

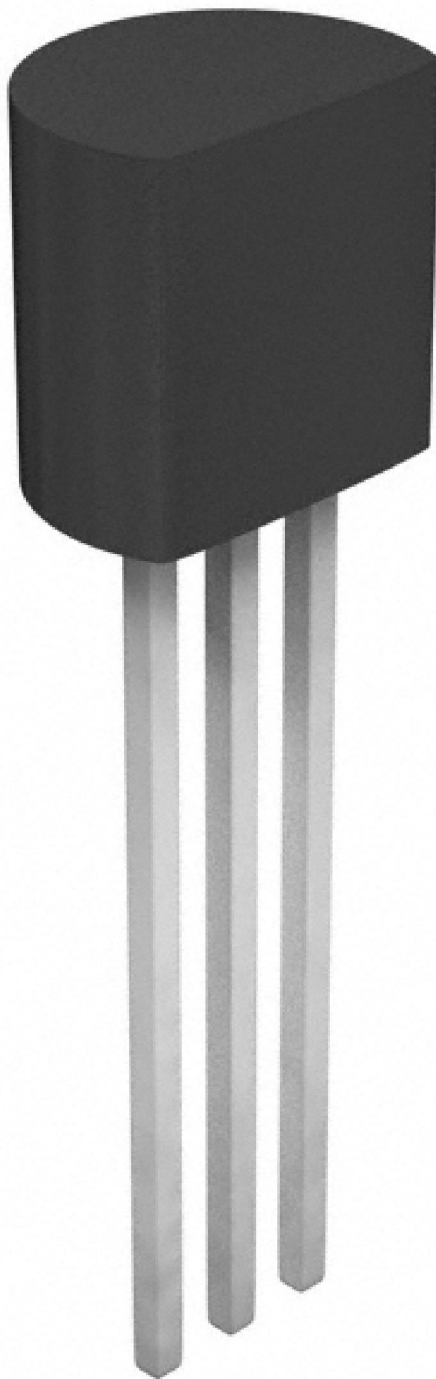


Elektronika

Auditorne vježbe 7

TRANZISTORI

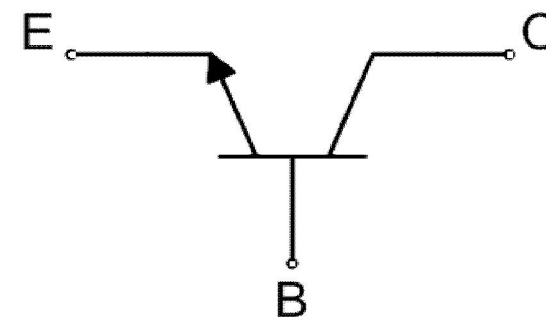
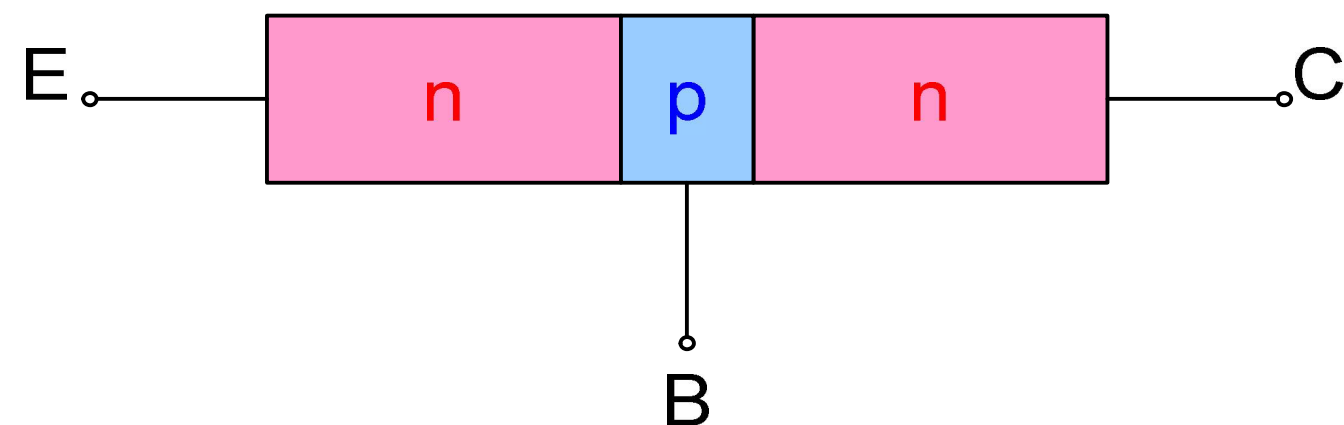
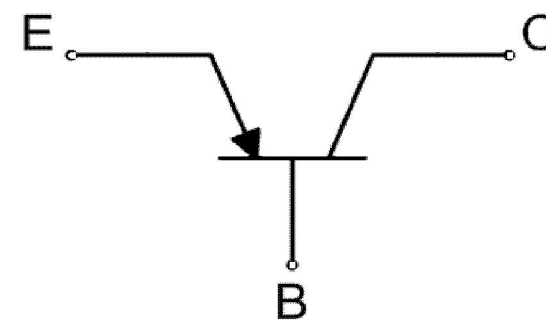
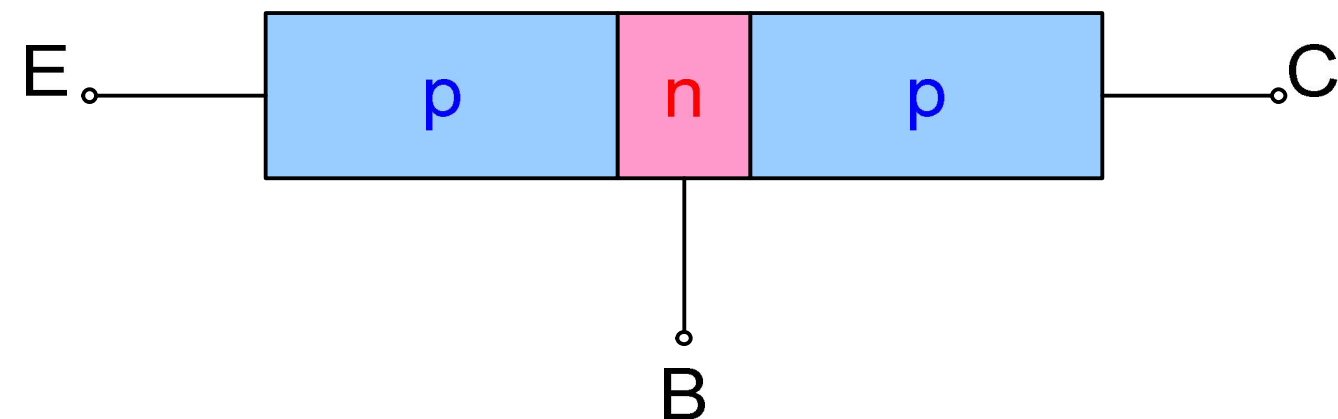
- Bipolarni tranzistor
 - Ustrojstvo, struje i osnovni parametri
 - Earlyjev efekt
 - Ebers-Mollov model
- Unipolarni tranzistor
 - Spojni unipolarni tranzistor (JFET)
 - Unipolarni tranzistor s izoliranim vratima (MOSFET)



Bipolarni tranzistor

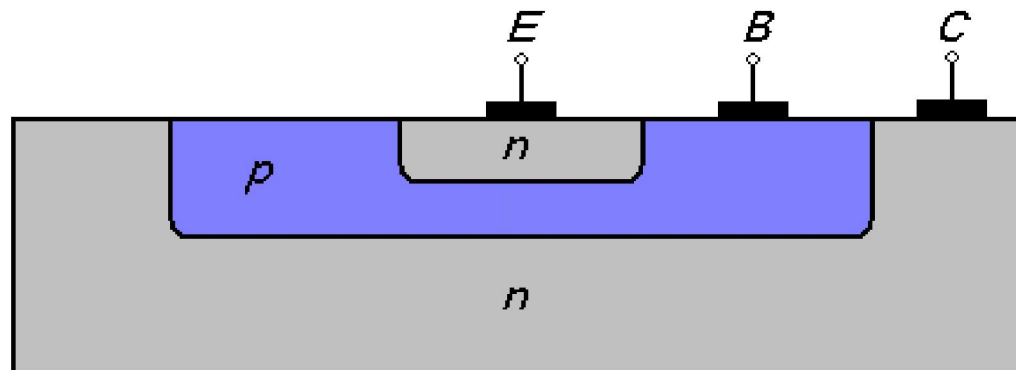
- Bipolar Junction Transistor (BJT)
- **Aktivni** elektroni ki element
- Aktivno djelovanje → primjena u sklopovima pojačala, sklopke
- “**Bipolarni**” – rad tranzistora zasniva se na struji elektrona i šupljina.
- Ustrojstvo → dvostruki pn spoj: **pn** ili **n**
- Tri poluvodička sloja:
 - Emiter (**E**)
 - Baza (**B**)
 - Kolektor (**C**)

Ustrojstvo BJT-a



Osnovni mehanizmi rada BJT-a

- Utiskivanje (**injekcija**) manjinskih nosilaca iz emitera
- Prijenos (**tranzit**) manjinskih nosilaca kroz bazu
- Sakupljanje (**kolekcija**) manjinskih nosilaca na kolektoru.

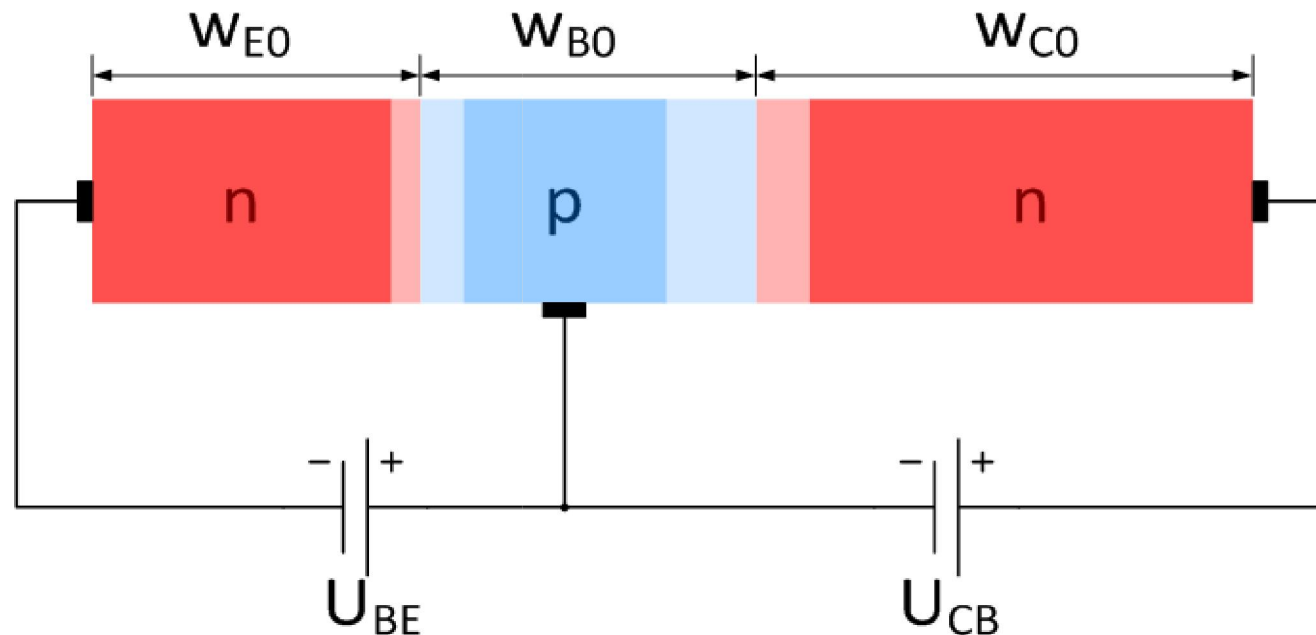


Podruja rada BJT-a

- **Normalno aktivno podruje:** (*forward-active*)
 - Spoj E-B je polariziran propusno, C-B nepropusno
 - **Inverzno aktivno podruje:** (*reverse-active*)
 - E-B je nepropusno, a C-B propusno polariziran
 - **Podruje zasićenja:** (*saturation*,
 - E-B i C-B su propusno polarizirani
 - **Podruje zapiranja:** (*cutoff*,
 - E-B i C-B su nepropusno polarizirani
- Logika **1**
- Logika **0**

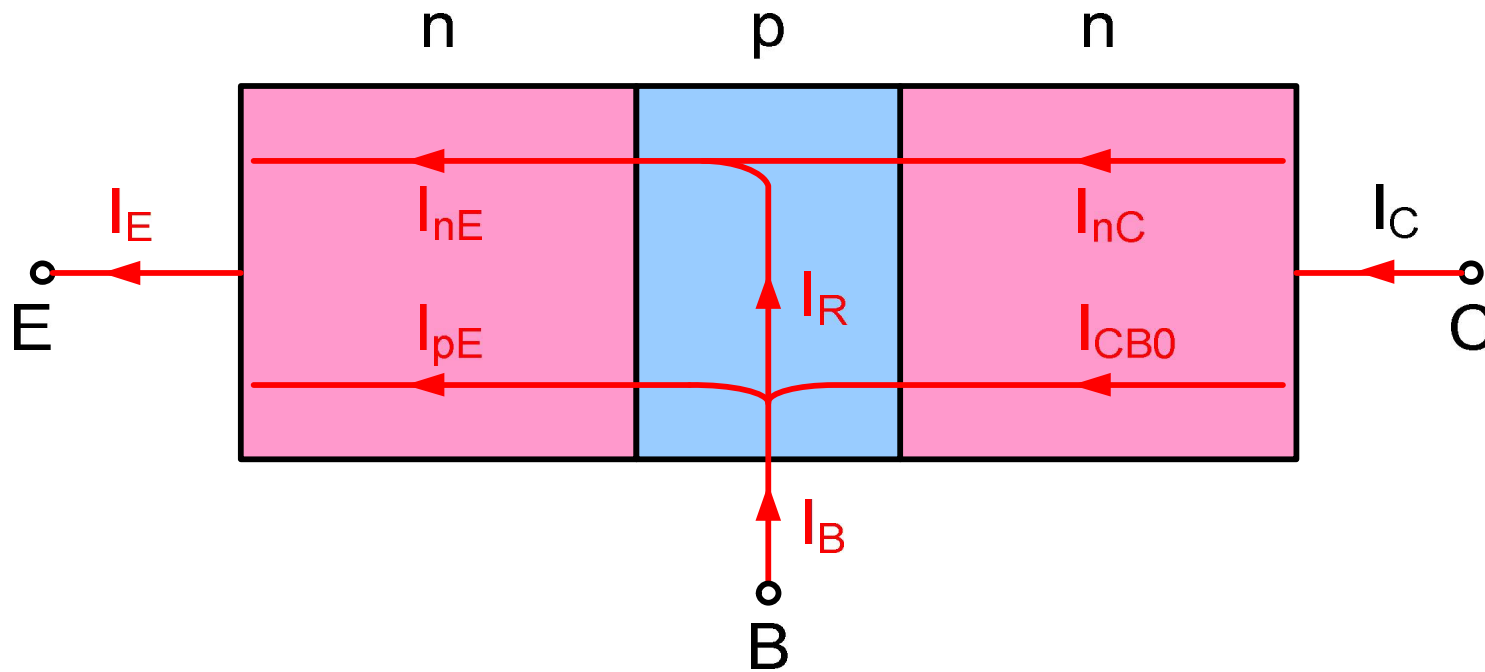
BJT kao pojačalo

- Normalno aktivno područje
- Tranzistorski efekt – bipolarno međudjelovanje dvaju pn spojeva
- Promjenom napona na spoju E-B mijenja se struja kroz spoj B-C



Struje normalno polariziranog BJT-a

- Stvarni smjerovi struja:



- Osnovna strujna jednađžba:

$$I_E = I_B + I_C$$

Osnovni parametri tranzistora

- **Djelotvornost emitera –**

$$\gamma = \frac{I_{pE}}{I_E} \quad (\text{pnp})$$

$$\gamma = \frac{I_{nE}}{I_E} \quad (\text{npn})$$

- **Prijenosni faktor baze –**

$$\beta^* = \frac{I_{pC}}{I_{pE}} \quad (\text{pnp})$$

$$\beta^* = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} \quad (\text{npn})$$

- **Strujno pojačanje u spoju ZB -**

$$\alpha = \frac{I_{pC}}{I_E} \quad (\text{pnp})$$

$$\alpha = \frac{I_{nC}}{I_E} \quad (\text{npn})$$

Zadatak 15.

- Silicijski pnp tranzistor radi u normalnom aktivnom području i radi sa strujom emitera $I_E = 10 \text{ mA}$. Odrediti struje I_B i I_C i njihove sastavnice, ako je zadano: $\beta = 0,981$, $\beta^* = 0,9994$, $T = 300 \text{ K}$, $I_{CB0} = 0$.

Zadatak 16.

- Silicijski npn tranzistor radi u normalnom aktivnom području. Na sobnoj temperaturi pri struji baze $I_B = 90 \mu\text{A}$ faktor strujnog pojačanja iznosi $\beta = 0,982$, struja $I_{CB0} = 9,82 \text{ nA}$, a $\alpha = 0,984$. Odrediti sve ostale struje i njihove sastavnice.

Djelotvornost emitera

- Iz Shockleyjeve jednadžbe:

$$\gamma = \left[1 + \frac{D_{pE} \cdot N_{AB} \cdot L_{nB} \cdot th(w_B / L_{nB})}{D_{nB} \cdot N_{DE} \cdot L_{pE} \cdot th(w_E / L_{pE})} \right]^{-1}$$

- Ako je emiter široka, a baza uska strana:

$$\gamma = \left[1 + \frac{D_{nE} \cdot N_{DB} \cdot w_B}{D_{pB} \cdot N_{AE} \cdot L_{nE}} \right]^{-1} \quad (\text{pnp})$$

$$\gamma = \left[1 + \frac{D_{pE} \cdot N_{AB} \cdot w_B}{D_{nB} \cdot N_{DE} \cdot L_{pE}} \right]^{-1} \quad (\text{nnp})$$

Zadatak 17.

- Izračunati djelotvornost emitera silicijskog npn tranzistora ako gustoća primjese u emiteru iznosi $N_{DE}=10^{17} \text{ cm}^{-3}$, a u bazi $N_{AB}=10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Širina baze je $w_B=1 \text{ }\mu\text{m}$, $T=300 \text{ K}$. Pretpostavka je da je emiter široka, a baza uska strana.

Prijenosni faktor baze

- Pretpostavka: **baza je uska strana!**
- → nužan uvjet za tranzistorski efekt

$$\beta^* = \frac{1}{1 + \frac{w_B^2}{2 \cdot L_{nB}^2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{w_B}{L_{nB}} \right)^2$$

Zadatak 18.

- Baza silicijskog pnp tranzistora ima gustoću donora $N_{DB}=5,5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, a njena tehnološka širina iznosi $w_{B0}=2 \text{ }\mu\text{m}$. Gustoća akceptora u emiteru iznosi $N_{AE}=10^{17} \text{ cm}^{-3}$, a u kolektoru $N_{AC}=10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Ako su naponi $U_{EB}=0,51 \text{ V}$ i $U_{CB}=-2 \text{ V}$, izračunati prijenosni faktor baze * pri $T=300 \text{ K}$.