

# Tranzistory

tranzistor – z angl. slova transistor, tj. **transfer resistor**

## Bipolární

- NPN
- PNP

Shockley, Brattain a  
Bardeen 16.12. 1947

## Unipolární (řízené polem)

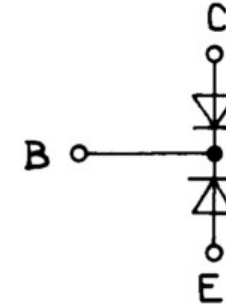
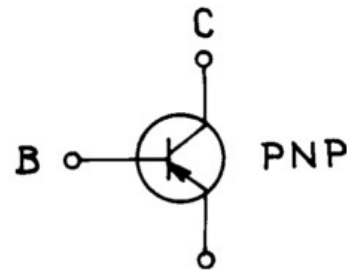
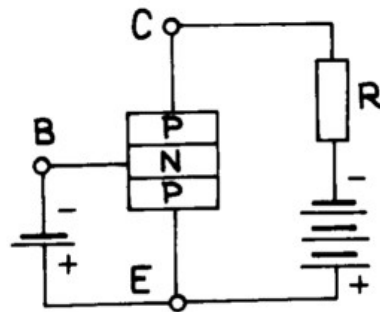
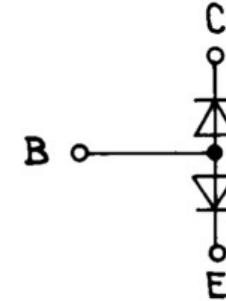
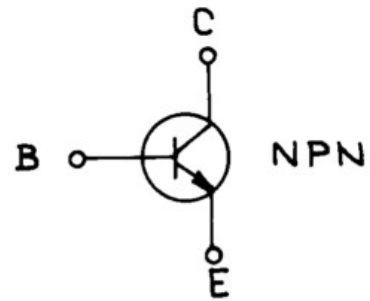
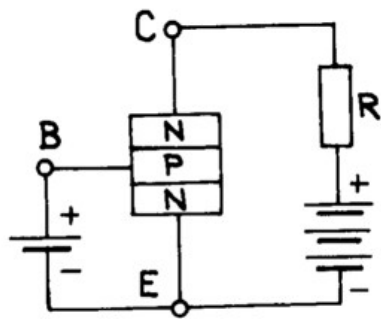
- JFET
- MOS FET

Shockley 1952

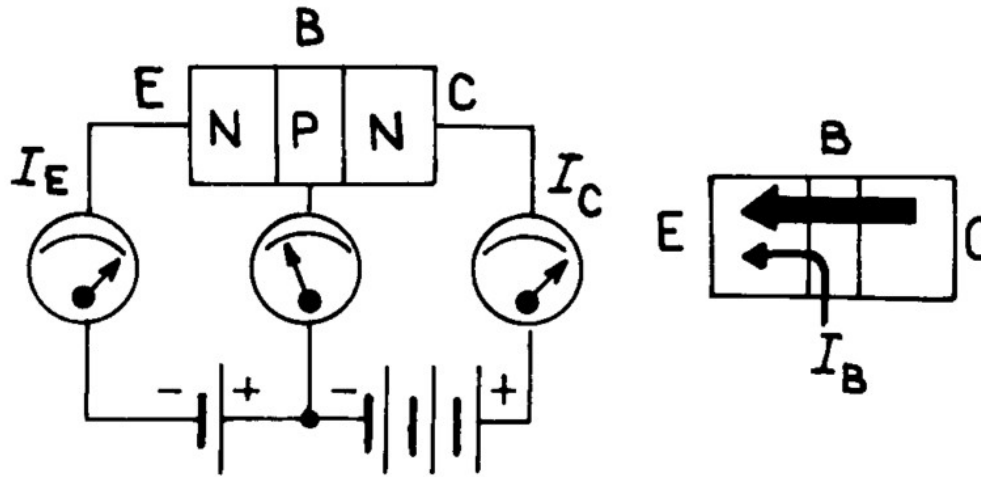
# Bipolární tranzistor

bipolární = na přenosu proudu se podílejí elektrony i díry

- tvořen dvěma přechody na jednom zákl. monokrystalu
- emitorový přechod (B-E) obvykle polarizován v prospustném směru, kolektorový přechod (B-C) v závěrném směru

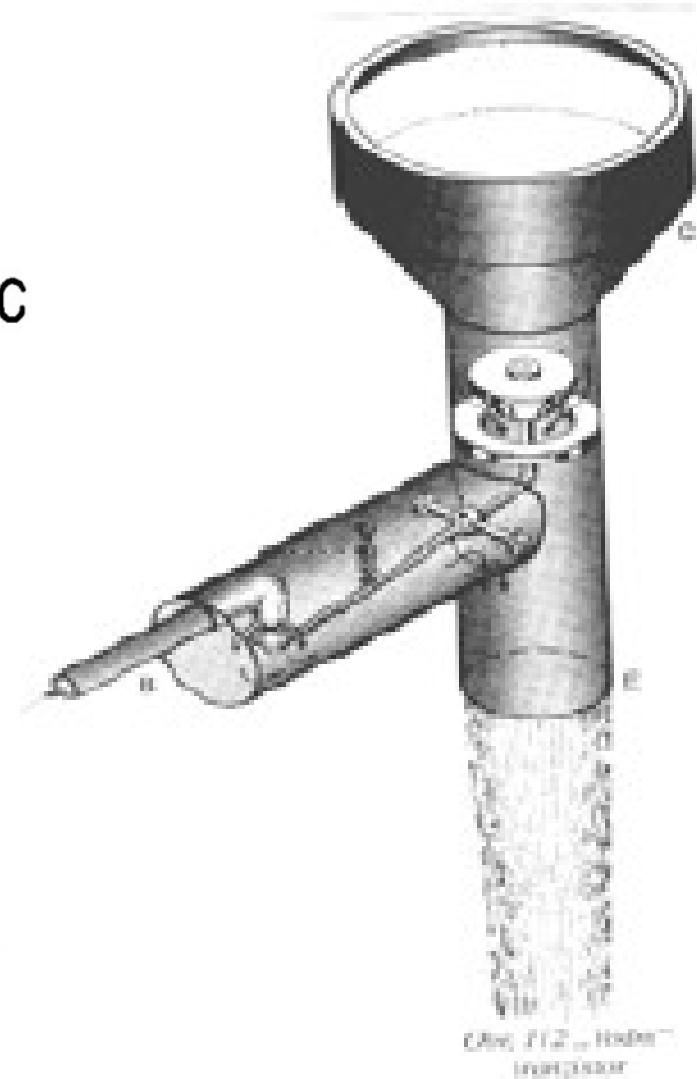
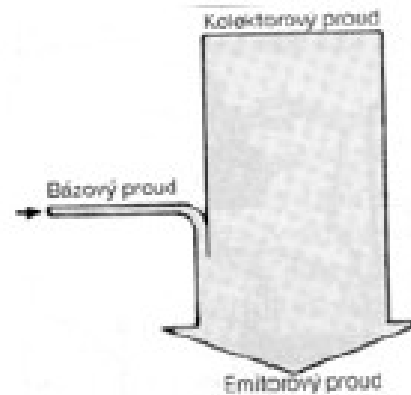


# Princip činnosti tranzistoru

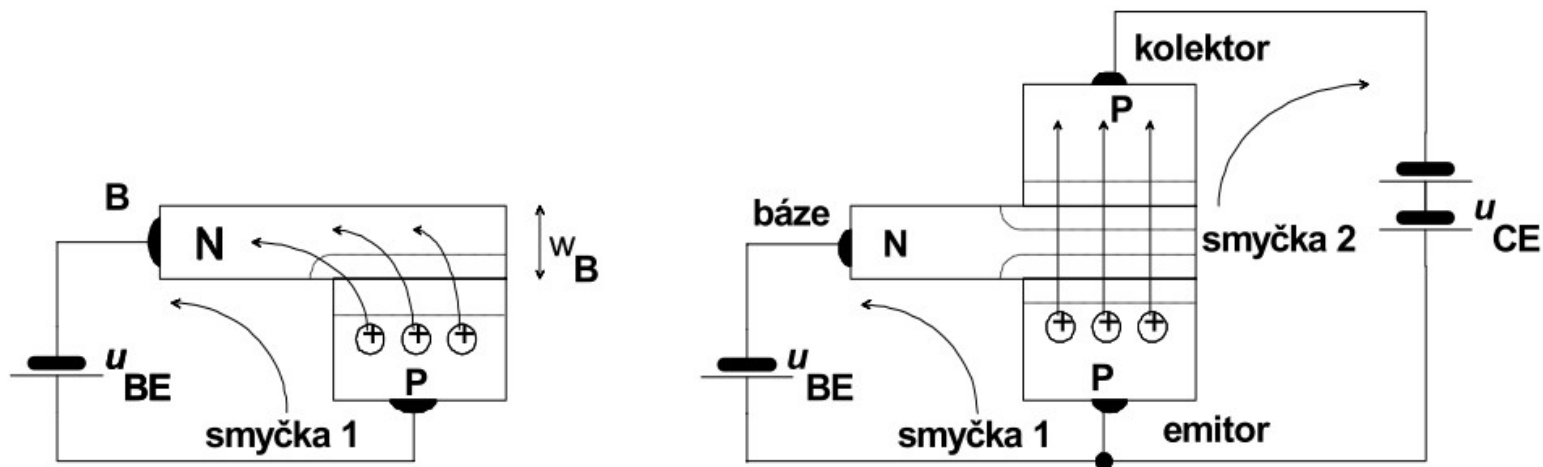


malým proudem báze  
ovládán  
mnohonásobně větší  
proud kolektorem

Vodní přirovnání



# Princip činnosti tranzistoru



$$i_E = i_C + i_B$$

Uvažováno: oblast N velmi úzká

oblast P silně dotovaná

PN přechod B-E polarizován v propustném směru

=>

velká injekce děr z emitorové oblasti P (řízeno napětím  $u_{BE}$ )

oblast báze velmi vzdálena a oblast kolektoru velmi blízko →

díry budou „odsávány“ kolektorovou oblastí P, tzn. proud

smyčky 1 přemístěn do smyčky 2 (stále řízeno napětím  $u_{BE}$ )

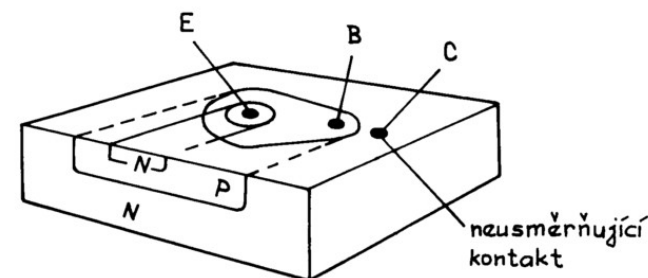
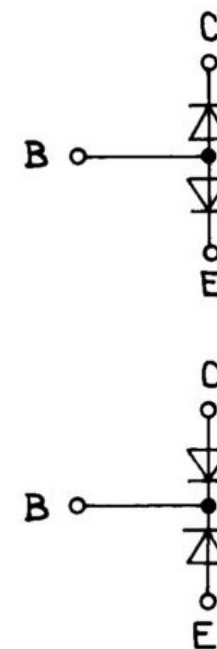
(přechod B-C polarizován v závěrném směru)

# Princip činnosti tranzistoru

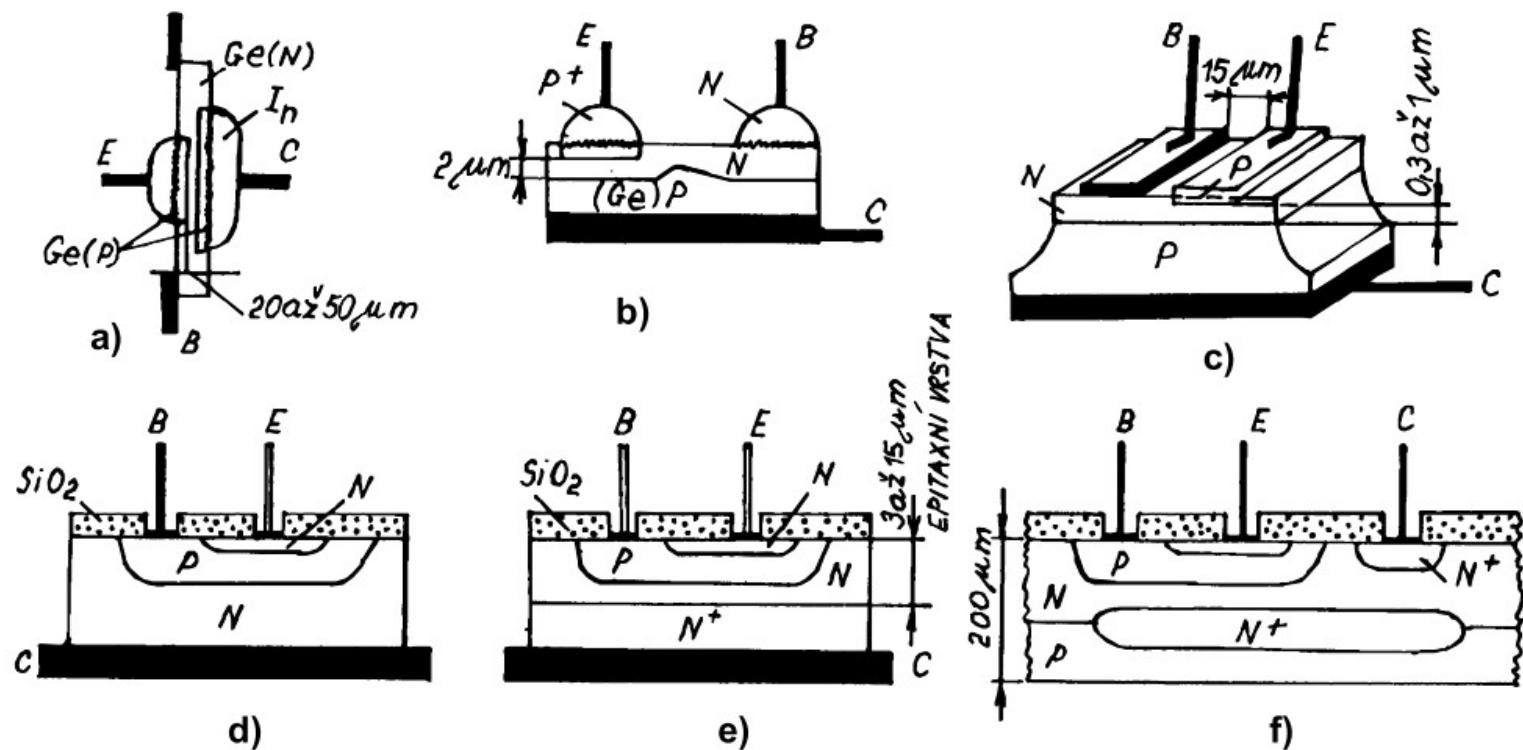
Aby byla zajištěna správná činnost tranzistoru, musí být splněny podmínky:

1. šířka báze je menší než střední difúzní délka minoritních nosičů v bázi
2. kontakt báze je vzdálen o několik středních difúzních délek minoritních nosičů od emitorového přechodu
3. koncentrace příměsí v emitoru je mnohem vyšší ( $10^2$  až  $10^4$  krát) než koncentrace příměsí v bázi
4. plocha kolektoru je větší než plocha emitoru.

Pozn. Pouhé spojení přechodů dle obrázku nepostačuje pro činnost tranzistoru, avšak lze využít při zkoušení/ověřování tranzistoru (PNP/NPN, dobrý/poškozený,...)



# Způsob výroby bipolárního tranzistoru



a) slitinový

b) slitinově difúzní

c) mesa

d) planární difúzní

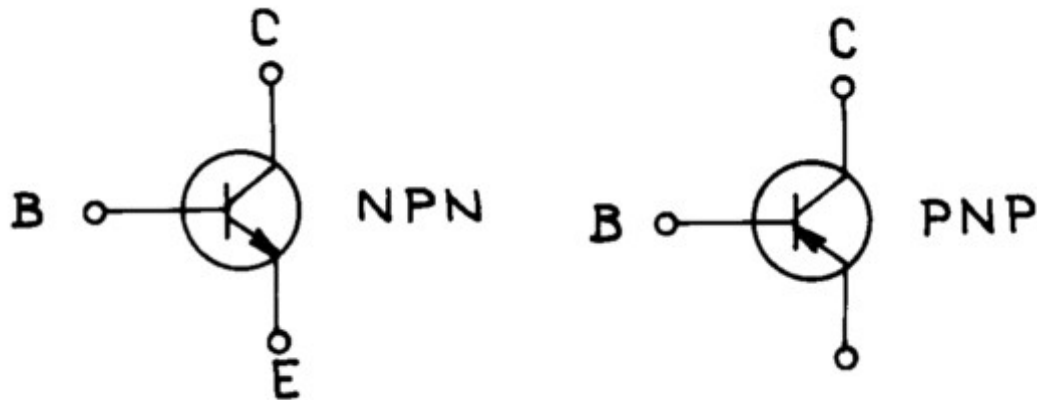
e) planární epitaxní

f) planár. epitax pro IO

# Pracovní režimy bipolárního tranzistoru

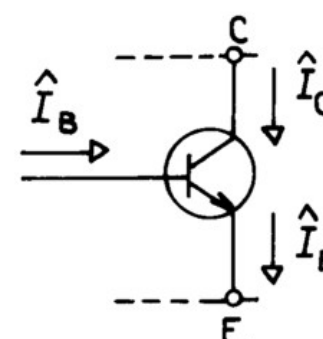
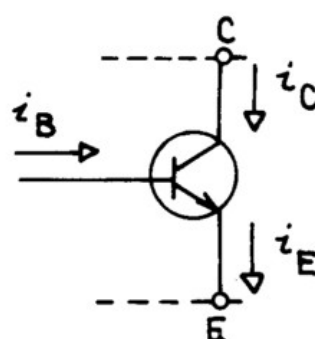
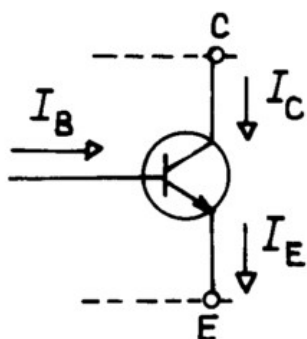
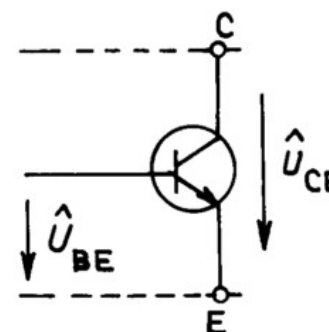
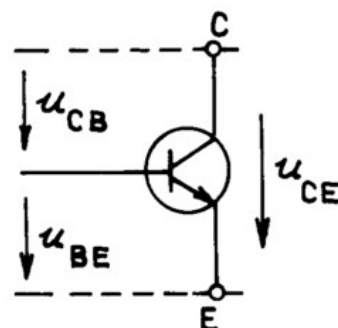
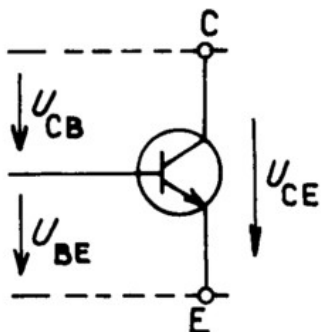
Podle polarity napětí na emitorovém a kolektorovém přechodu se rozlišují režimy:

1. závěrný režim – oba přechody polarizovány v závěrném směru
2. normální aktivní režim – emitorový přechod polarizován v propustném směru, kolektorový v závěrném směru
3. inverzní aktivní režim – emitorový přechod zapojen v závěrném směru, kolektorový v propustném směru (funkce kolektoru a emitoru jsou zaměněny)
4. saturační režim – kolektorový i emitorový přechod jsou polarizovány v propustném směru.



# Značení napětí a proudů

(Znázorněno pro zapojení tranzistoru SE)



stejnoseměrné

časově proměnné

komplexní amplitudy

$$I_E = I_C + I_B$$

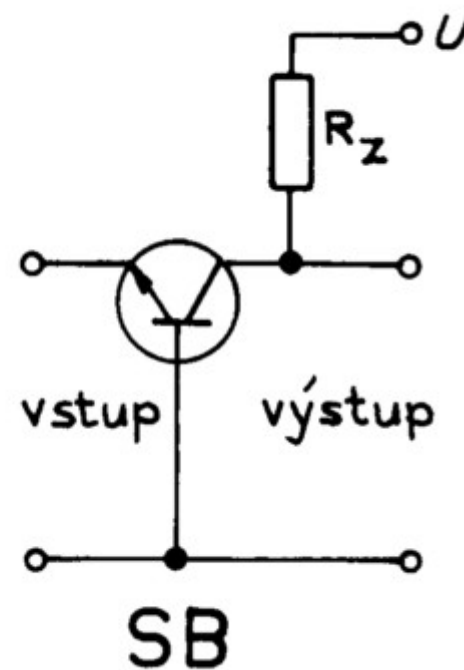
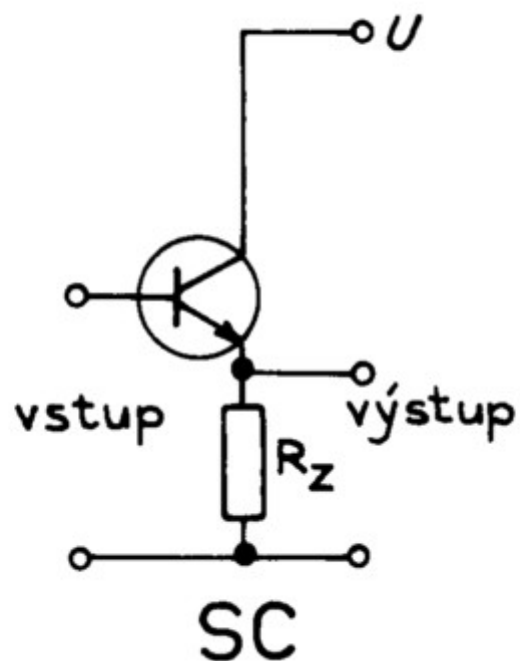
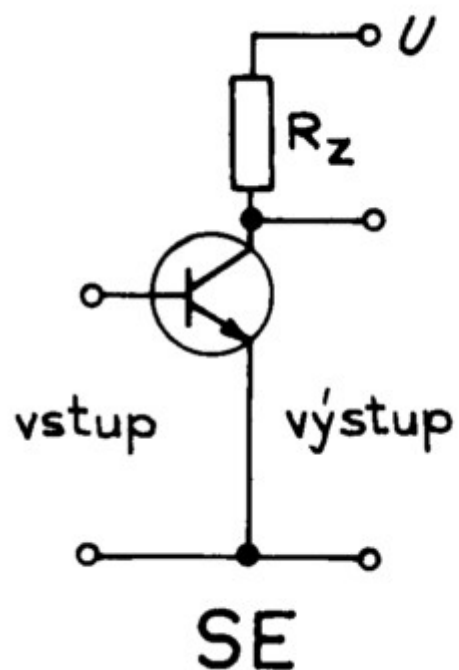
$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B \rightarrow I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

$$U_{BE} \approx 0,6 \text{ V až } 0,7 \text{ V}$$



# Zapojení tranzistoru



SE – se společným emitorem

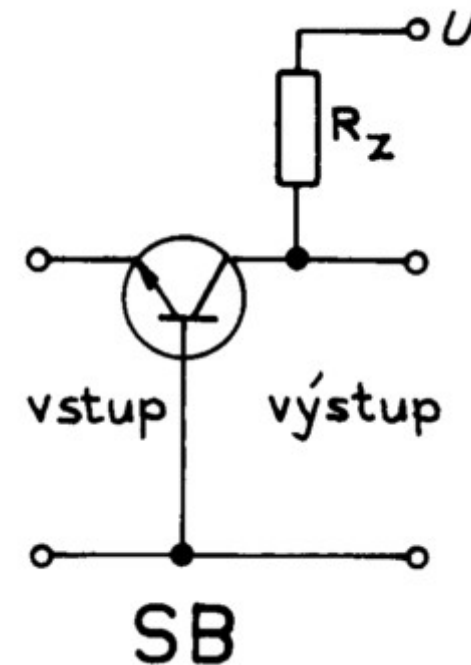
SC – se společným kolektorem

SB – se společnou bází

## Zapojení tranzistoru – SB

Vstupní odpor: 10  $\Omega$  až 100  $\Omega$   
výstupní odpor: 100 k $\Omega$  až 1 M $\Omega$   
napěťové zesílení: 10 až 100  
proudové zesílení:  $< 1$  (0,95 až 0,99)  
výkonové zesílení: 10 až 100

- vstupní a výstupní signál ve fázi
- velký mezní kmitočet



proudový zesilovací činitel

$$\alpha = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} \right|_{u_{CE} = konst.}$$

( $\alpha = 0,9$  až  $0,9975$ )

## Zapojení tranzistoru – SC

Vstupní odpor: 10 k $\Omega$  až 100 k $\Omega$

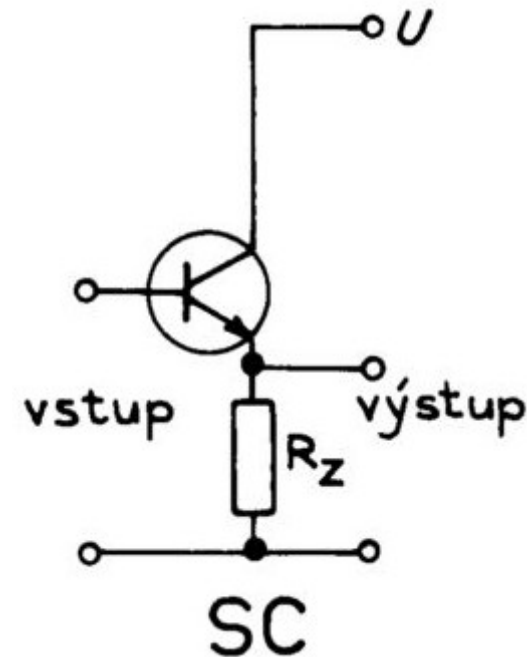
výstupní odpor: 100  $\Omega$  až 1 k $\Omega$

napět'ové zesílení:  $< 1$  (0,9 až 0,99)

proudové zesílení: 20 až 400

výkonové zesílení: 10 až 200

- vstupní a výstupní signál ve fázi
- velký vstupní a malý výstupní odpor (vstupní odpor cca  $R_{vstup} = \beta \cdot R_Z$ )
- označováno také jako napět'ový sledovač



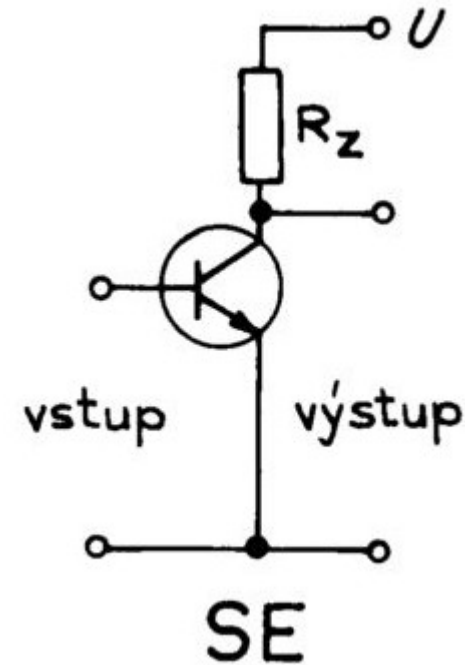
## Zapojení tranzistoru – SE

Vstupní odpor: 100  $\Omega$  až 1 k $\Omega$   
výstupní odpor: 10 k $\Omega$  až 100 k $\Omega$   
napěťové zesílení: 10 až 100  
proudové zesílení: 20 až 400  
výkonové zesílení: 200 až 2000

- vstupní a výstupní signál fázově posunut o 180°
- největší zesílení
- nejčastěji používané zapojení

proudový zesilovací činitel

$$\beta = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{u_{CE} = konst.} \quad (\beta = 9 \text{ až } 399)$$



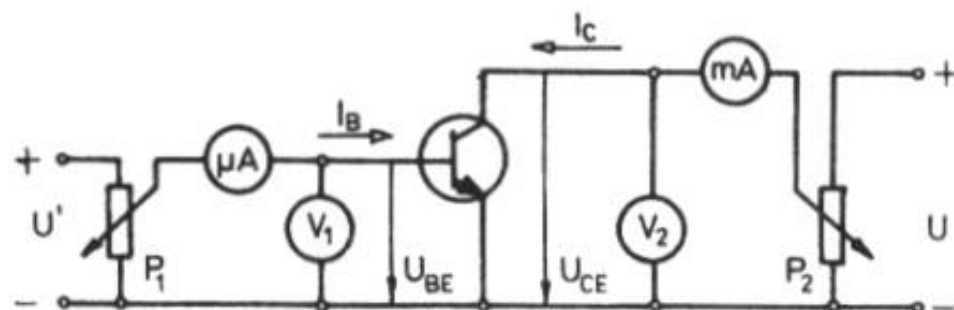
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

## Tři základní zapojení tranzistoru

	SE	SC	SB
<b>ZESÍLENÍ</b>			
proudové	20 až 400	20 až 400	0,95 až 0,99
napěťové	10 až 100	0,9 až ,99	10 až 100
výkonové	200 až 2000	10 až 200	10 až 100
<b>ODPOR</b>			
vstupní	100 $\Omega$ až 1 k $\Omega$	10 k $\Omega$ až 100 k $\Omega$	10 $\Omega$ až 100 $\Omega$
výstupní	10 k $\Omega$ až 100 k $\Omega$	100 $\Omega$ až 1 k $\Omega$	100 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$
<b>Výhody</b>	největší zesílení	velký vstupní a malý výstupní odpor	nejvyšší mezni kmitočet

# Zapojení tranzistoru – SE



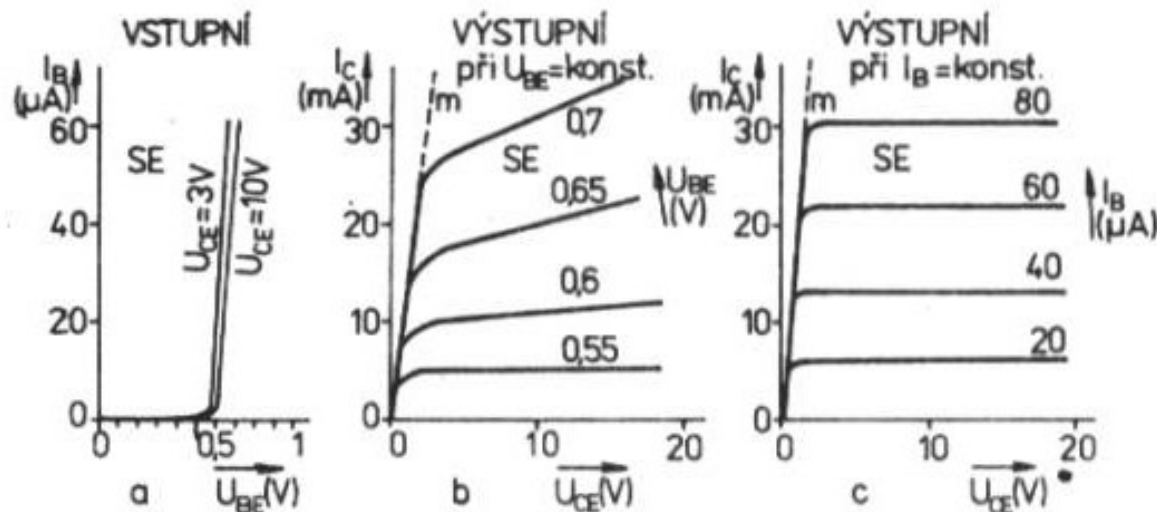
Obr. 100. Měření statických charakteristik tranzistoru se společným emitorem

$$I_C = I_B \cdot \beta$$

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

Napěťové  $A_V = \frac{U_{out}}{U_{inp}}$

Výkonové  $A_P = \frac{U_{out} \cdot I_C}{U_{inp} \cdot I_B}$



Obr. 101. Charakteristiky tranzistoru NPN se společným emitorem

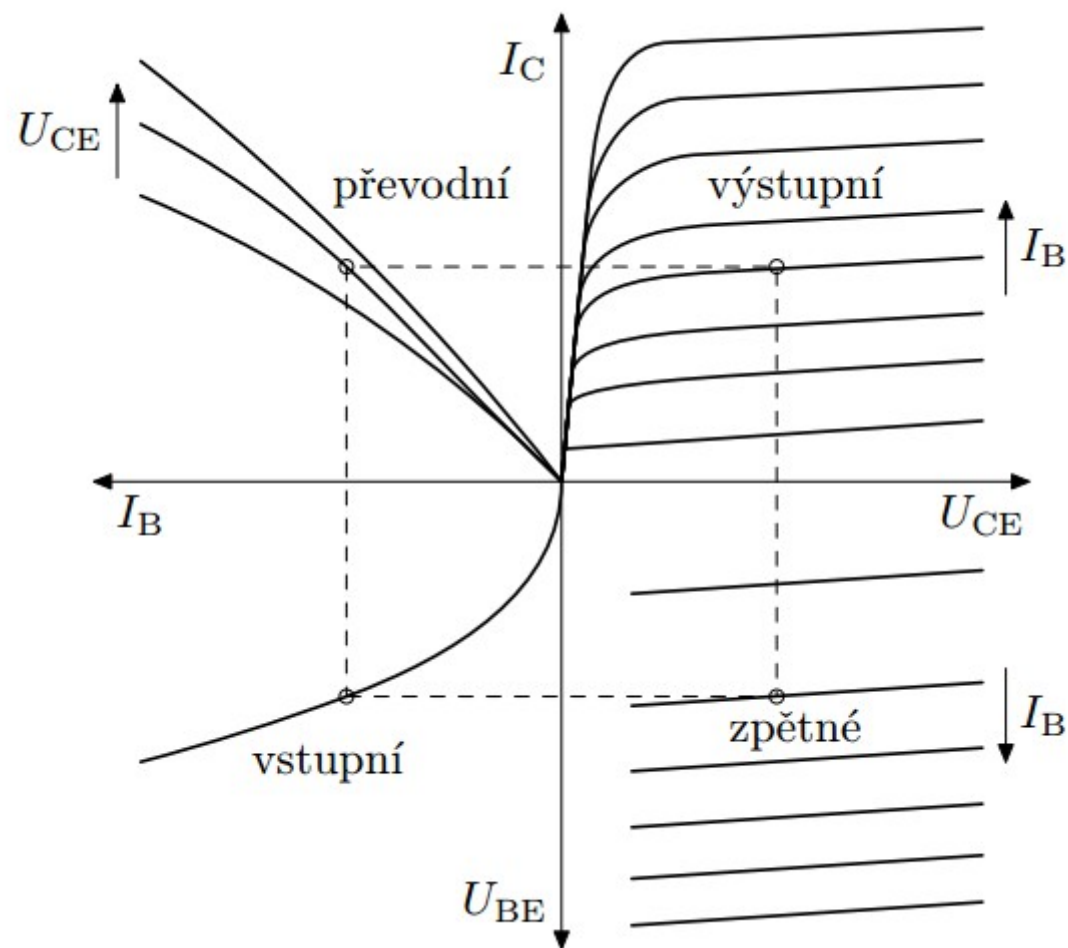
$$A_I (dB) = 20 * \log \frac{I_C}{I_B}$$

$$A_V (dB) = 20 * \log \frac{U_{out}}{U_{inp}}$$

$$A_P (dB) = 10 * \log \frac{U_{out} \cdot I_C}{U_{inp} \cdot I_B}$$

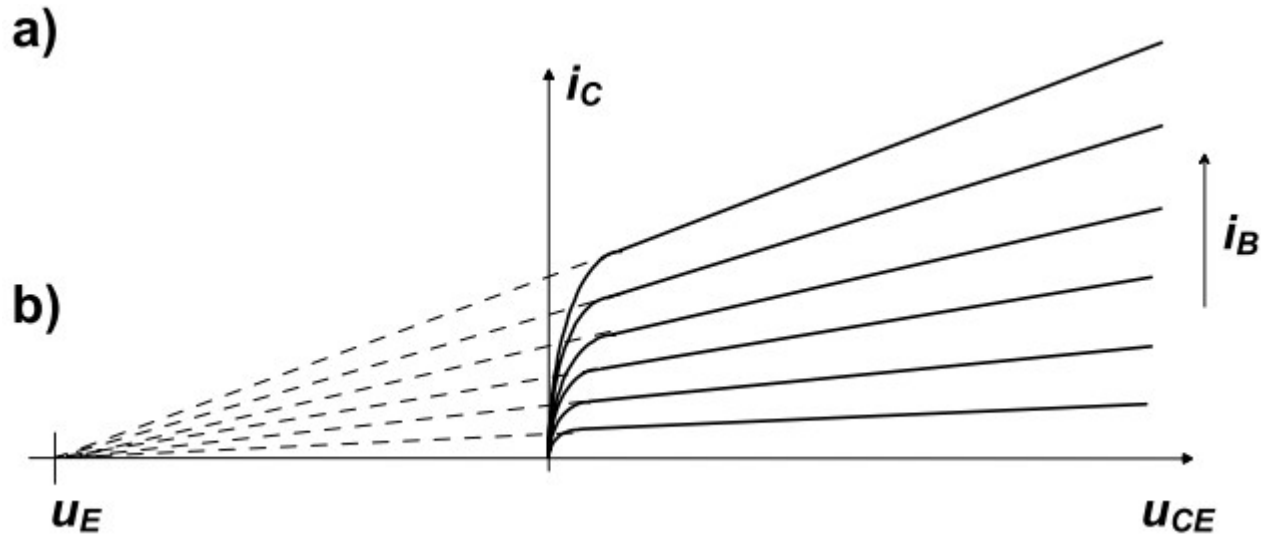
# Statická charakteristika bipolárního tranzistoru

(Zapojení tranzistoru SE)



# Earlyho jev

Ve výstupních charakteristikách je zřejmé narůstání kolektorového proudu  $I_C$  s rostoucím napětím  $U_{CE}$ , přičemž velikost bázevého proudu  $I_B$  zůstala konstantní

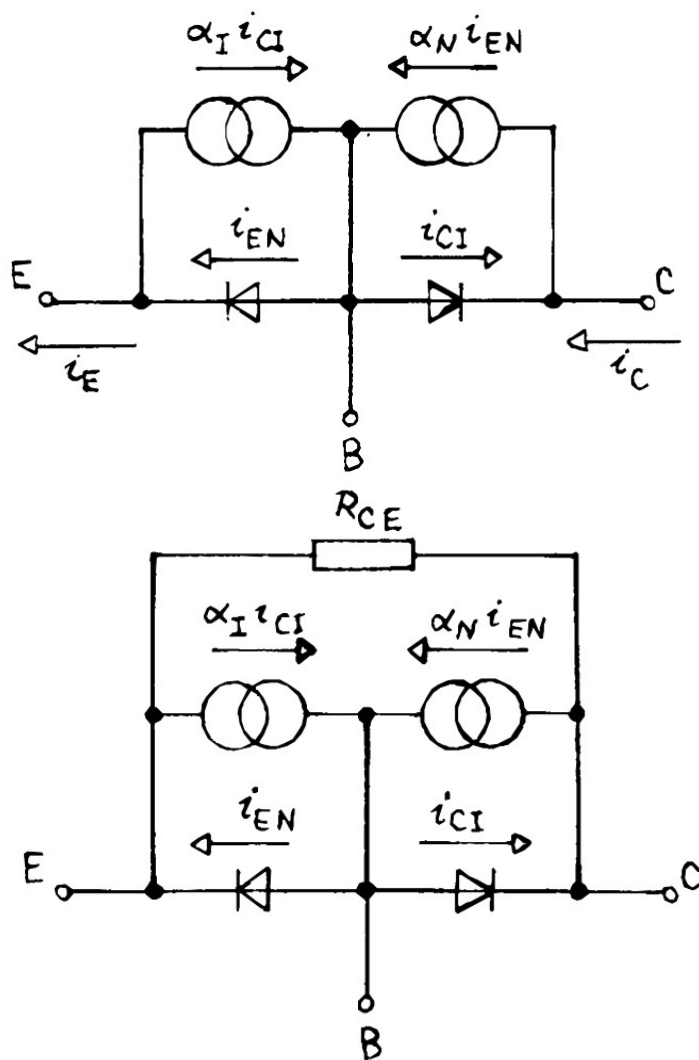


$$\beta_{ef} = \beta \left( 1 + \frac{u_{CE}}{U_E} \right)$$



# Model bipolárního tranzistoru

## Ebersů-Mollův model

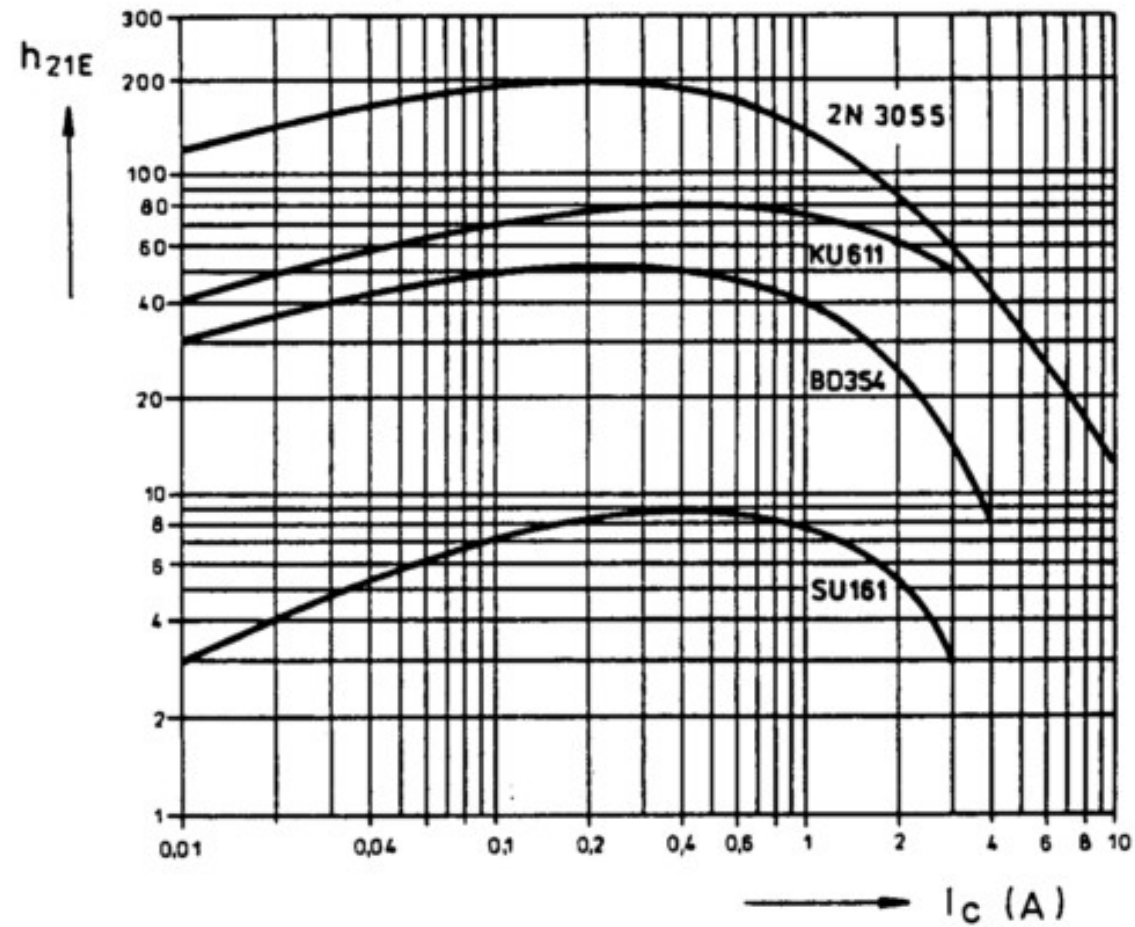


$\alpha_N$  - zesilovací činitel v normální režimu (také  $\beta_N$ )

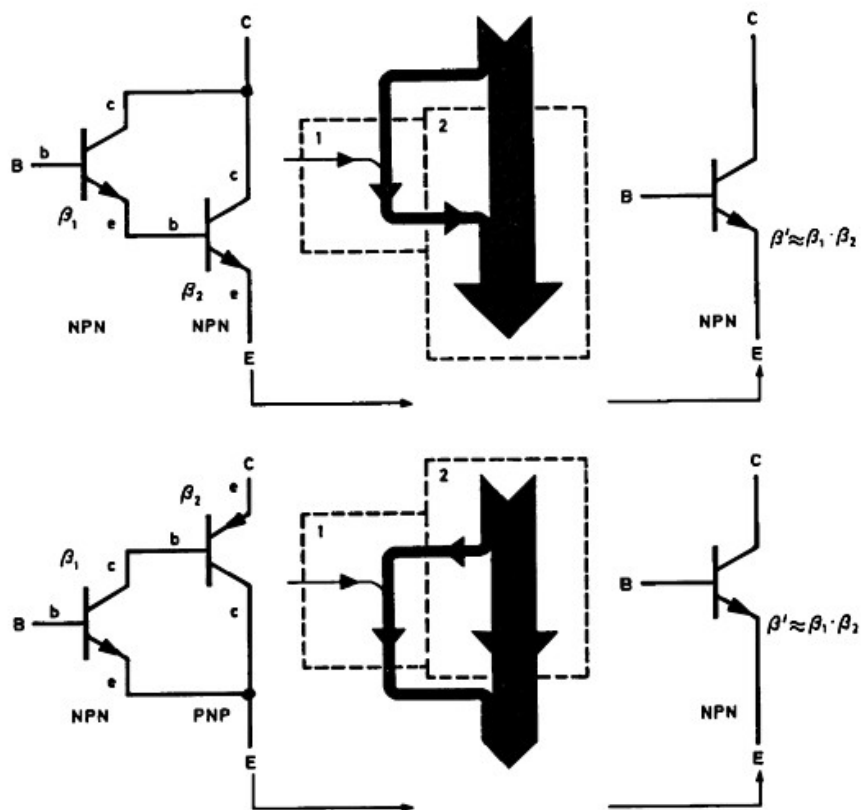
$\alpha_I$  - zesilovací činitel v inverzním režimu (také  $\beta_I$ )

$R_{CE}$  – modelování Earlyho jevu

# Průběh zesilovacího činitele $\beta$

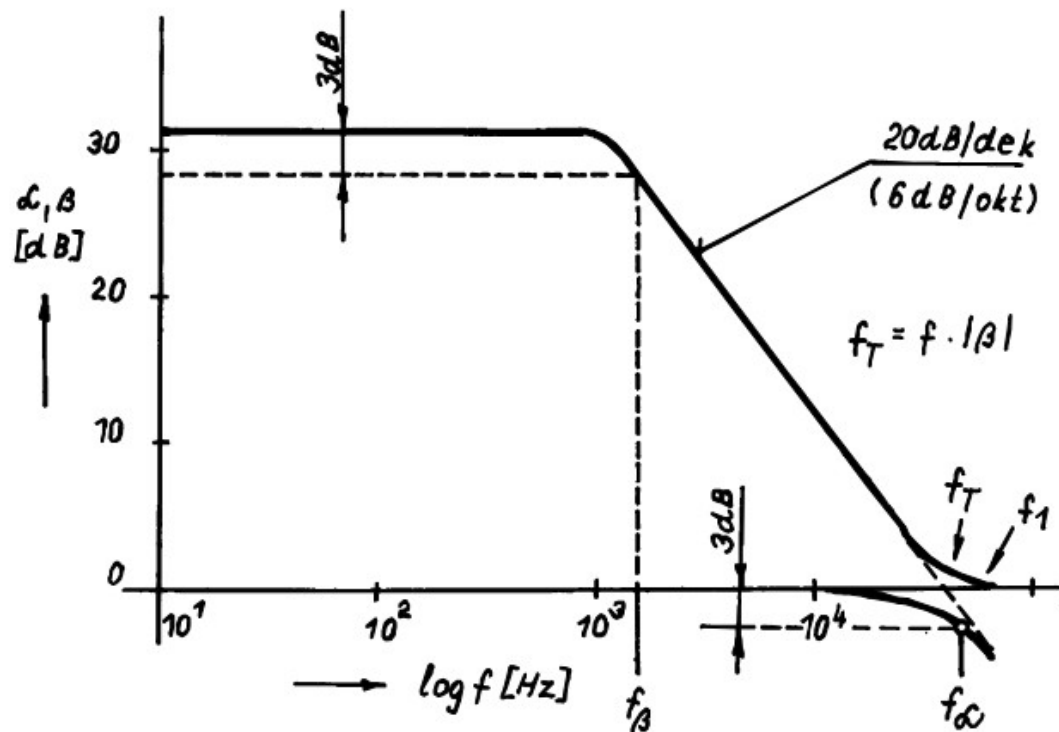


# Zvětšení zesilovacího činitele $\beta$ – Darlingtonovo zapojení



- zvětšení proudového zesilovacího činitele
- s rostoucím proudem  $I_C$  zesil. činitel rychle klesá
- větší hodnota saturačního napětí  $U_{CEsat}$
- větší doba vypnutí  $t_{off}$

# Mezní kmitočet bipolárního tranzistoru



$f_T$  – tranzitní kmitočet, ideální případ, kdy  $\beta = 1$

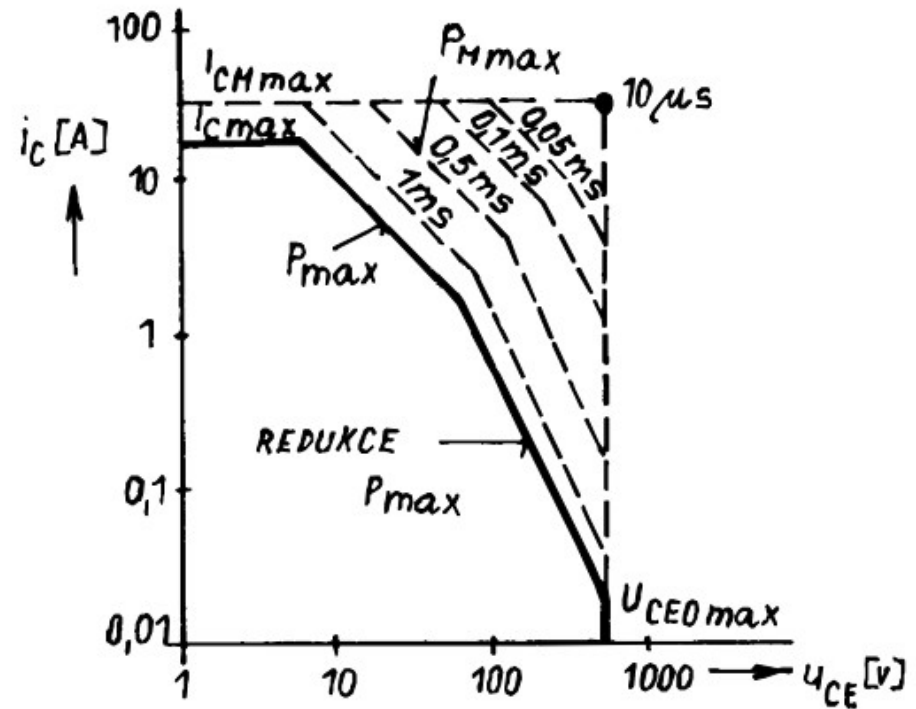
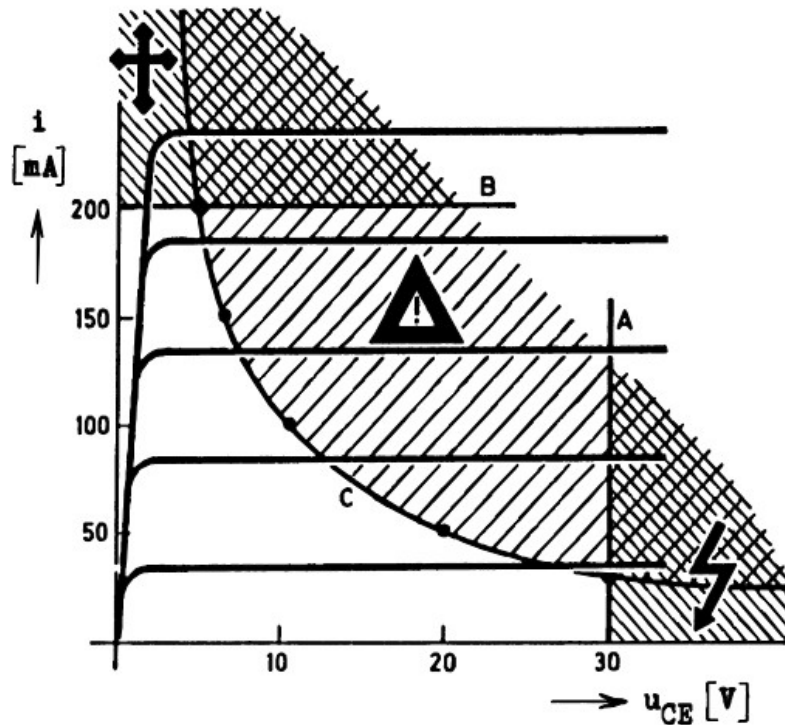
$f_1$  – kmitočet, kde skutečně platí  $\beta = 1$

# Mezní parametry tranzistoru

Mezní hodnoty jsou uvedeny v katalogovém listu výrobce

- maximální kolektorový proud –  $I_{Cmax}$   
určen konstrukcí tranzistoru, plochou přechodu a odvodem tepla z tranzistoru
- maximální kolektorové napětí –  $U_{CEmax}$   
omezeno dovoleným napětím přechodu B-C
- maximální ztrátový výkon  $P_{Dmax}$   
omezuje trvalou pracovní oblast v kolektorových charakteristikách hyperbolou, podmíněno chlazením tranzistoru
- maximální proud báze –  $I_{Bmax}$   
dán tavným proudem přívodu báze (cca  $1/10 I_{Cmax}$ )
- maximální závěrné napětí emitorového přechodu –  $U_{BEmax}$   
typické hodnota kolem 5 V

# Mezní parametry tranzistoru



SOA

---

**Literatura** – hlavní zdroj informací pro bipolární tranzistory:

Musil, V. a kol.: *Elektronické součástky*. 2. vyd. Brno: VUT, 1996.

ISBN 80-214-0821-9.(Skriptum)