa bipolarnog tranzistora:

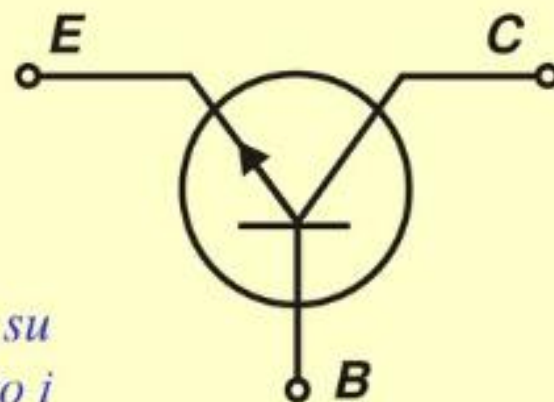
- PNP
 - NPN
-
- Osnovna razlika između ova dva tipa su obrnuta polarizacija elektroda tranzistora

 - Realizira se spajanjem 2 PN spoja (diode): zbog toga se ovi tranzistori još nazivaju i **spojni** (*junction*), pa engleska kratica **BJT** (**Bipolar Junction Transistor).**



a)

*(simboli su
vrlo često i
bez kružnice)*



b)

Osnovna konstrukcija i simbol a) P-N-P i b) N-P-N tipa tranzistora

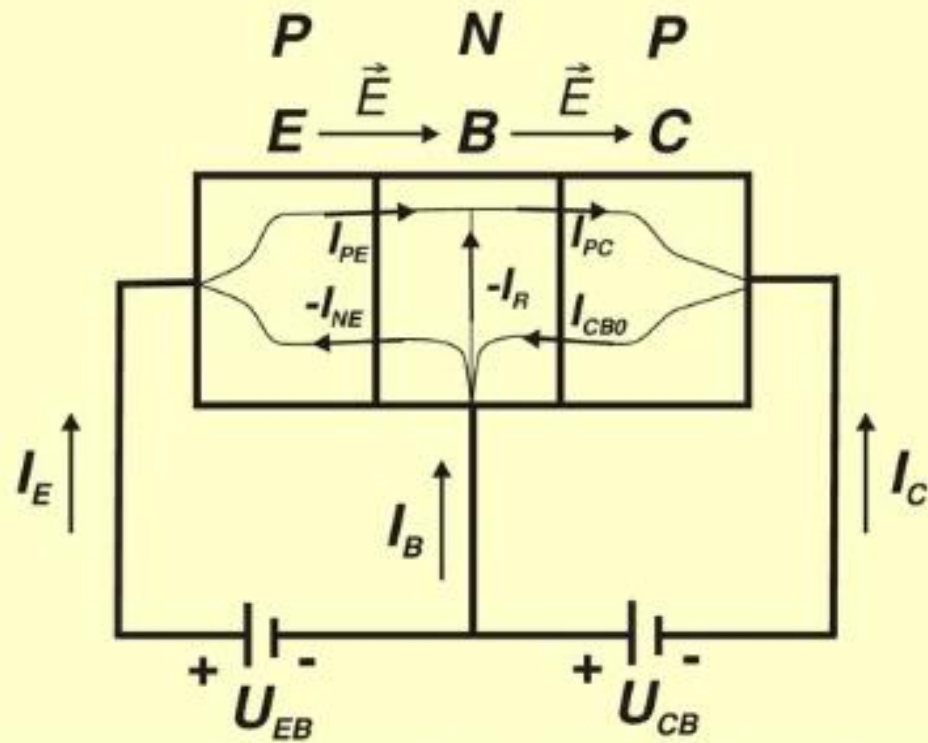
Tri elektrode koje tranzistor ima su: **E – emiter** (emitira nositelje naboja), **C-kolektor** (sakuplja nositelje naboja), **B – baza** (upravlja tokom naboja)

Osnovni principi rada tranzistora

- Tranzistor služi kao “veza” između 2 kruga: **ulazni** i **izlazni** krug, pri čemu se podrazumijeva da struja i/ili napon ulaznog kruga pomoću tranzistora upravlja (regulira, kontrolira) struju i napon izlaznog kruga. Istovremeno, eventualne promjene u izlaznom krugu praktično nemaju utjecaja na ulazni krug.
- No, izlazni krug jednog tranzistora može služiti kao ulazni drugog (koji može imati druge karakteristike), a izlazni ovog drugog tranzistora opet se može povezati sa ulazom trećeg... itd. Na ovaj način, tranzistori omogućavaju povezivanje jednostavnih u vrlo složene sklopove, kojima se mogu realizirati složene funkcije (npr. digitalno računalo).
- Da bi tranzistor ispravno radio, potrebno je osigurati ispravne polarizacije PN spojeva (koji je propusno, a koji nepropusno polariziran), pa imamo **dvije baterije** koje osiguravaju potrebne napone tj. polarizacije tranzistora: jedna za ulazni krug, jedna za izlazni krug
- Moguća je (i znatno češća) i izvedba s jednom baterijom kojom se (pomoću otpornika) realiziraju dva potrebna napona za željene polarizacije, no mi ćemo se u našim razmatranjima fokusirati na izvedbu sa 2 baterije (jednostavnije za analizu)

Osnovni principi rada tranzistora

- Da bi se tranzistor spojio u ulazni krug potrebno je 2 priključka, i za izlazni krug također 2 priključka. Dakle, element kojim bi se povezali izlazni i ulazni krug morao bi imati 4 elektrode.
- No, kako tranzistor ima samo 3 elektrode, da bi se spojio i u ulazni i u izlazni krug, jedna elektroda tranzistora se spoji istovremeno u izlazni i u ulazni krug – ovo je zajednička elektroda.
- Ovisno o vrstama spoja tranzistora (odabranoj zajedničkoj elektrodi) možemo imati tri osnovna spoja BJT tranzistora:
 - spoj sa zajedničkom bazom (**ZB**)
 - spoj sa zajedničkim emiterom (**ZE**)
 - spoj sa zajedničkim kolektorom (**ZC**)
- Svaki od ovih spojeva ima svoje karakteristike, pa se tip spoja bira zavisno o funkciji koja se želi realizirati
- Bez obzira na korišteni spoj, svrha bipolarnog tranzistora je da ulazna struja tranzistora upravlja izlaznom strujom (koja je ulazna, a koja izlazna, zavisi o konkretnom spoju tranzistora)



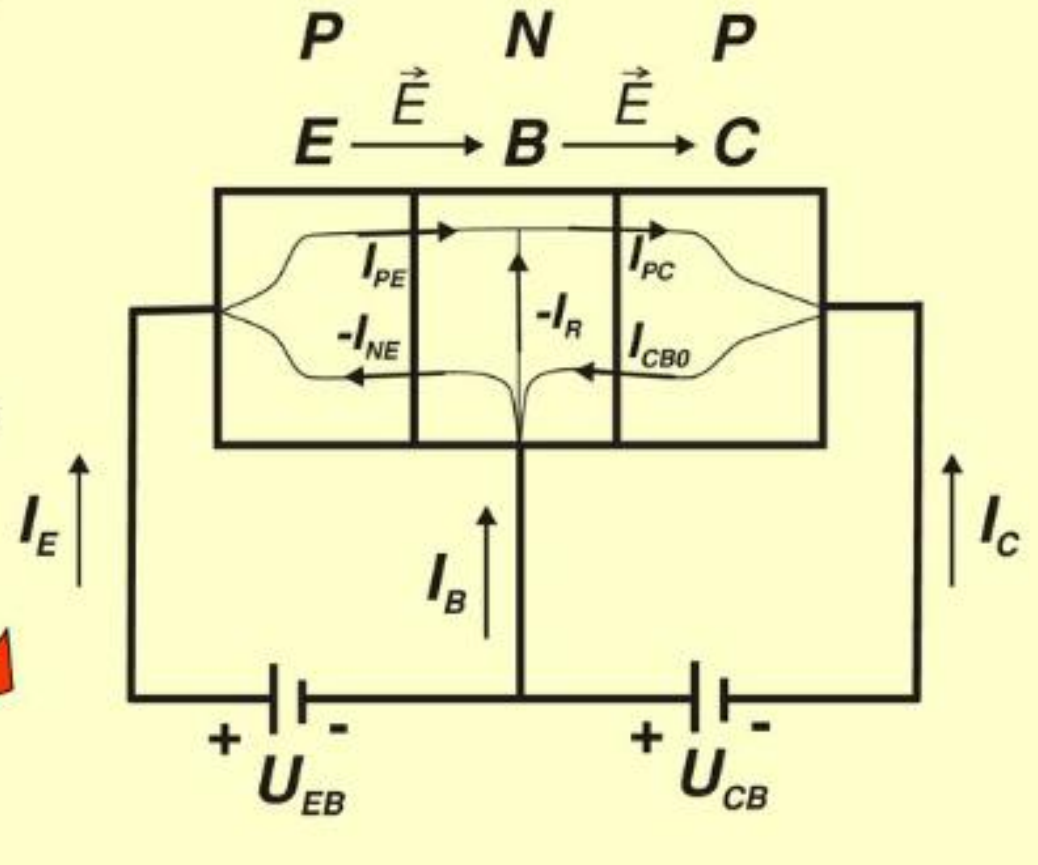
Unutrašnja kretanja nositelja naboja u normalno polariziranom P-N-P tranzistoru u spoju sa zajedničkom bazom (ZB)

Napomene:

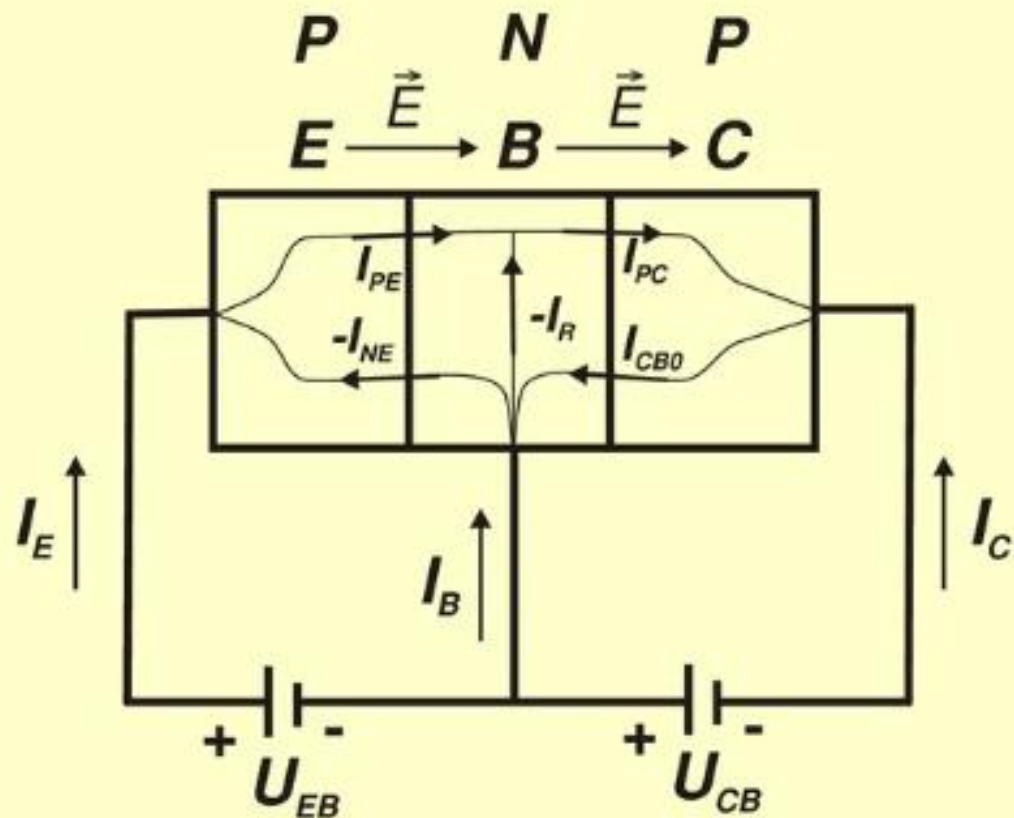
- na primjeru spoja ZB objasniti ćemo princip rada bipolarnog tranzistora
- svi smjerovi struja su označeni da ulaze u tranzistor (iako ovo, npr. za I_C nije točno), no sjetimo se – smjerovi se na shemi mogu proizvoljno uzeti (negativan rezultat će pokazati da je smjer obrnut od onog naznačenog na shemi)

Postoje 2 PN spoja: spoj emiter-baza i spoj baza-kolektor; svaki od ovih spojeva se može polarizirati propusno i nepropusno (pa 4 moguće polarizacije tranzistora)

S obzirom na polarizaciju razlikujemo stoga 4 područja rada tranzistora. U analognoj elektronici najčešće se koristi **normalno aktivno** (ili samo “aktivno”) područje (slika).

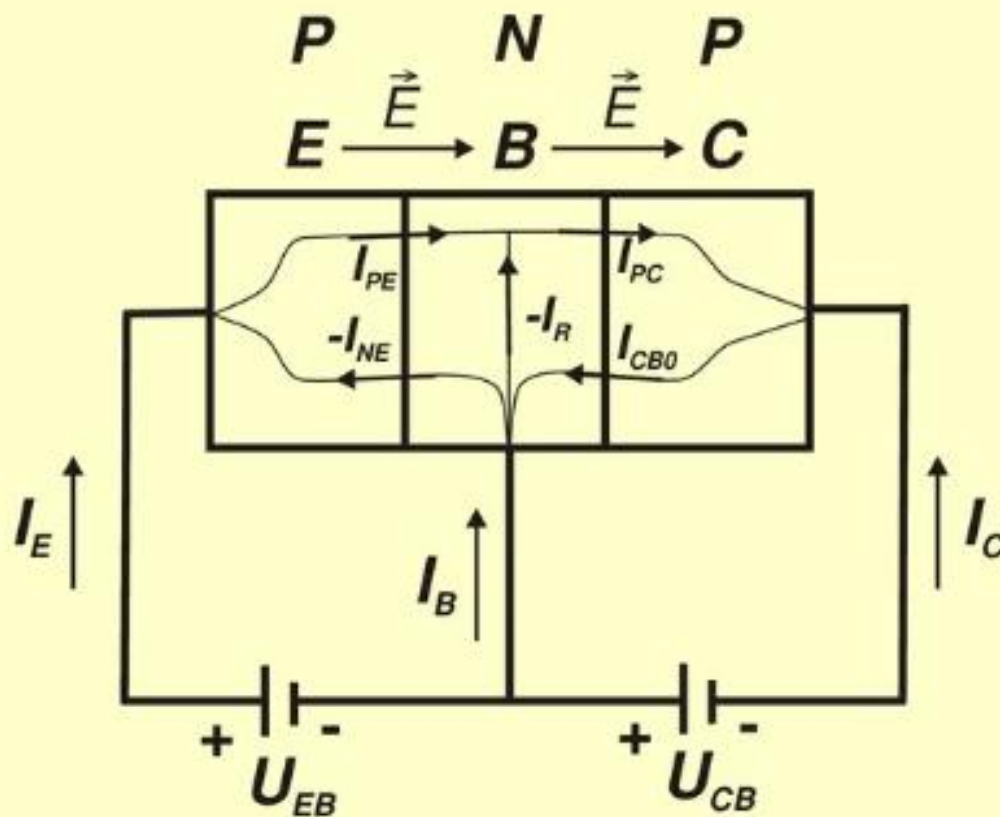


Propusna polarizacija spoja emiter-baza (EB) i nepropusna kolektor –baza (CB) → tranzistor radi u normalnom aktivnom području



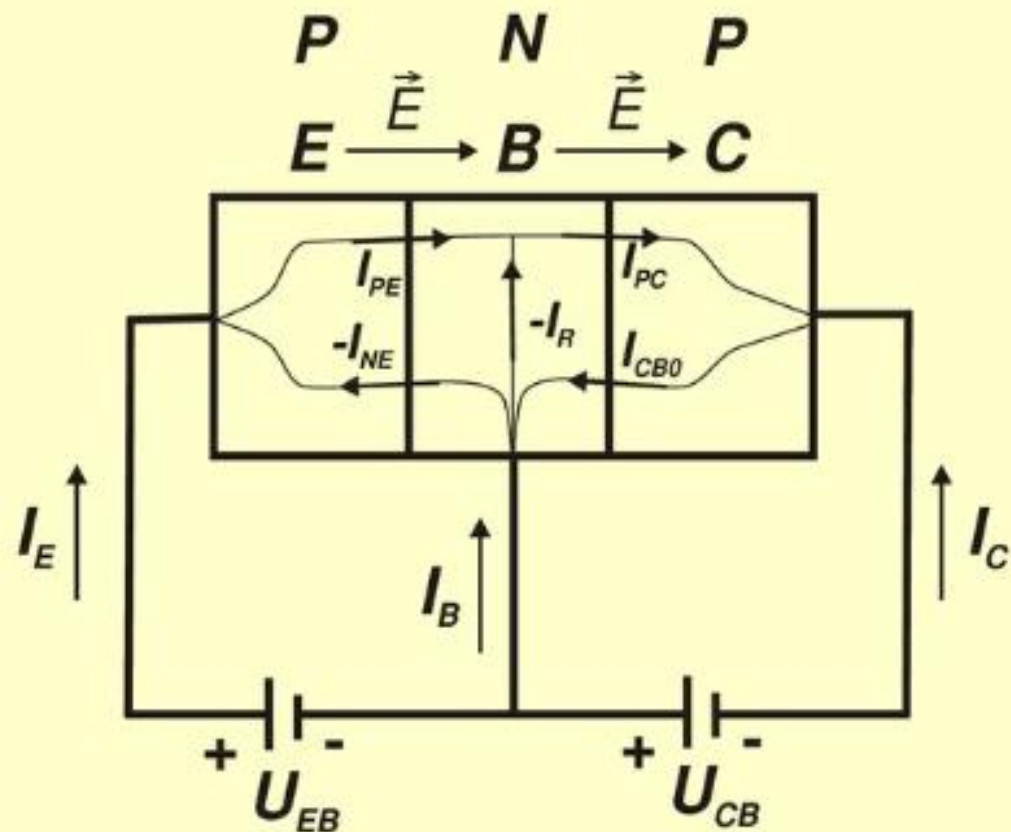
Propusno polariziran spoj EB – ulazna struja (I_E) sastavljena od:

- I_{PE} – difuzna struja većinskih šupljina iz E u B
- I_{NE} – difuzna struja većinskih elektrona iz B u E (na slici je predznak “-” zato što se promatra kretanje elektrona, a konvencionalni (na slici uzet) smijer struje se odnosi na kretanje šupljina (pozitivnih naboja)). Baza se namjerno slabo onečisti kako bi ova struja bila zanemarivo mala.



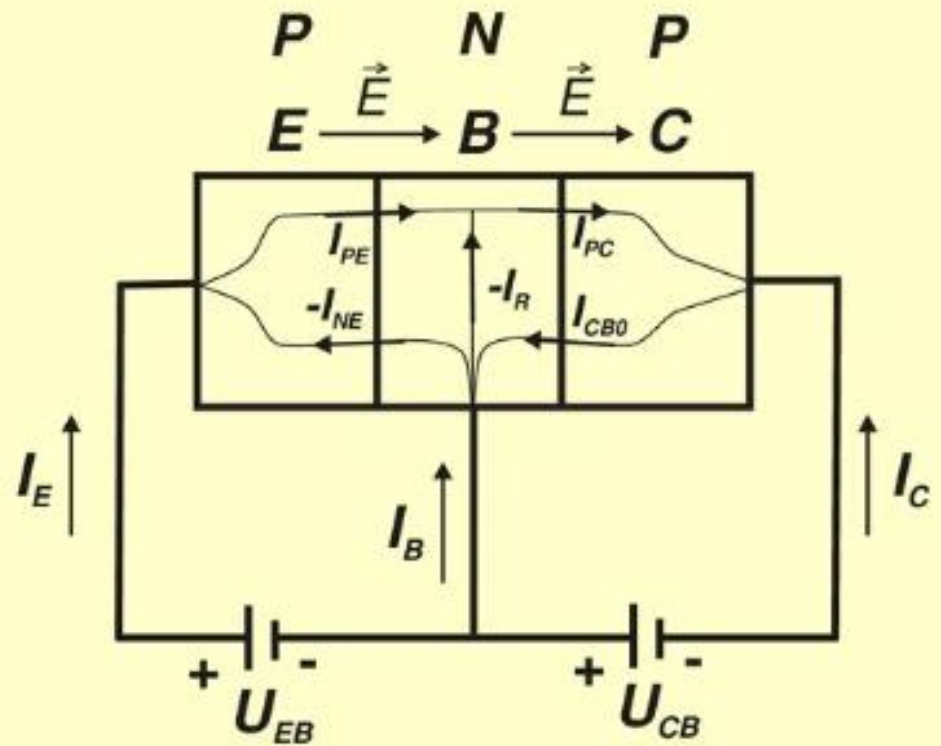
Nepropusno polariziran spoj CB – izlazna struja (I_C) sastavljena od:

- I_{PC} – driftna struja manjinskih šupljina iz B u C
- I_{CB0} – struja zasićenja zaporno polariziranog spoja CB (zanemarivo mala)



Bazna struja I_B (razlika ulazne i izlazne struje) sastoji se od I_{NE} , I_{CB0} (spomenute prije) no i I_R koja predstavlja struju rekombinacije većinskih elektrona u B sa šupljinama iz E (dijelom struje I_{PE})

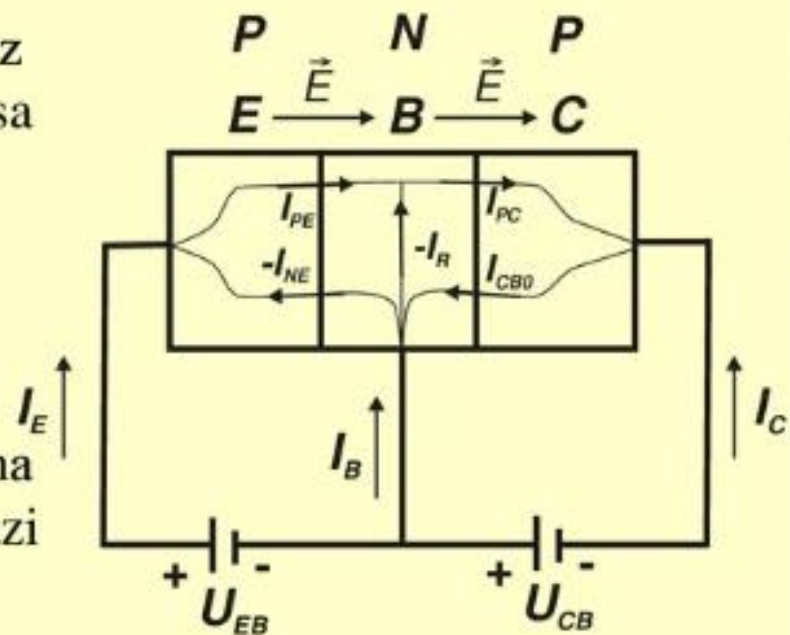
Da bi se šupljine koje iz E dolaze u B rekombinirale treba neko vrijeme. Za ovo vrijeme šupljine u prosijeku prođu neki put – ovo je tzv. *difuzijska duljina*. Ako je B fizički šira od difuzijske duljine, sve šupljine koje su difundirale iz E (kroz propusno polarizirani spoj BE) će se rekombinirati sa većinskim elektronima u B. No, ako je B uža od difuzijske duljine, dio šupljina neće se uspjeti rekombinirati prije nego dođu do polja kontakta spoja CB! Što je B uža, broj šupljina koje “prežive” bez rekombinacije je veći.



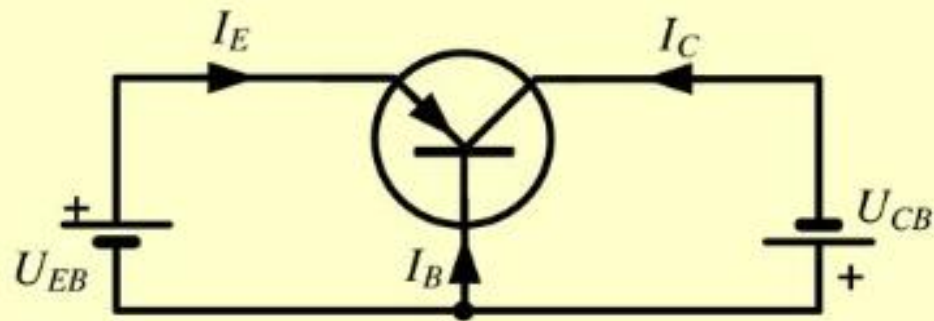
• **Ključno** – baza je tehnološki izvedena tako da je vrlo uska (znatno uža od E i C) i znatno niže koncentracije onečišćenja – većina šupljina iz E se ne stigne rekombinirati sa elektronima iz B prije nego ih “zahvati” polje kontakta barijere CB (šupljine iz E u bazi su manjinski nositelji koje nepropusno polarizirana barijera CB ubrzava prema C)

• **POSLJEDICA:** samo manji dio šupljina se rekombinira u B – mala I_R , a većina šupljina iz E se prebaci u C prije nego su se uspjeli rekombinirati sa elektronima iz B!

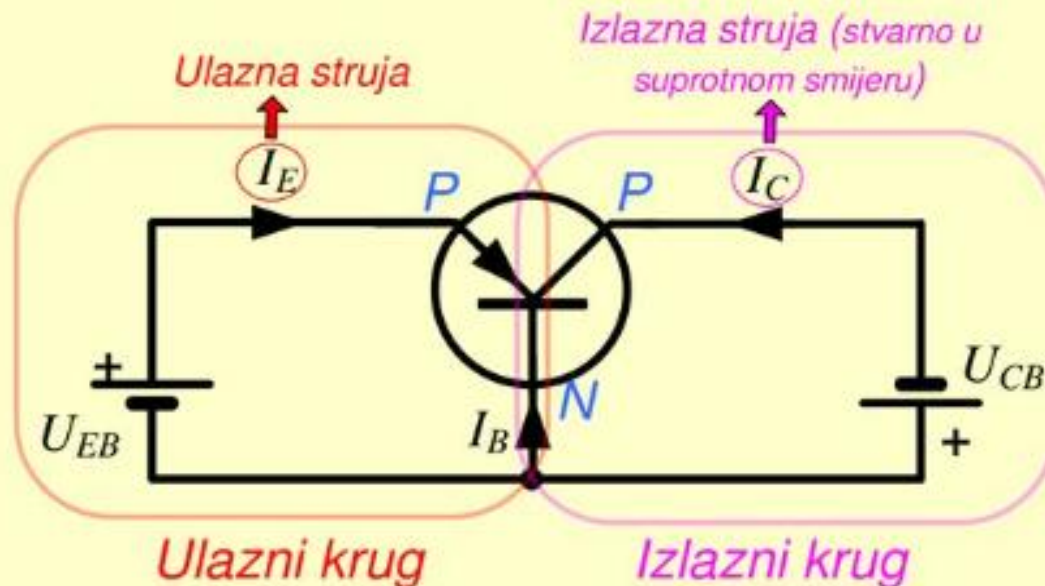
- Svaki elektron koji uđe u bazu (kroz elektrodu, iz “vanjskog svijeta” – I_B), mora se rekombinirati sa šupljinom iz emitera (u suprotnom bi došlo do “gomilanja” elektrona u bazi)
- Međutim, s obzirom na vrlo usku bazu, za 1 elektron iz I_B emiter mora poslati ne 1, nego znatno više (cca. 100-200) šupljina, da bi se jedna od njih uspjela rekombinirati sa elektronom u bazi (svih ostalih cca. 99% “pokupi” kolektor)



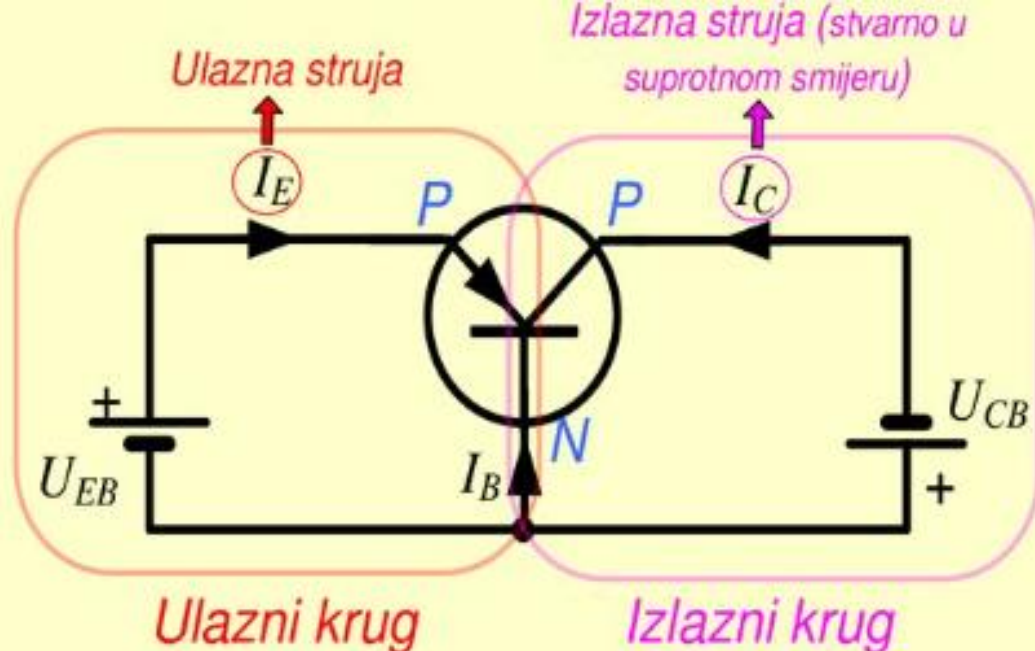
- Ovo znači da neka struja I_B “izaziva” cca. 100 do 200 puta veću struju I_{PE} pa samim tim i I_{PC} , tj. I_C (jer $I_{CBO} \ll I_{PC}$, pa $I_C \approx I_{PC}$)
- Kako je $I_{NE} \ll I_{PE}$ (baza vrlo slabo onečišćena), te $I_{CBO} \ll I_{PC}$, ove komponente struje se mogu zanemariti prema I_{NE} i I_{PC} , pa slijedi da malo povećanje I_B izaziva veliko povećanje I_E i I_C . Ovo je osnovni princip kako BJT pojačava struju: **mala promjena I_B izaziva veliku promjenu I_E i I_C** , pri čemu je **$|I_E| \approx |I_C|$** (jer, prema 1.K.Z.: $I_B + I_C + I_E = 0 \rightarrow I_B$ znatno manja od I_C i $I_E \rightarrow I_C + I_E \approx 0 \rightarrow I_C \approx -I_E$)



- Gornja slika je shematski prikaz do sad prikazanog spoja PNP tranzistora u spoju ZB
- Pogledajmo detaljnije ulazni i izlazni krug (kojim ulazni krug upravlja):

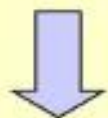


- **Pojačanje** općenito je omjer izlazne i ulazne veličine (govori koliko puta je izlaz veći od ulaza). Tako možemo pričati o strujnom pojačanju (omjer izlazne i izlazne struje), naponskom pojačanju (omjer izlaznog i izlaznog napona) ili pojačanju snage tj. dobitku (omjer izlazne i izlazne snage)



- S obzirom na ovo, strujno pojačanje α tranzistora u spoju ZB zadano je sa:

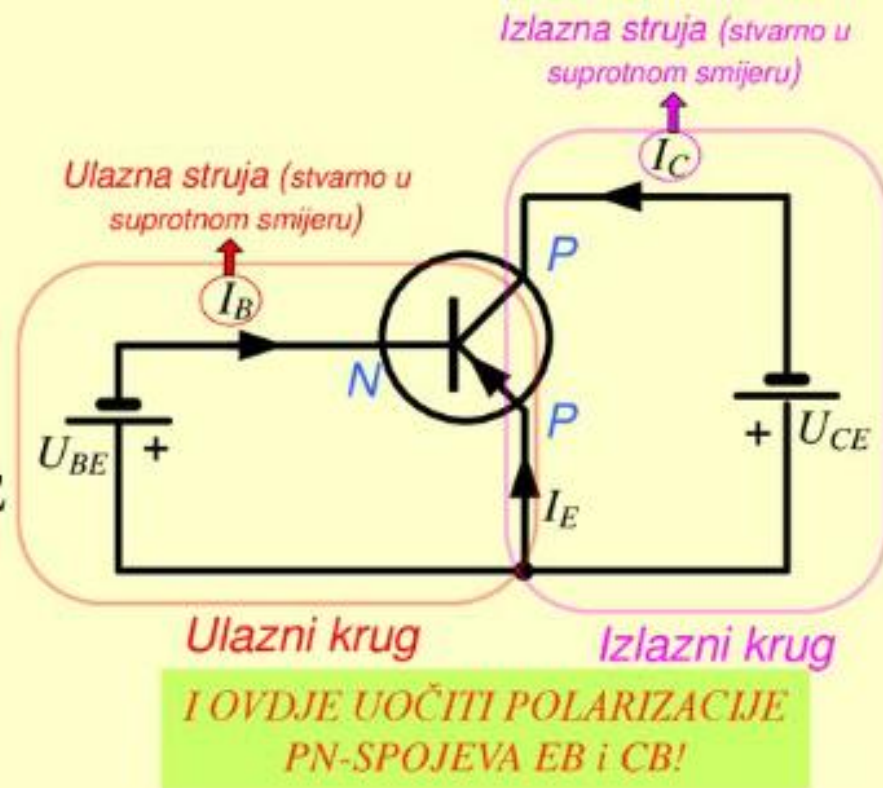
$$\alpha = -\frac{I_C}{I_E}$$



tipično oko
0.99

- Negativan predznak je posljedica obrnutog smijera kolektorske struje (pa je α pozitivan broj)
- S obzirom da je za spoj ZB izlazna struja gotovo jednaka ulaznoj (ali uvijek malo manja, za iznos bazne struje), strujno pojačanje α je malo manje od 1, dakle tranzistor u spoju ZB nema strujno pojačanje, ali ima veliko naponsko pojačanje!

- Slika desno pokazuje BJT u spoju ZE
- Da bi se osigurala nepropusna polarizacija spoja CB, iznos baterije u izl. krugu mora biti veći od one u ulaznom krugu ($|U_{CE}| > |U_{BE}|$)
- **Strujno pojačanje tranzistora u spoju ZE se označava sa β**
- Kako je ulazna struja I_B (sjetimo se) znatno manja od izlazne I_C , strujno pojačanje je veliko (red veličine 100-tina):



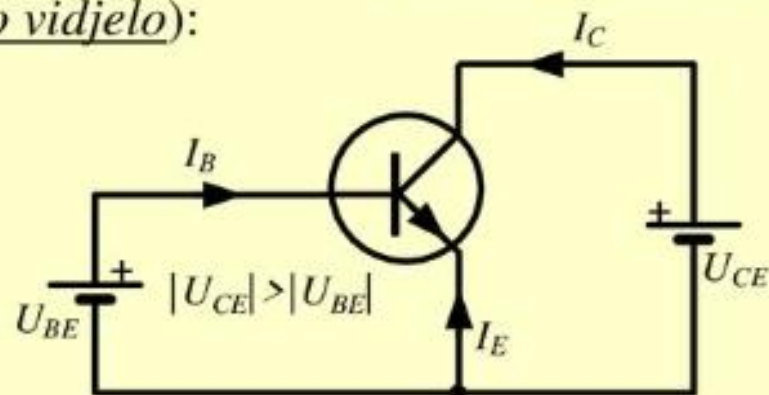
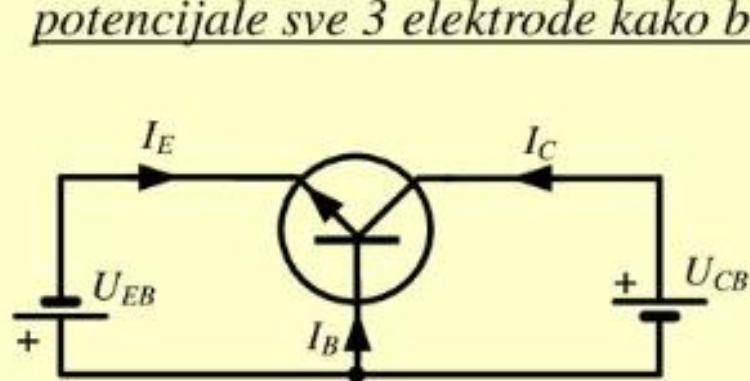
BITNO:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

*tipično
20... 200*

- Mala bazna (ulazna) struja uzrokuje cca. 20 do 200 veću kolektorsku (izlaznu) struju u slučaju da je tranzistor spojen u spoju ZE
- U ovom spoju tranzistor ima i veliko naponsko pojačanje, pa ovaj spoj ima najveće pojačanje snage (tzv. dobitak)
- Stoga upravo je **tranzistor u spoju ZE najčešće korišten** spoj

- Pogledajmo ZB i ZE spoj **NPN** tranzistora, za normalno aktivno područje (PN spoj BE propusno, PN spoj BC nepropusno polariziran → obratiti pažnju na potencijale sve 3 elektrode kako bi se ovo vidjelo):



- Sve područja rada tranzistora, s obzirom na 4 moguće polarizacije PN spojeva EB i EC:

1. **NORMALNO AKTIVNO područje:** EB propusno, CB nepropusno (tranzistor se koristi kao **pojačalo**, prikazano do sad)
2. **INVERZNO AKTIVNO područje:** EB nepropusno, CB propusno (praktično se ne koristi)
3. **Područje ZASIĆENJA:** i EB i CB propusno (tranzistor se ponaša (približno) kao **zatvorena sklopka** → osnova digitalne elektronike)
4. **Područje ZAPIRANJA:** i EB i CB nepropusno (tranzistor se ponaša (približno) kao **otvorena sklopka** → osnova digitalne elektronike)

Dodatne napomene:

- Osim prikazanih spojeva ZB i ZE, koristi se i spoj ZC, koji se najčešće ne koristi za pojačanje, već kao tzv. emitorsko sljedilo za prilagođenje ulaznog otpora sklopova
- Prikazane sheme spajanja BJT-a nisu praktično primjenjive, već samo ilustriraju rad BJT-a i potrebne napone tj. polarizacije da bi tranzistor bio u normalnom aktivnom području
- Za realizaciju pojačala nužni su dodatni elementi (ponekad samo otpornici) kojima se podešavaju svi željeni parametri pojačala (o ovome malo više poslije)

Pitanja za provjeru

- Koje su vrste tranzistora?
- Građa tranzistora?
- Princip rada tranzistora?
- Primjena tranzistora?
- Električni Parametri tranzistora?