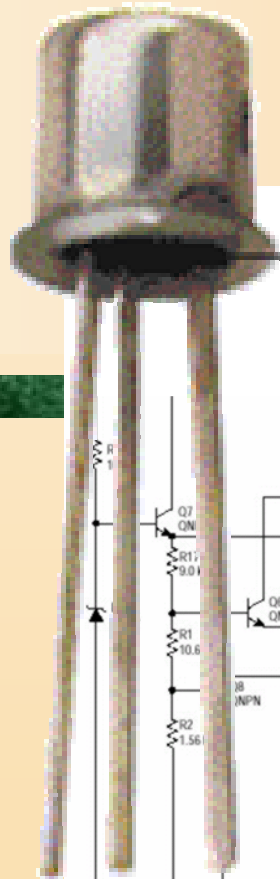
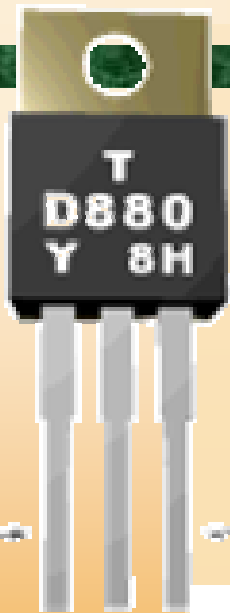
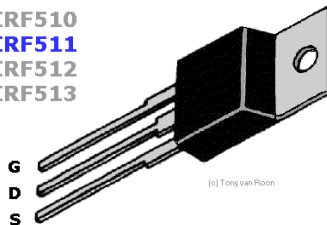


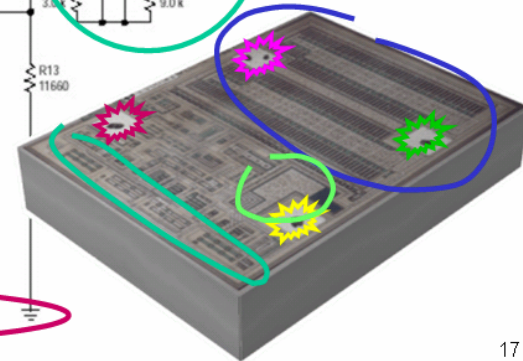
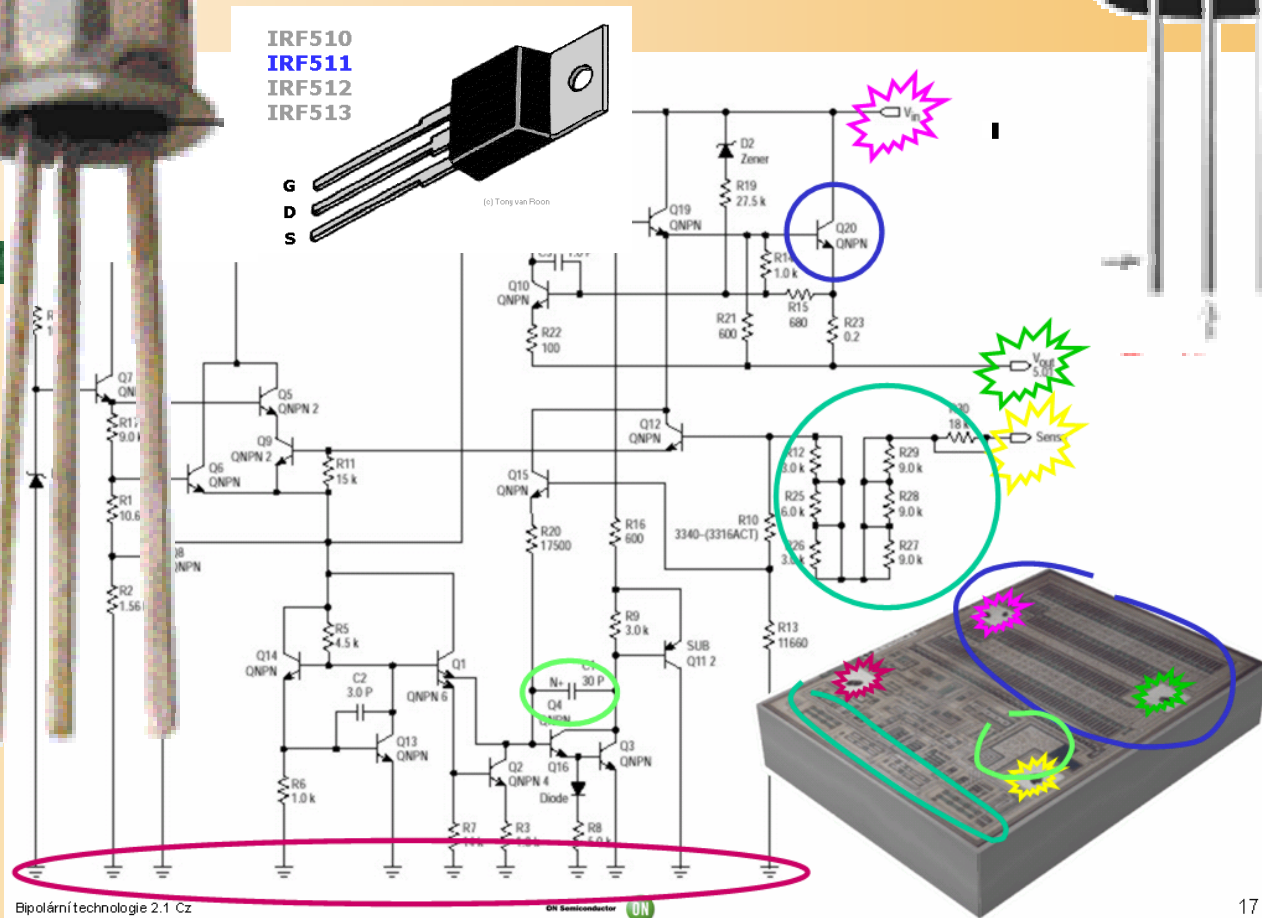
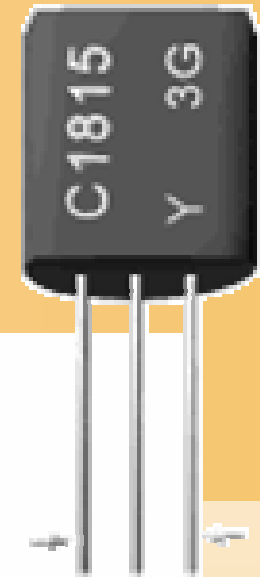
# TRANZISTORY



IRF510  
IRF511  
IRF512  
IRF513



(c) Tony van Poon



Bipolární technologie 2.1 Cz

ON Semiconductor

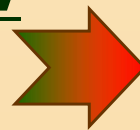


# Definícia

## Tranzistor (Transfer resistor)

- trojelektródový polovodičový prvok, ktorý sa používa na zosilňovanie, spínanie alebo generovanie elektrického signálu

Transfer resistor



**funkcia tranzistora**  
≈ určitá transformácia  
odporu zo vstupu na

**výstup**

# Základné delenie tranzistorov

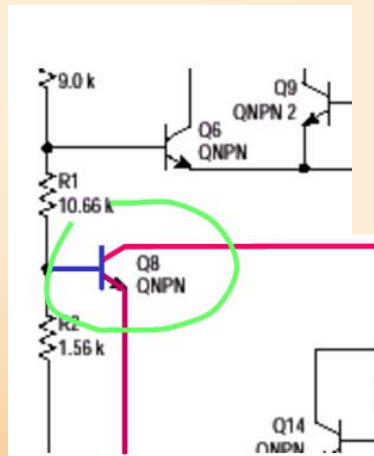
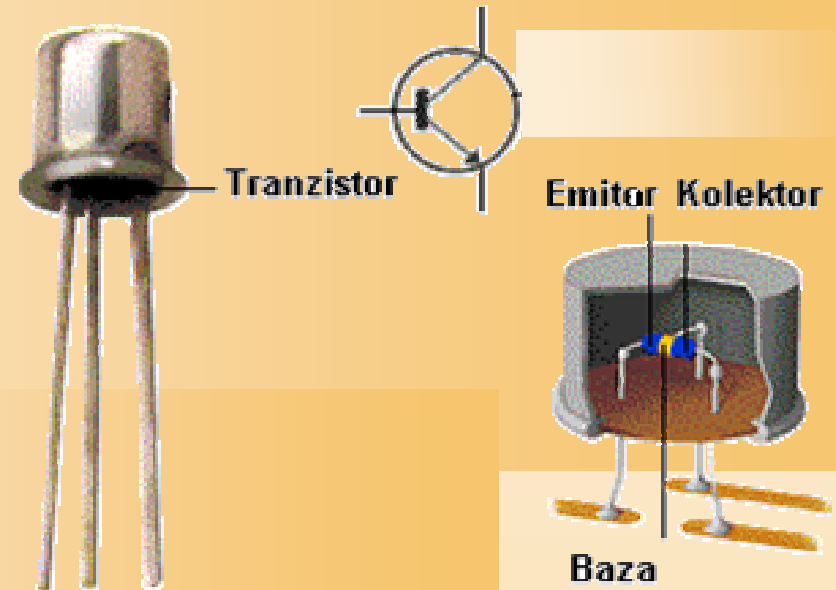
## bipolárne tranzistory BT

- pracujú na princípe injekcie a extrakcie voľných nosičov náboja v polovodiči
- na základnom mechanizme činnosti BT sa podieľajú oba typy nosičov náboja: elektróny aj diery

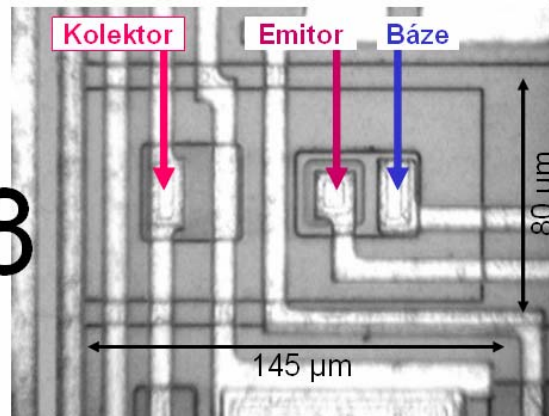
## unipolárne tranzistory UT

- pracujú na princípe zmeny elektrickej vodivosti kanála pomocou priečného elektrického poľa
- na základnom mechanizme činnosti UT sa podieľa len jeden typ náboja: majoritný (väčšinový)

# Bipolárny tranzistor



Q8

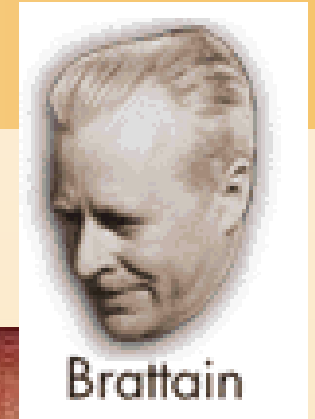


# Objav storočia

## Princíp BT



Bardeen



Brattain

## Teória BT



Shockley



**1956 Nobelova cena za fyziku**

## Bellove laboratória

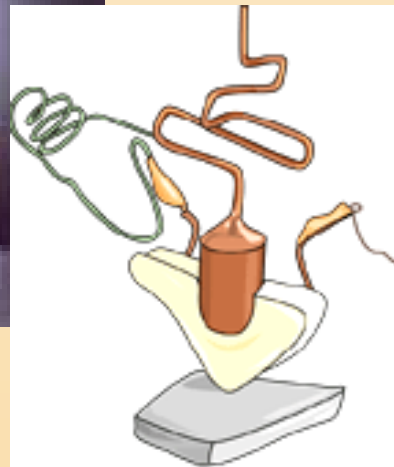
Mauntain Avenue, Murray Hill v New Yorku



1. hrotový BT

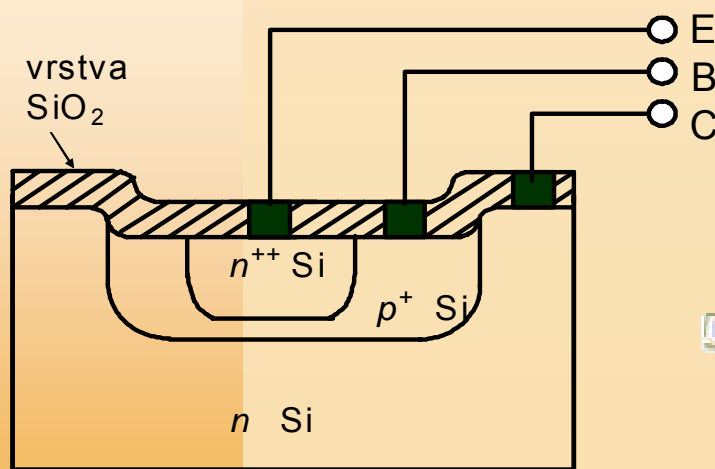
**16. 12. 1947**

**oficiálne predstavený 1948**



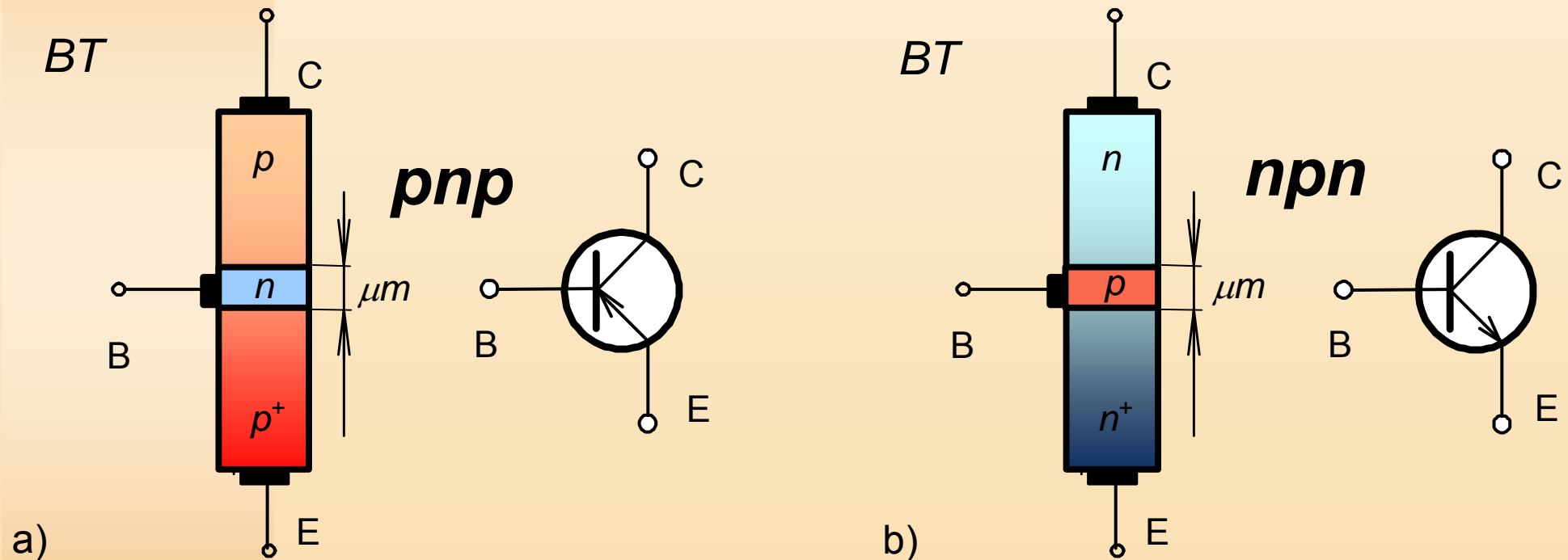
# Konštrukcia BT

- BT** - tvoria tri oblasti rôzneho typu vodivosti usporiadané za sebou v jednom monokryštáli polovodiča (*npn*, *pnp*)
- Každá oblasť – **emitor** (E), **báza** (B) i **kolektor** (C) – má vyvedenú elektródu ohmickým (vodivým) kontaktom



- Krajné oblasti – emitor a kolektor**
  - nie sú navzájom vodivo prepojené
  - sú dotované prímiesami rovnakého typu
  - **emitor je najvyššie** dotovaná a **kolektor najnižšie** dotovaná oblasť BT
- Stredná oblasť – báza**
  - je veľmi tenká, rádovo 1  $\mu\text{m}$
  - vysoko dotovaná

# Typy BT (podľa usporiadania typu vodivosti jednotlivých oblastí)



Prierez štruktúry a schematické značky BT typu

a) **pnp**

b) **npn**





# Fyzikálna podstata tranzistorového javu

využíva vlastnosť priepustne polarizovaného *pn* priechodu **injektovať** voľné nosiče náboja z emitora do bázy, prenos nosičov cez bázu a **extrakciu** injektovaných nosičov z bázy kolektorom cez záverne polarizovaný *pn* priechod do výstupného obvodu



# Režim činnosti BT

2  $pn$  priechody – 4 možné kombinácie polarizácií

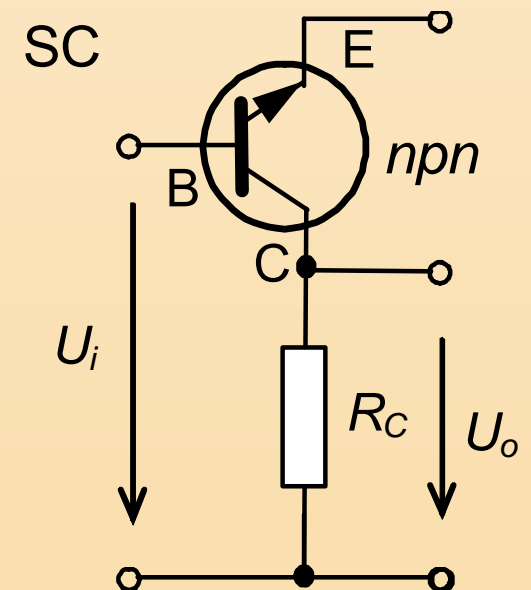
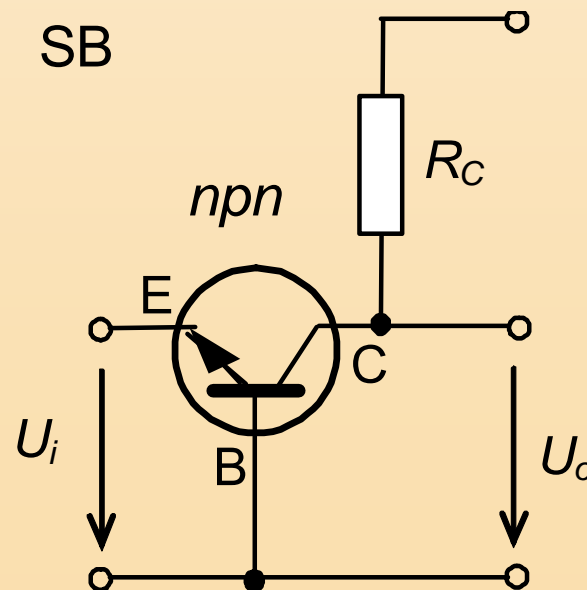
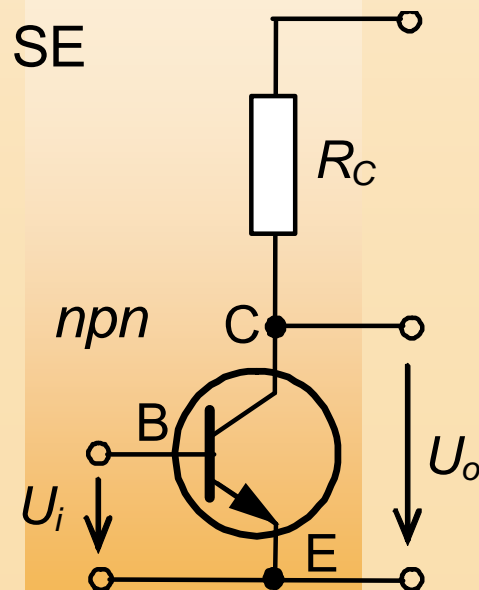
-  **Nevodivý režim** – oba  $pn$  priechody sú polarizované záverne. Tranzistorom prechádzajú len zvyškové zväčša zanedbateľné prúdy
-  **Nasýtený režim** – oba  $pn$  priechody sú polarizované priepustne. Tranzistorom prechádzajú pomerne veľké konštantné prúdy (**saturovaný stav, saturácia** tranzistora)
-  **Aktívny režim** – vstupný  $pn$  priechod je zapojený priepustne a výstupný záverne. Je to pracovné zapojenie, tranzistorom tečú pracovné prúdy
-  **Inverzný režim** – vstupný  $pn$  priechod je polarizovaný záverne a výstupný priepustne. Funkcie vstupného a výstupného, emitorového a kolektorového obvodu sú zamenené

# Základné spôsoby zapojenia BT

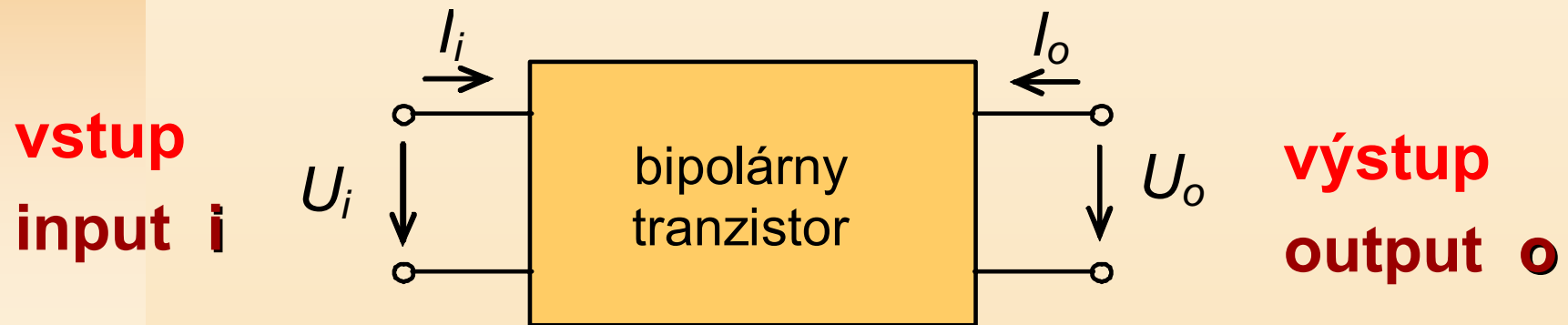
BT má len tri elektródy



BT je možné zapojiť ako dvojbránu tromi rôznymi spôsobmi podľa toho, ktorá elektróda je spoločná pre vstup aj výstup



# Tranzistor ako dvojbrána



Vonkajšie správanie sa dvojbrány, teda súvis vstupných a výstupných napätí a prúdov, môžeme opísať pomocou sústav charakteristík

- **V-A Charakteristika vyjadruje závislosť jednej veličiny od druhej**
- **Vstupné charakteristiky**  $I_i = f(U_i)$  pri  $U_o = \text{konšt.}$
- **Výstupné charakteristiky**  $I_o = f(U_o)$  pri  $I_i = \text{konšt.}$
- **Priame prevodové charakteristiky**  $I_o = f(U_i)$  pri  $U_o = \text{konšt.}$
- **Spätné prevodové charakteristiky**  $U_i = f(I_o)$  pri  $I_i = \text{konšt.}$

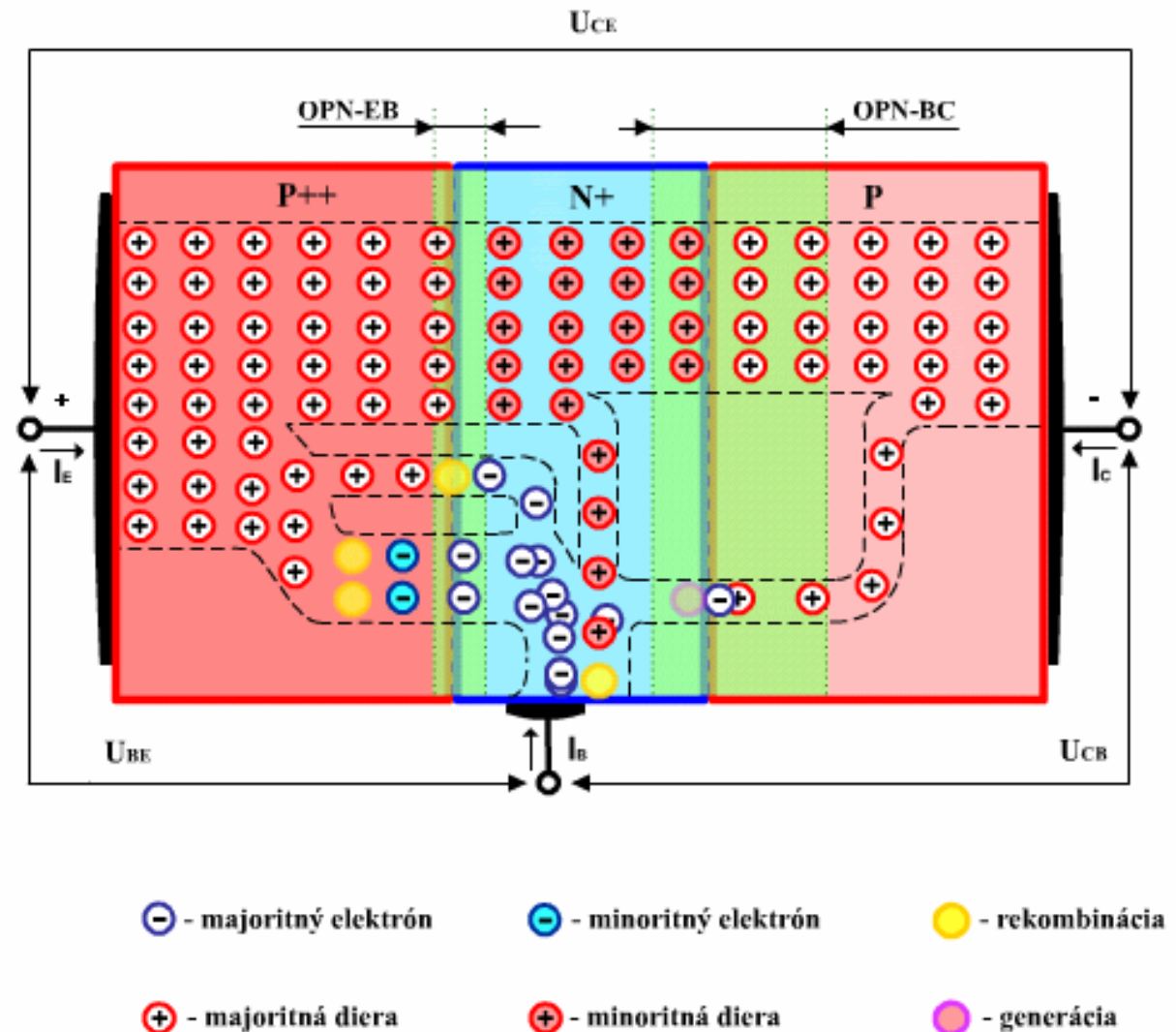
# Fyzikálny princíp činnosti BT SB

- Nesymetrický *pn* priechod
- E vysoko dopovaný
- B nízko dopovaný



viac minoritných nosičov  
je injektovaných do  
nižšie dopovanej časti -  
do bázy

vzdialenosť, do ktorej sú  
nosiče injektované je  
difúzna dĺžka  $L_D$



# Fyzikálny princíp činnosti *pnp* BT SB

Do blízkosti pn priechodu E-B umiestnime druhý – záverne polarizovaný pn priechod B-C, tak aby difúzna dĺžka  $L_D$  bola väčšia ako šírka bázy  $w$

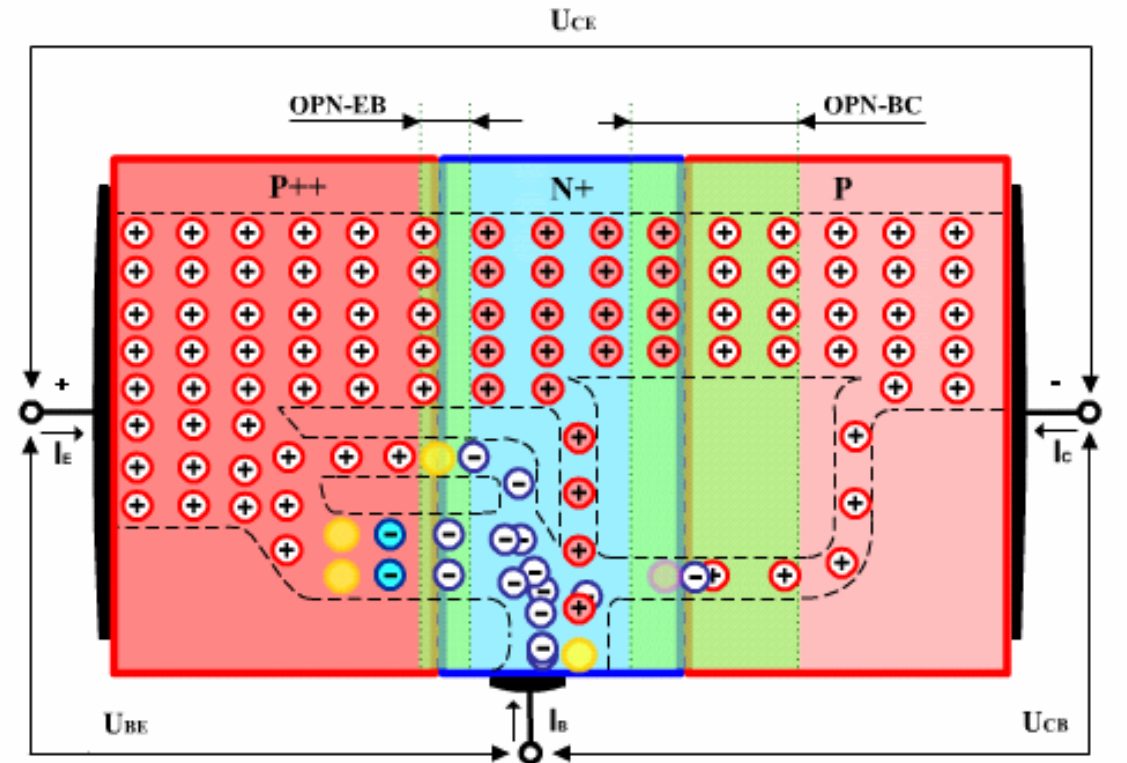


väčšina injektovaných nosičov z emitora do bázy preletí cez bázu do kolektora, len malá časť injektovaných (minoritných) nosičov v báze zrekombinuje



bázový prúd  $I_B$

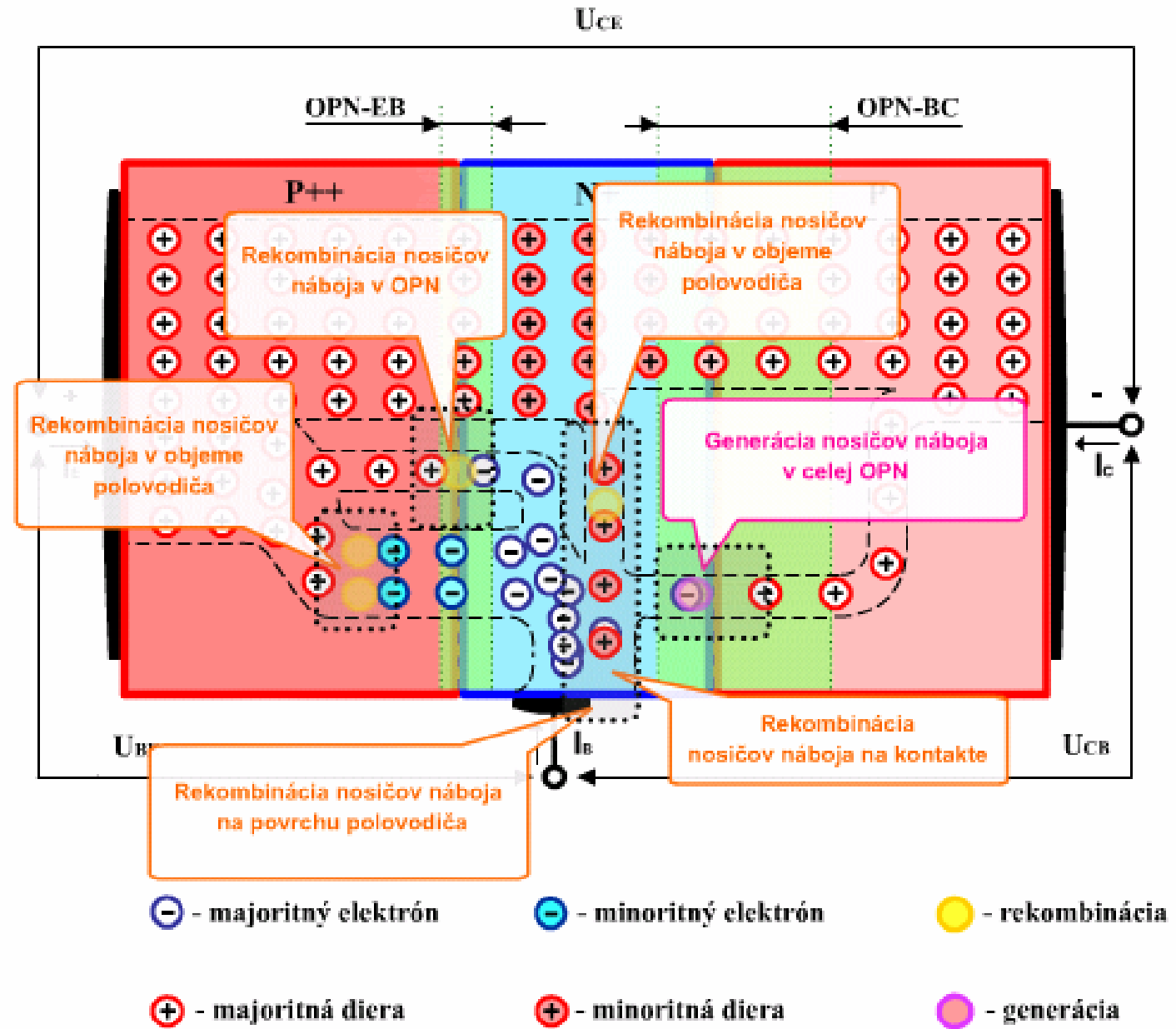
$$I_E = I_C + I_B$$



- ⊖ - majoritný elektrón
- ⊕ - majoritná diera
- ⊖ (blue) - minoritný elektrón
- ⊕ (blue) - minoritná diera
- (yellow) - rekombinácia
- (purple) - generácia

# Zložky bázového prúdu $I_B$ - príspevky

- ▣ objemová rekombinácia v emitore
- ▣ objemová rekombinácia v báze
- ▣ nárazová ionizácia v OPN B-C
- ▣ tepelná generácia v celom objeme
- ▣ rekombinácia na kontakte bázy
- ▣ rekombinácia na povrchu bázy



# Fyzikálny princíp činnosti *pnp* BT ináč SE

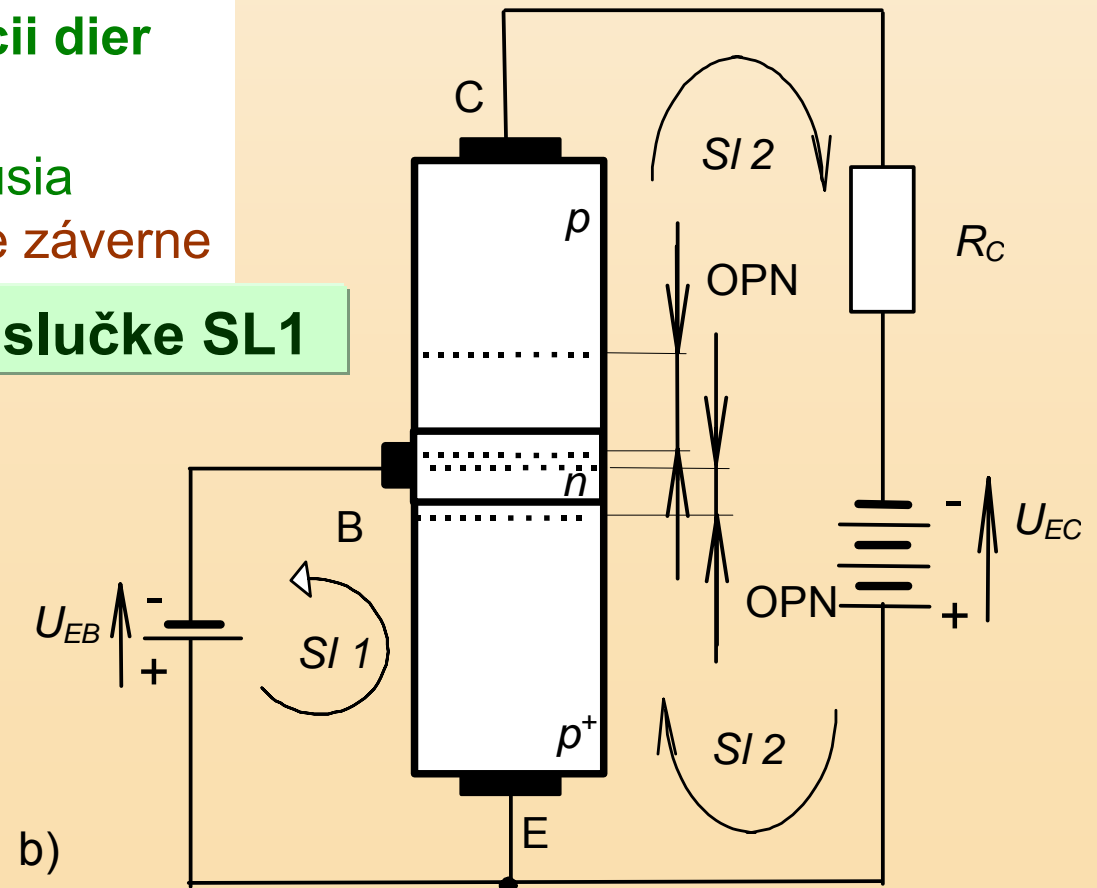
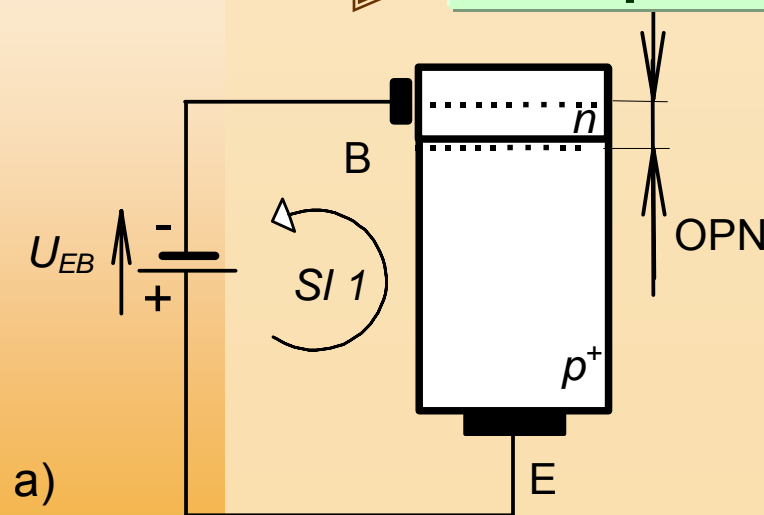
V aktívnom režime je dióda polarizovaná priepustne

tečie ňou relatívne veľký prúd

vo vnútri polovodiča dochádza k injekcii dier z emitora do báze

všetky minoritné nosiče – diery v báze musia zrekombinovať – pn priechod je pre ne záverne polarizovaný

tečie prúd v slučke SL1



# Fyzikálny princíp činnosti BT ináč SE

záverne polarizovaný pn priechod v blízkosti priepustne polarizovaného

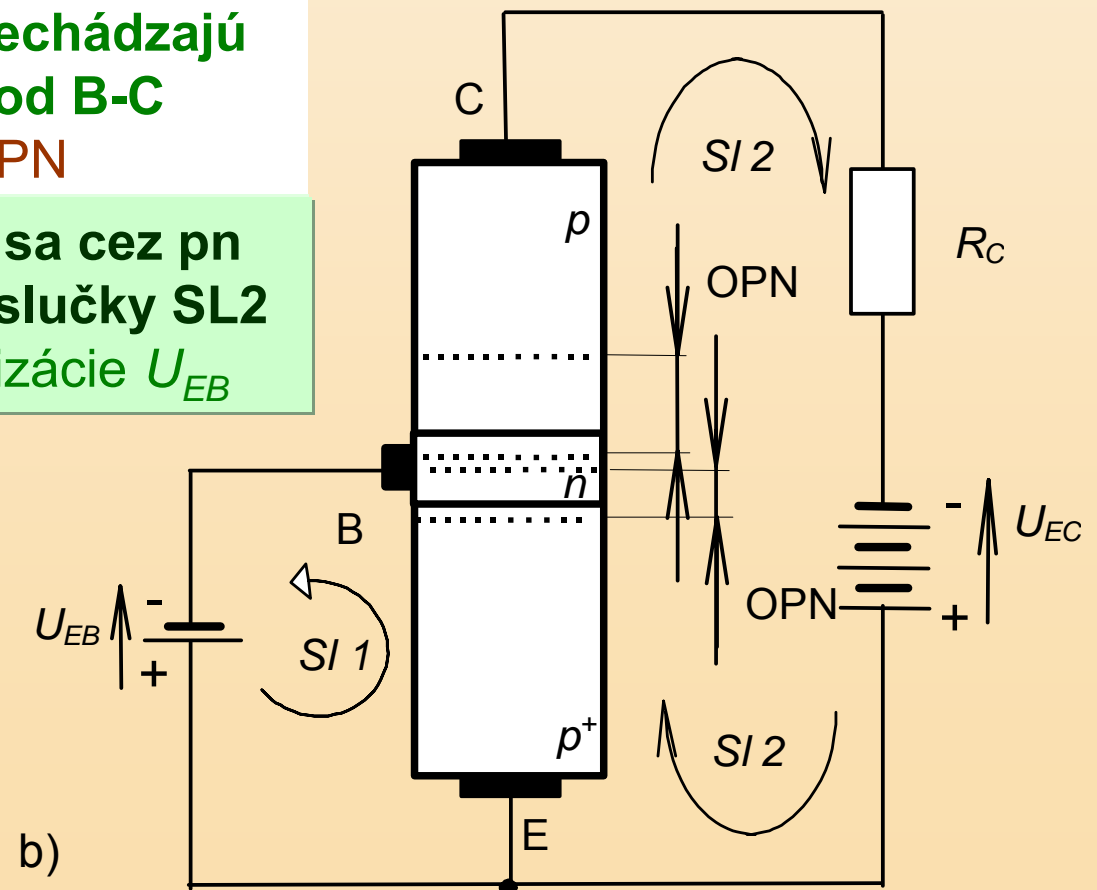
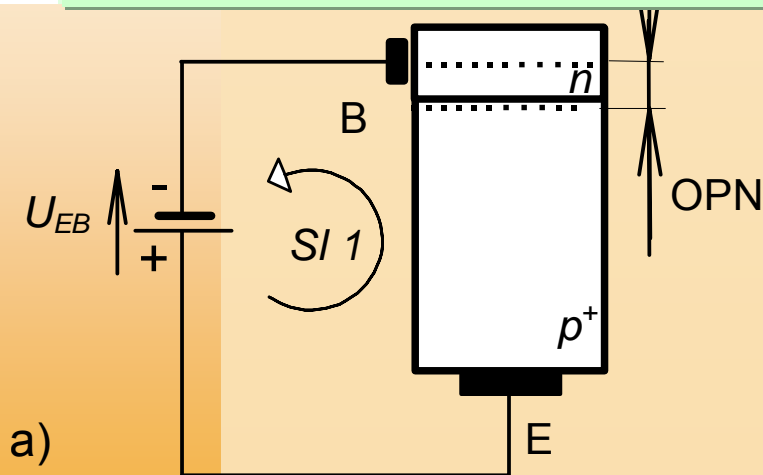
➔ Injekcia dier z oblasti p (emitor) do oblasti n (báza)

minoritné (injektované) diery v báze prechádzajú  
cez záverne polarizovaný pn priechod B-C

- sú vťahované elektrickým poľom v OPN



Dominantná zložka prúdu sa cez pn  
priechod E-B presúva do slučky SL2  
– jej veľkosť závisí od polarizácie  $U_{EB}$



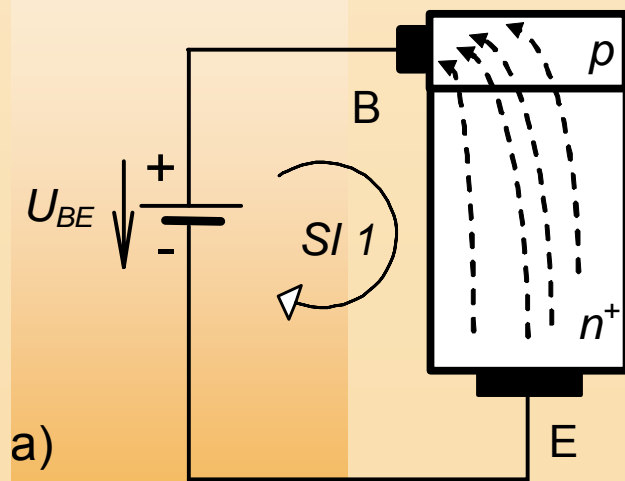


# Fyzikálny princíp činnosti npn BT ináč SE

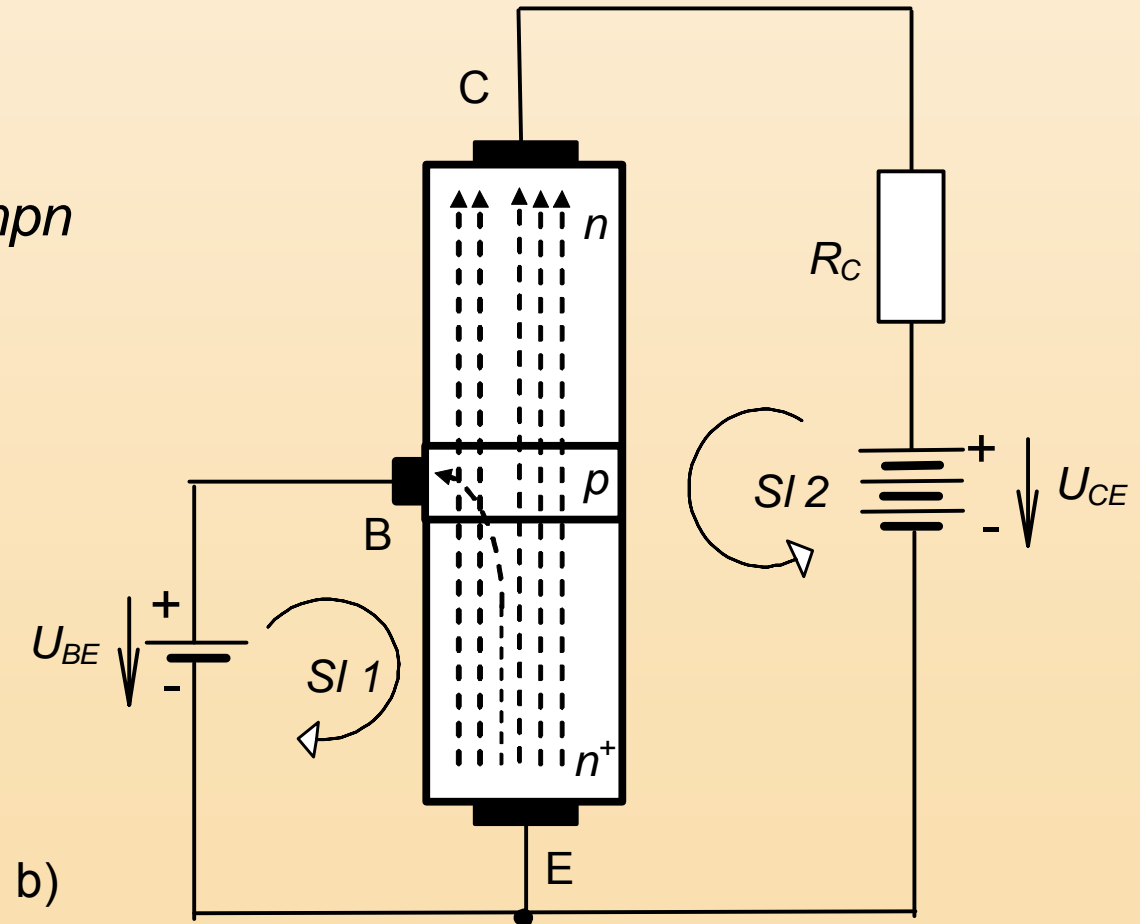
Princíp činnosti bipolárneho tranzistora typu *npn* v zapojení SE

a) dióda emitor – báza

b) tranzistor s naznačeným tokom voľných elektrónov spôsobujúcich tranzistorový jav



*npn*

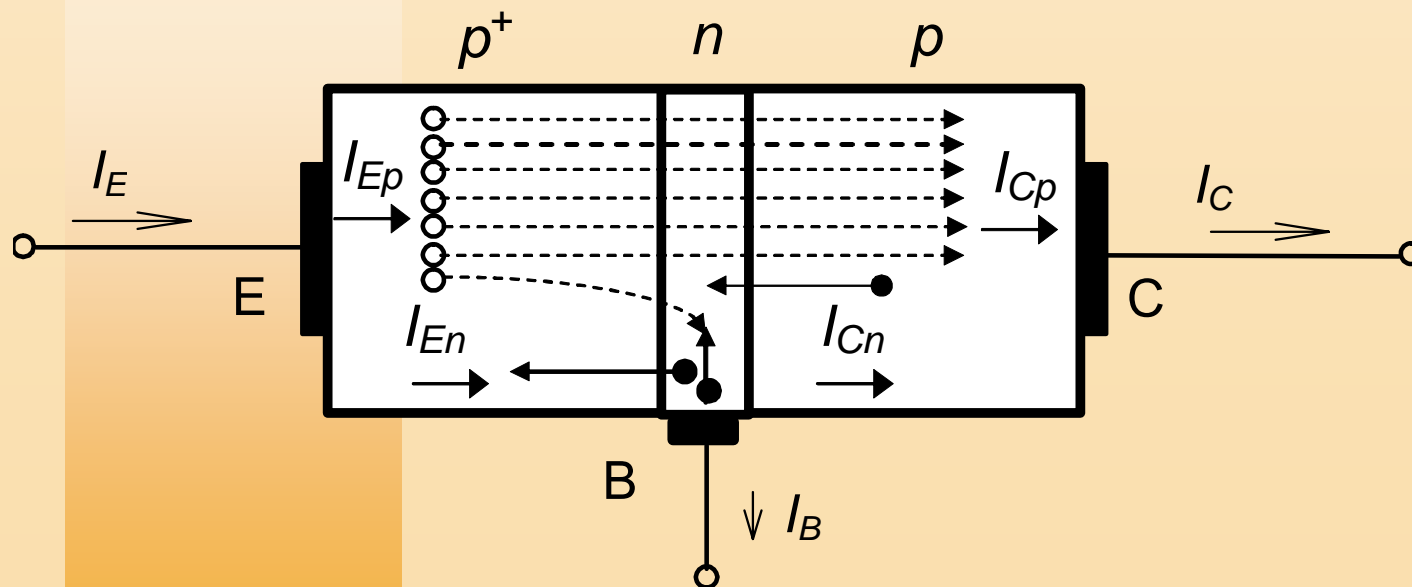


# Rozpis prúdov na elektrónové a dierové zložky

- ❏ Prirodzenou vlastnosťou BT je, že na prenose prúdu sa zúčastňujú **oba typy nosičov náboja, elektróny aj diery**




prúdy elektród tranzistora sa dajú vyjadriť v elektrónových a dierových zložkách prúdov cez *pn* priechody jednotlivých oblastí tranzistora



$$I_E = I_{Ep} + I_{En}$$

$$I_C = I_{Cp} + I_{Cn}$$

# Prúdový zosilňovací činiteľ $\alpha$ BT v zapojení SB

 vyjadruje prenos prúdu cez tranzistor z emitora do kolektora pri konštantnom napätí na kolektore

$$\alpha = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{U_{CB} = \text{konst.}}$$

vyjadrime prúdy v elektrónových a dierových zložkách




$$\alpha = \frac{\Delta I_{Cp} + \Delta I_{Cn}}{\Delta I_{Ep} + \Delta I_{En}} = \frac{\Delta I_{Cp} + \Delta I_{Cn}}{\Delta I_{Ep} + \Delta I_{En}} \cdot \frac{\Delta I_{En}}{\Delta I_{En}}$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_{En}}{\Delta I_{Ep} + \Delta I_{En}} \cdot \frac{\Delta I_{Cn}}{\Delta I_{En}} \cdot \frac{\Delta I_{Cp} + \Delta I_{Cn}}{\Delta I_{Cn}} = \gamma \cdot \alpha_T \cdot \alpha_C$$

# Prúdový zosilňovací činiteľ $\alpha$ BT v zapojení SB

$$\alpha = \gamma \cdot \alpha_T \cdot \alpha_C$$

kvantitatívne vystihuje fyzikálne procesy  
v tranzistore opísané v predchádzajúcej časti

-   $\gamma$  je **účinnosť emitora** (injekčná alebo emisná účinnosť) vyjadrujúca pomer prírastku elektrónového prúdu emitora k celkovému prírastku emitorovému prúdu. Účinnosť emitora *npn* tranzistora je blízka ale menšia ako 1.
-   $\alpha_T$  je **bázový prenosový činiteľ** (transportný činiteľ). Vyjadruje aký podiel injektovaných elektrónov z emitora do bázy sa dostane až ku kolektoru. V oblasti bázy sú injektované nosiče – elektróny minoritnými, preto ľahko rekombinujú s majoritnými dierami.
-   $\alpha_C$  je **kolektorový zosilňovací činiteľ**. Vyjadruje pomer prírastku celkového prúdu kolektora k prírastku jeho dierovej zložky.

# Prúdový zosilňovací činiteľ $\beta$ BT v zapojení SE

- vyjadruje prenos prúdu cez tranzistor z bázy do kolektora pri konštantnom napätí na kolektore

$$\beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = konst}$$

vyjadrime pomocou  $\alpha$

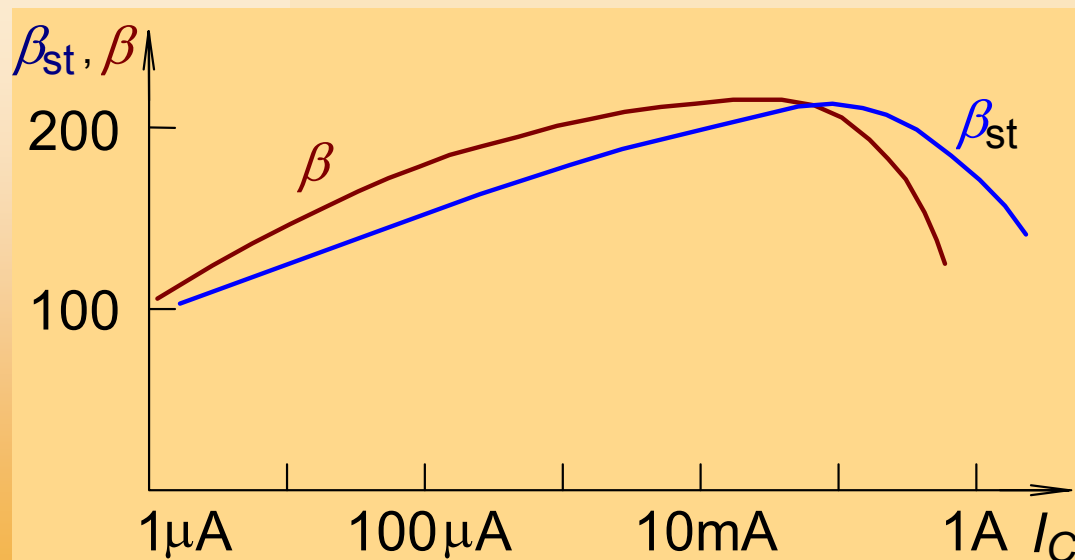
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \cdot \frac{\Delta I_E}{\Delta I_E} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C} \cdot \frac{\Delta I_E}{\Delta I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

- Praktické hodnoty  $\alpha$  sa blížia k 1, v praxi v reálnych tranzistoroch sa pohybujú od 0,98 až po 0,999
- Praktické hodnoty  $\beta$  v reálnych tranzistoroch sa pohybujú od 10 až po 1000

# Prúdový zosilňovací činiteľ $\beta$ BT v zapojení SE

- Statický prúdový zosilňovací činiteľ  $\beta_{st}$

$$\beta_{st} = \frac{I_C}{I_B}$$



- Dynamický prúdový zosilňovací činiteľ  $\beta$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{U_{CE} = konst}$$

Závislosť prúdového zosilňovacieho činiteľa od kolektorového prúdu

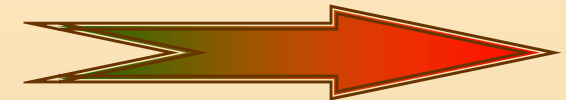
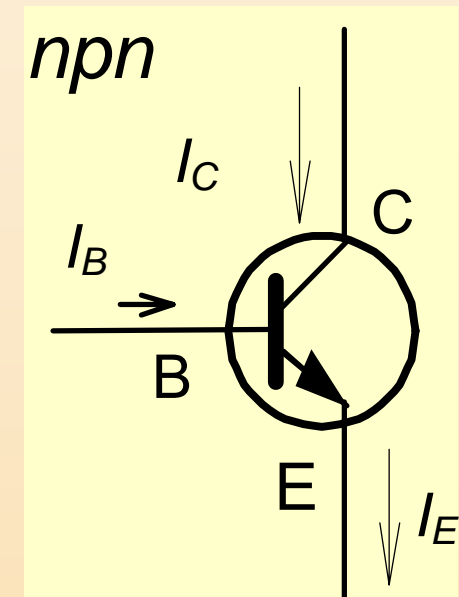
# Vzťahy medzi jednosmernými prúdmi BT

## Kirchhofov zákon

$$I_E = I_C + I_B$$

$I_C$  je tvorený dvoma prúdovými zložkami

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0}$$



prúdom injektovaných  
nosičov z emitora

zvyškovým prúdom kolektora BT  
v zapojení SB pri odpojenej báze

v prvom priblížení tento vzťah môžeme zjednodušiť na

$$I_C \approx \alpha \cdot I_E$$

# Vzťahy medzi jednosmernými prúdmi BT

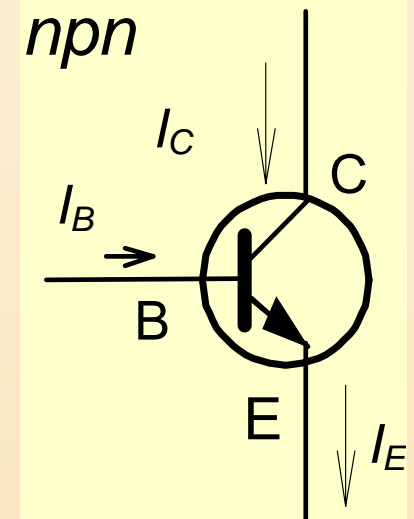


kombináciou a úpravou dostaneme

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot I_B + \frac{1}{1-\alpha} \cdot I_{CB0}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B + (1 + \beta) \cdot I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B = (I_B + I_{CB0}) \cdot (1 + \beta)$$



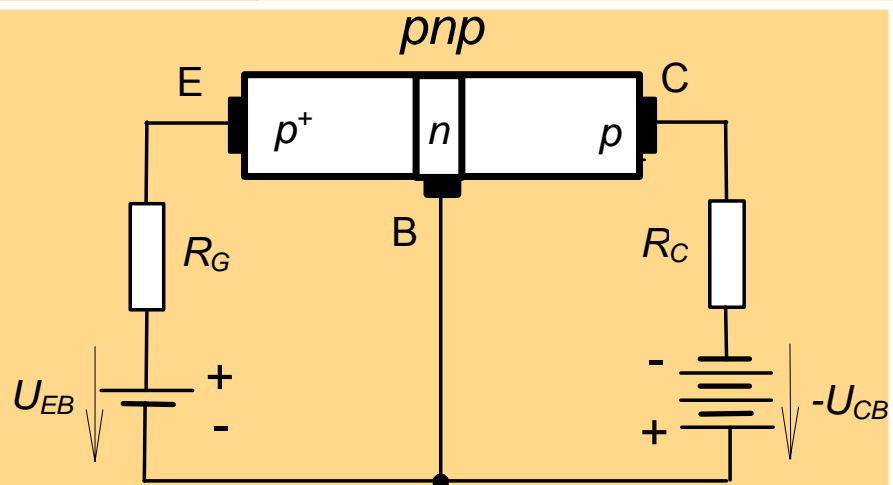
môžeme zanedbať

v prvom priblížení tento vzťah môžeme zjednodušiť na

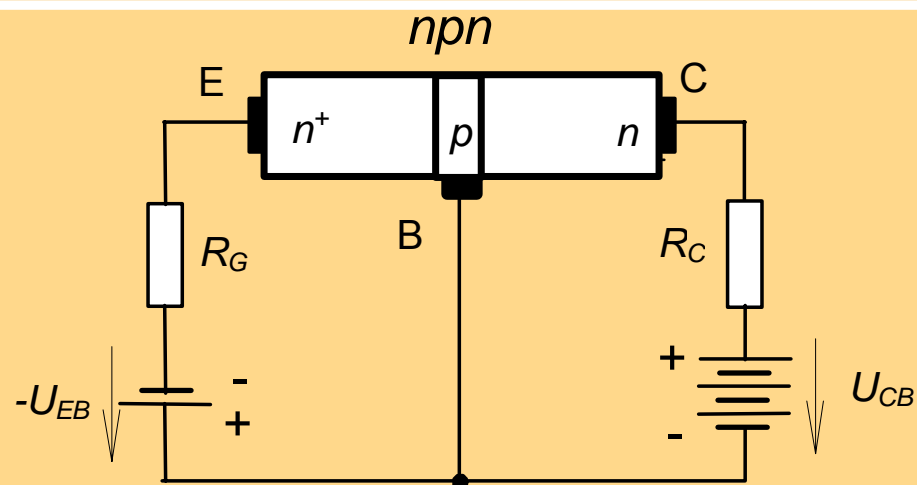
$$I_C \approx \beta \cdot I_B$$



# BT v zapojení so spoločnou bázou

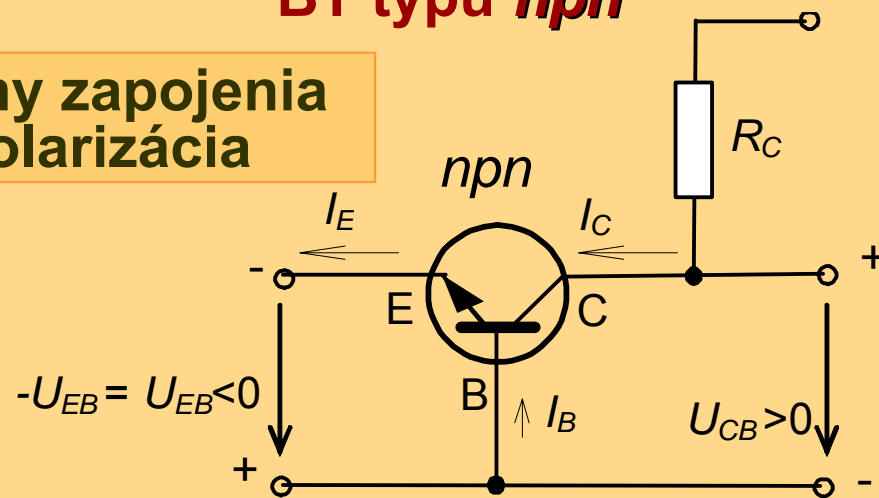
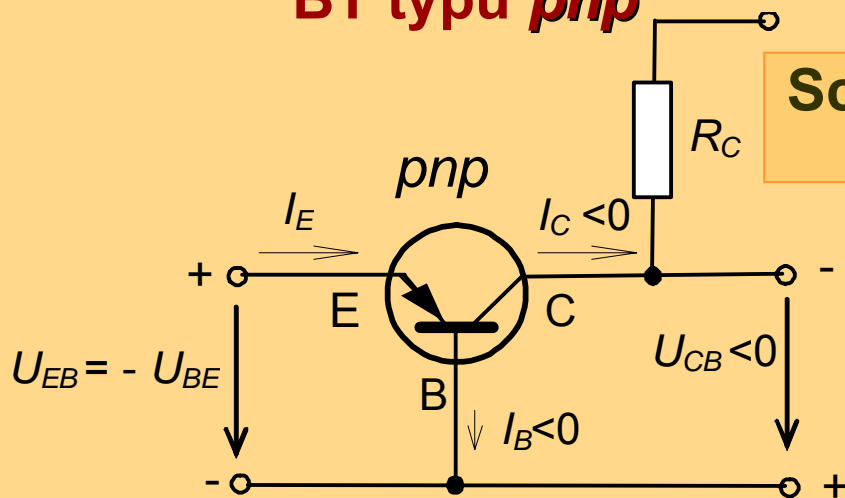


**BT typu pnp**



**BT typu npn**

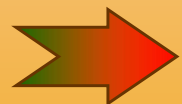
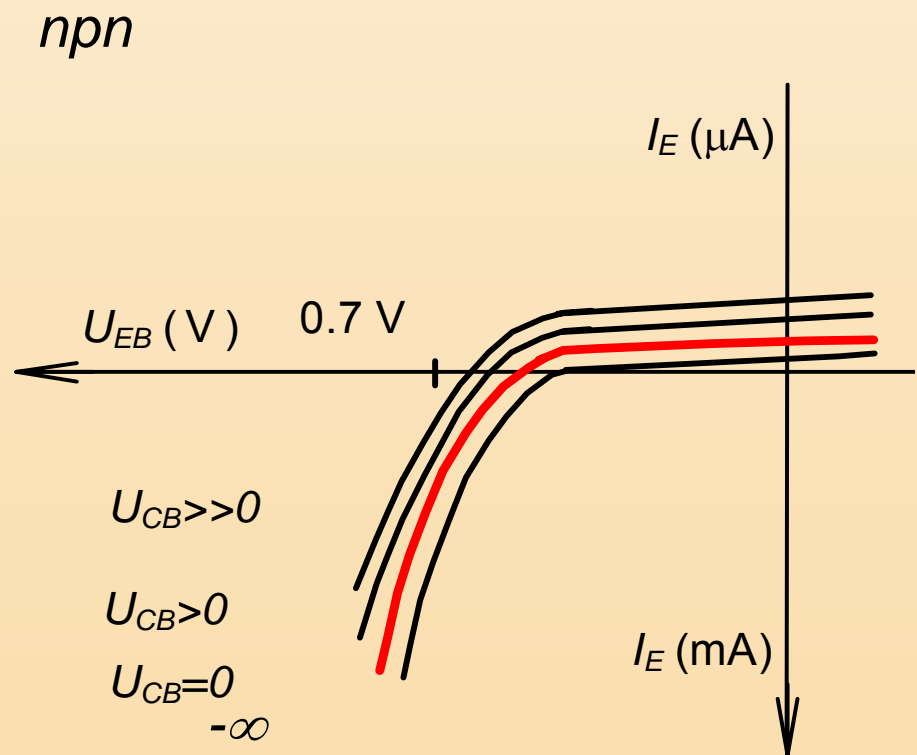
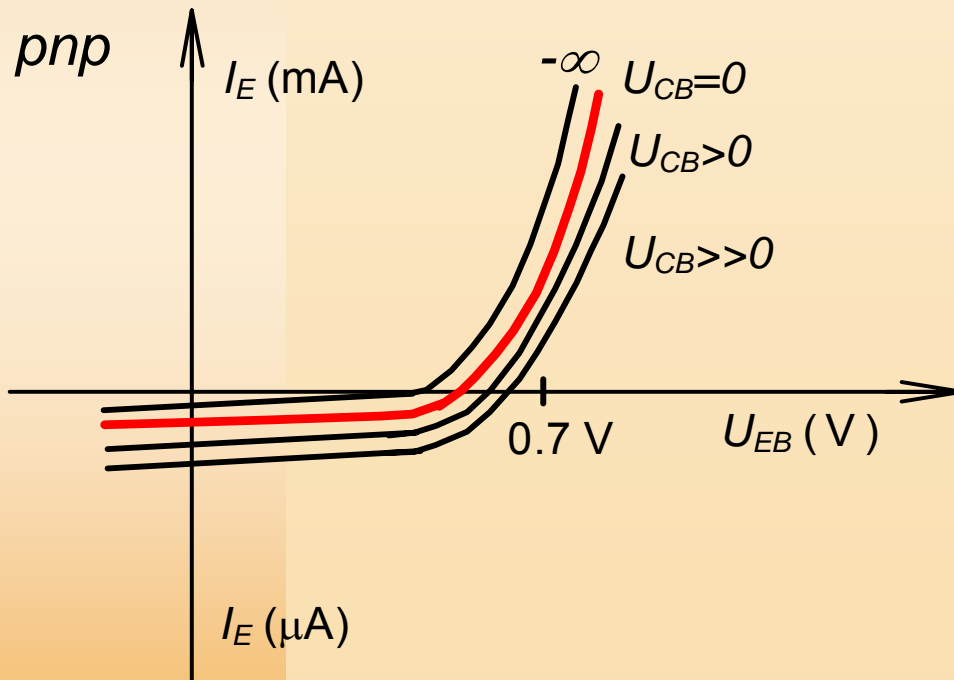
**Schémy zapojenia + polarizácia**



# Volt-ampérové charakteristiky BT SB

## Vstupné VACH

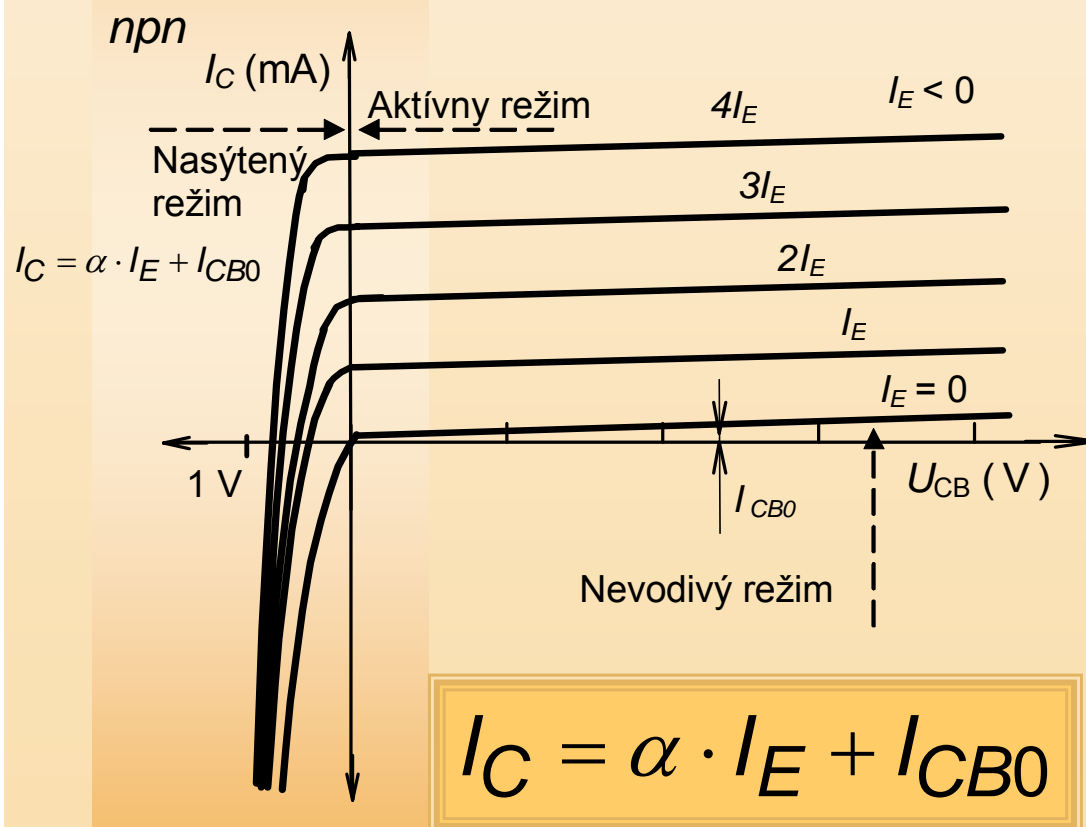
$$I_E = f(U_{EB}) \Big|_{U_{CB} = konst.}$$



VACH pn priechodu **E-B**

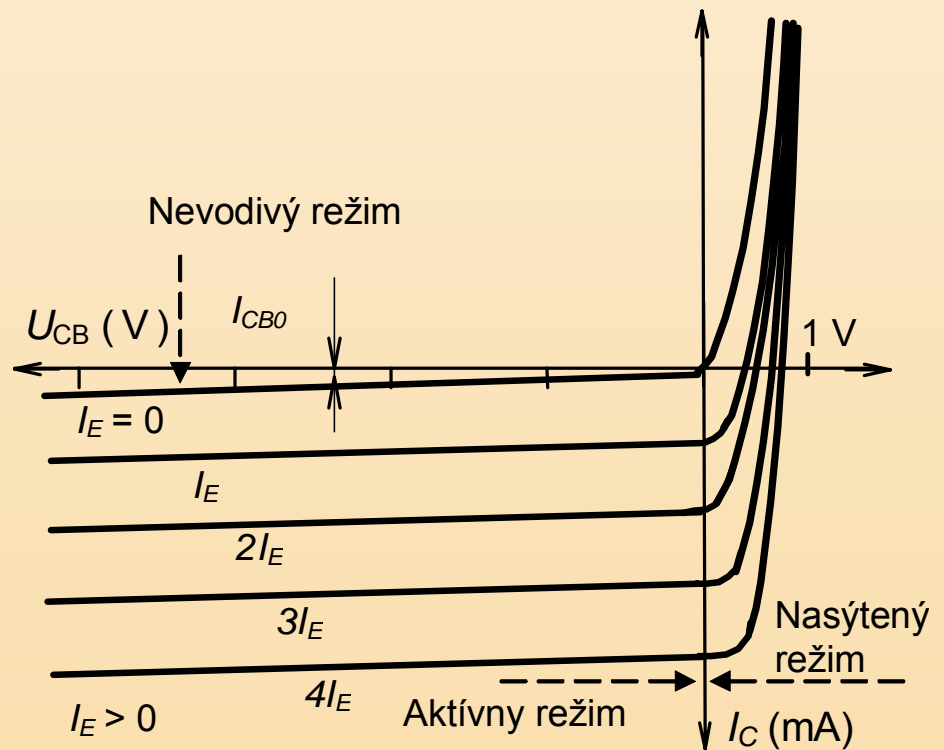
# Volt-ampérové charakteristiky BT SB

## Výstupné VACH



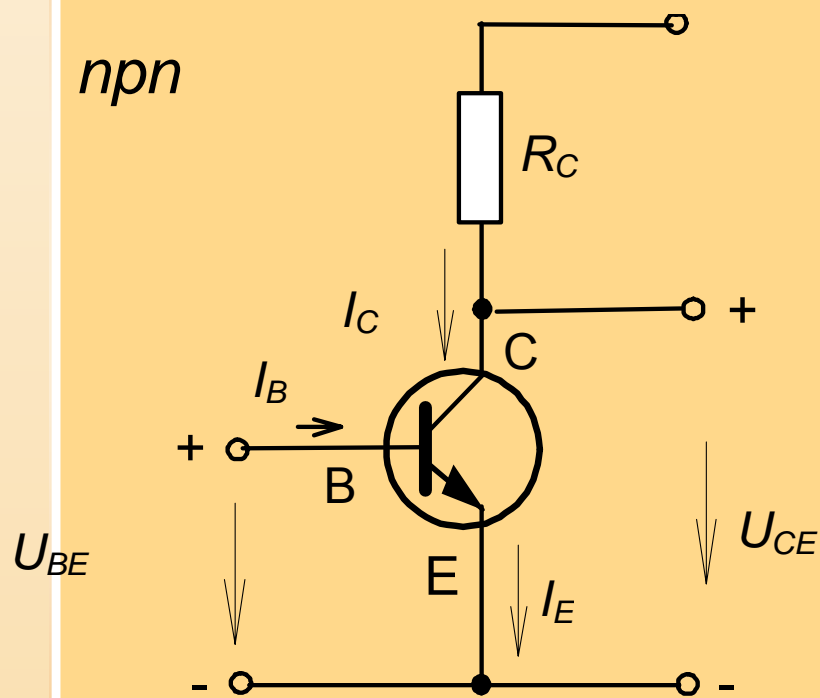
pnp

$$I_C = f(U_{CB}) \Big|_{I_E = \text{konst.}}$$



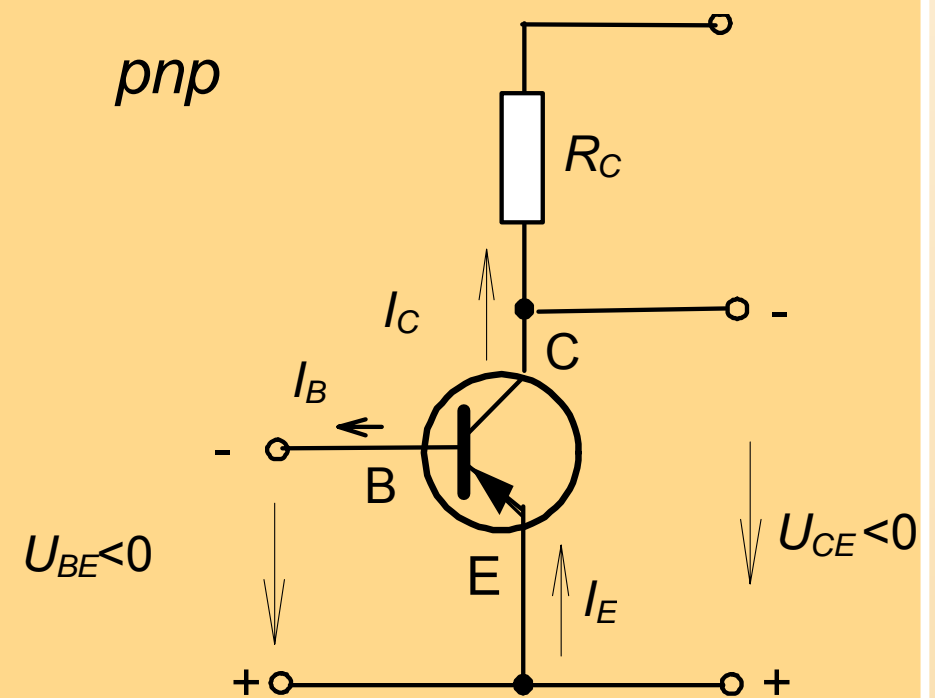
pri  $I_E = 0$  tečie cez kolektor prúd  $I_{CB0}$   
 = zvyškový prúd kolektora  $I_{CB0}$  (odpojený emitor)

# BT v zapojení so spoločným emitorom



**BT typu *npn***

**Schémy zapojenia  
+ polarizácia**

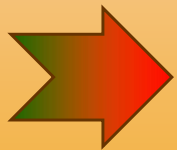
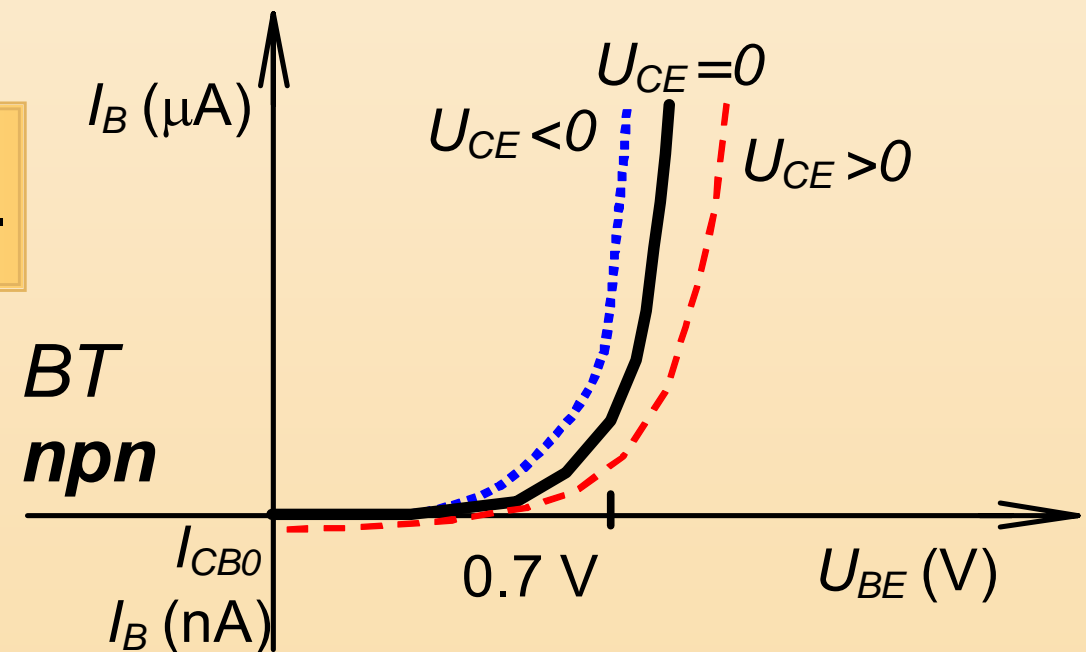


**BT typu *pnp***

# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Vstupné VACH

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{konst.}}$$



VACH pn priechodu **E-B**

# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Napät'ová prevodová VACH

Ak  $I_C \approx \beta_{stat} \cdot I_B$  potom  $I_C \approx f(U_{BE})$

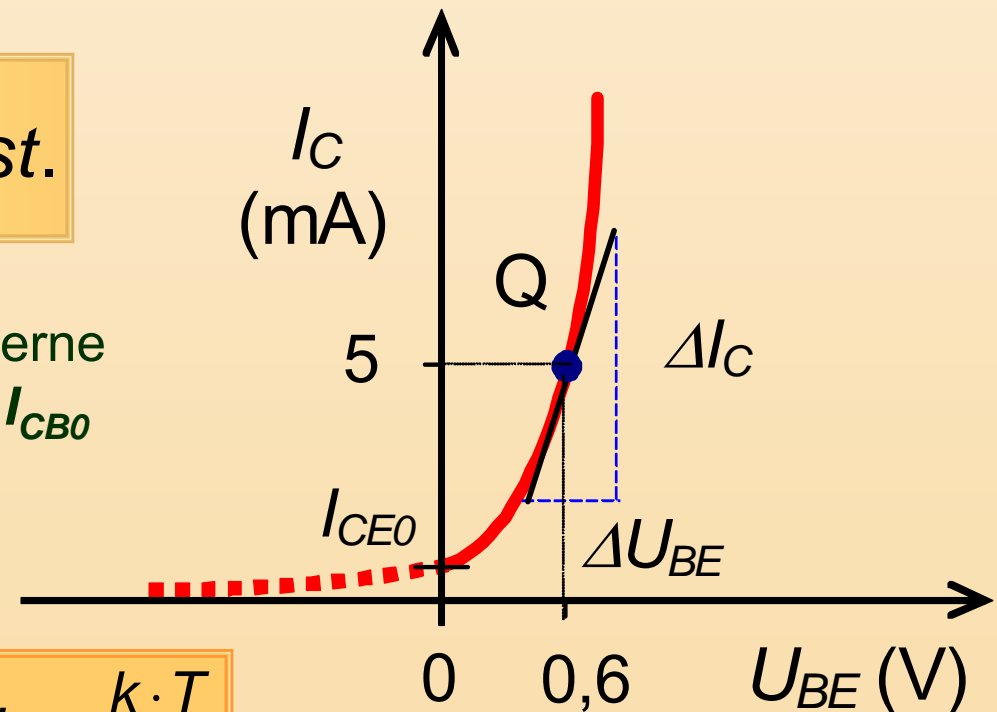
$$I_C = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = konst.}$$

pre zanedbateľne malý zvyškový prúd záverne polarizovaného priedochodu kolektor - báza  $I_{CB0}$

$$I_C = I_{CB0}(T, U_{CE}) \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right)$$

$$U_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

kde  $U_T$  je Boltzmanovo teplotné napätie



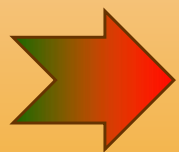
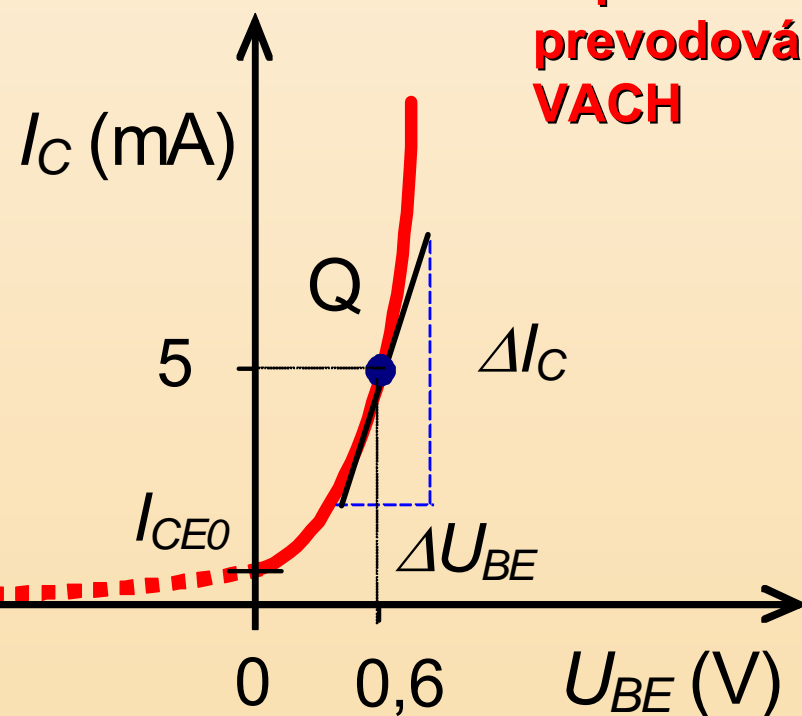
# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Priama prevodová strmosť S

$$S = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} \right|_{U_{CE} = \text{konst.}}$$

po úprave

$$S = \frac{I_{CB0}}{U_T} \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right) = \frac{I_C}{U_T}$$



priama prevodová strmosť S je priamo úmerná kolektorovému prúdu  $I_C$  a nie je závislá od parametrov konkrétneho tranzistora

# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Spätná prevodová strmost' $S_R$

$$S_R = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{CE}} \Big|_{U_{BE} = \text{konst.}}$$

malá hodnota

Spätnú prevodovú strmost' môžeme okrem vysokých frekvencií prakticky zanedbať a väčšinou sa ani neuvažuje

### Poznámka

## Spätné napät'ové zosilnenie

$$A_R = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \Big|_{I_B = \text{konst}}$$

malá hodnota

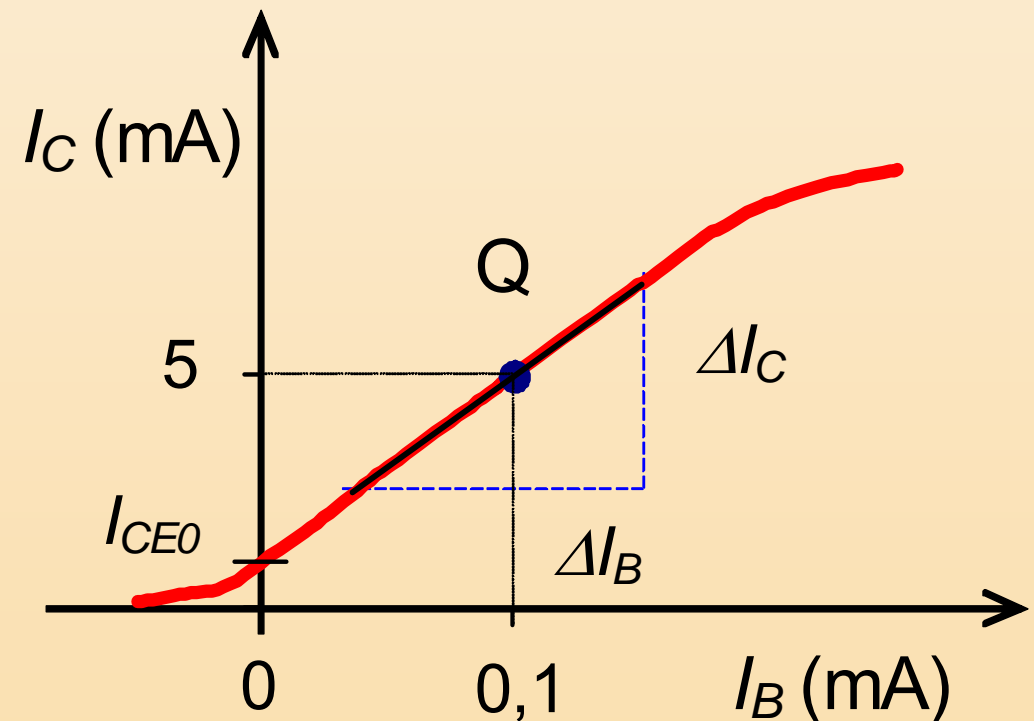


# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Prúdová prevodová VACH

$$I_C = f(I_B) \Big|_{U_{CE} = \text{konst}}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B + (1 + \beta) \cdot I_{CE0}$$



pri  $I_B=0$  tečie cez kolektor prúd  $I_{CE0}$   
 = zvyškový prúd kolektora  $I_{CE0}$  (odpojená báza)

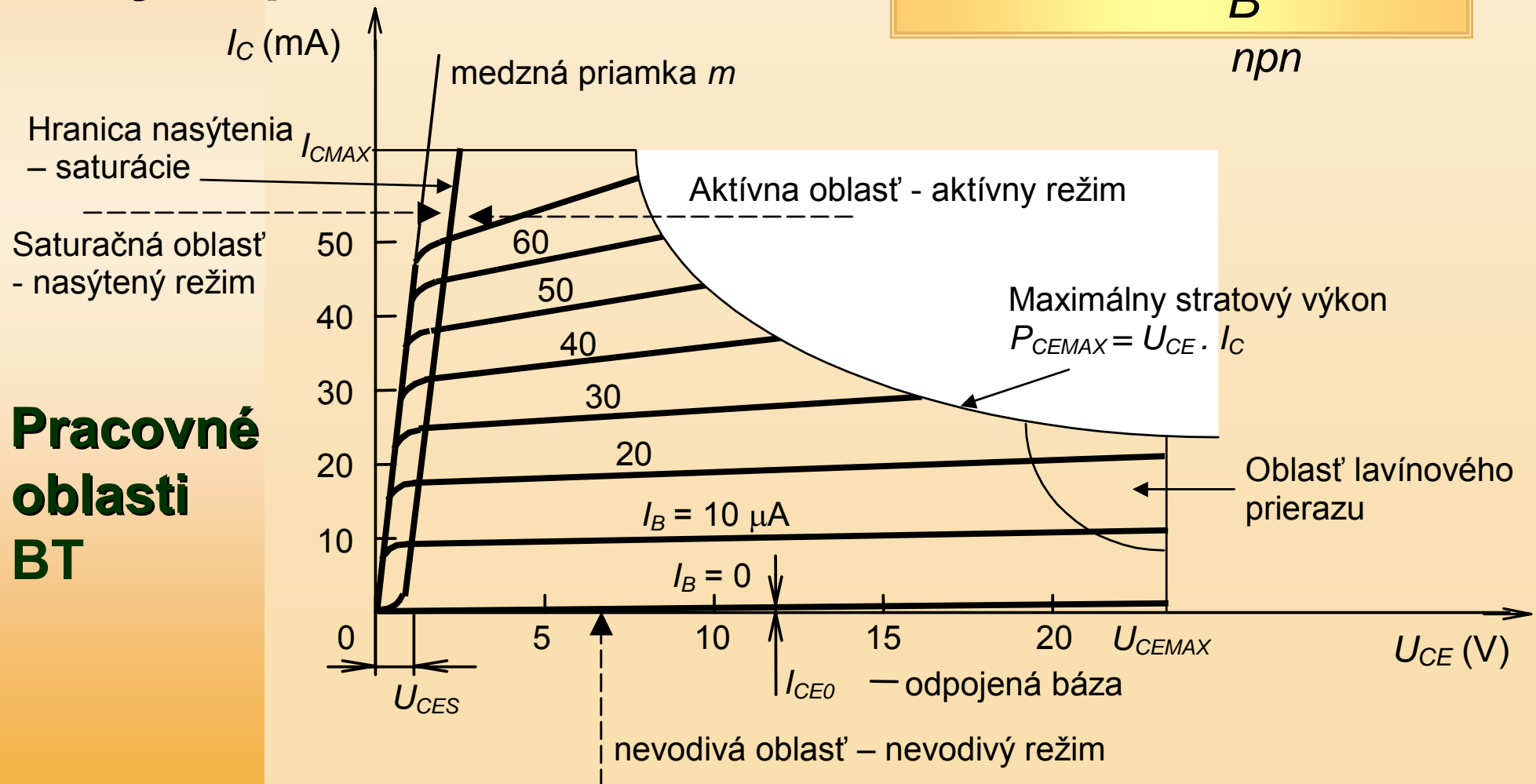
$$I_{CE0} = \frac{1}{1 - \alpha} \cdot I_{CB0}$$

# Volt-ampérové charakteristiky BT SE

## Výstupné VACH

$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{konst.}}$$

npr



# Medzné hodnoty – katalógové údaje

- ❑ **Medzné hodnoty BT** sú hodnoty trvalých, príp. impulzných veličín, (napr. prúdov a napätí medzi jednotlivými elektródami), pri ktorých prekročení **dochádza k nevratným zmenám – k deštrukcii súčiastky**
- ❑ Najdôležitejšími medznými parametrami sú **maximálne napätia  $U_{CBMAX}$  a  $U_{CEMAX}$ , maximálne prúdy kolektora  $I_{CMAX}$  a bázy  $I_{BMAX}$ , a maximálna výkonová strata  $P_{TMAX}$ .**

# Diferenciálny vstupný odpor $r_i$ BT SE

## Definícia

$$r_i = r_{BE} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = \text{konst.}}$$

ak uvážime  $\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B$



$$r_i = r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_C / \beta} = \frac{\beta}{S} = \frac{\beta \cdot U_T}{I_C}$$

**vstupný odpor  $r_i$  je**

**nepriamo úmerný kolektorovému prúdu  $I_C$   
priamo úmerný  $\beta$**



# Diferenciálny výstupný odpor $r_o$ BT SE

## Definícia

$$r_o = r_{CE} = \left. \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \right|_{U_{BE} = \text{konst.}}$$

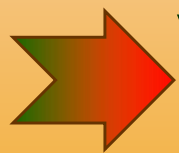
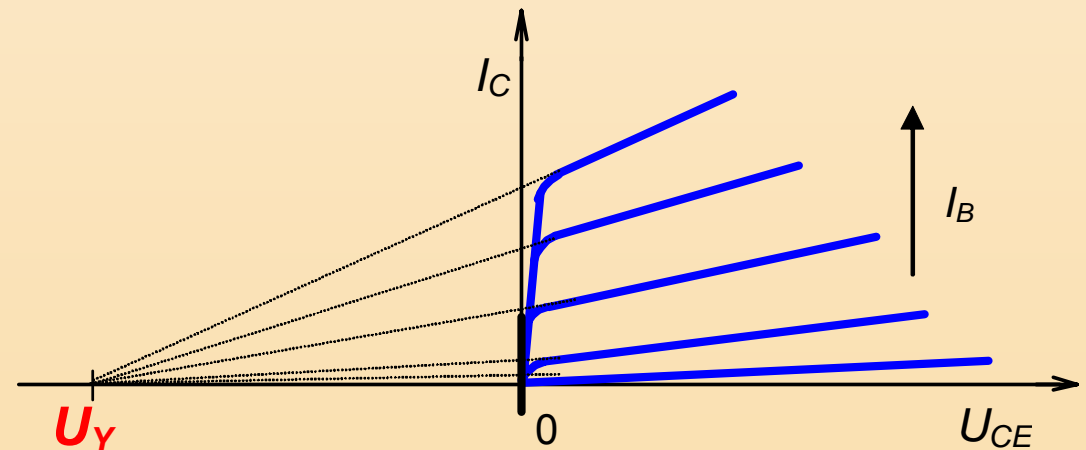


$$r_o = r_{CE} = \frac{U_Y}{I_C}$$

### Earlyho napätie $U_Y$

v npn tranzistoroch 80 až 200 V

v pnp tranzistoroch 40 až 150 V



**výstupný odpor  $r_o$  je nepriamo úmerný kolektorovému prúdu  $I_C$**

# Ďakujem za pozornosť

