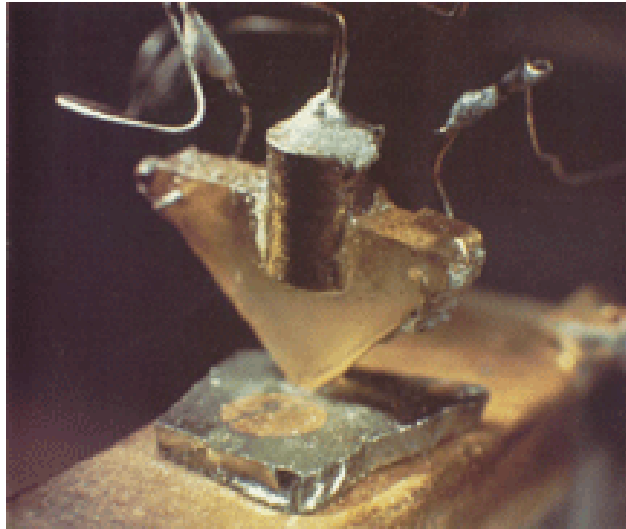
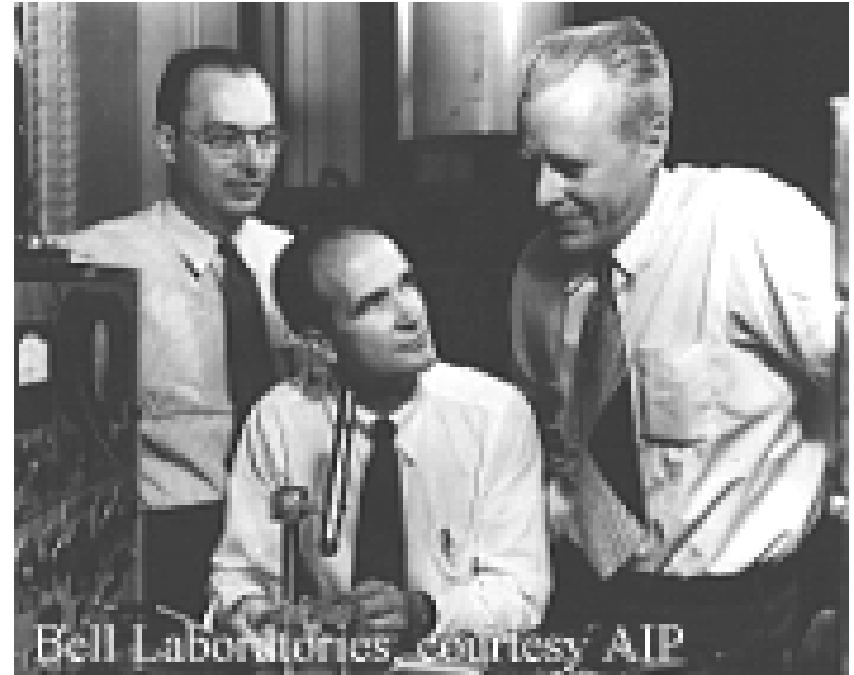


Bipolární tranzistor

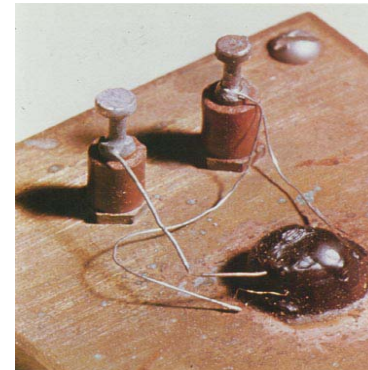
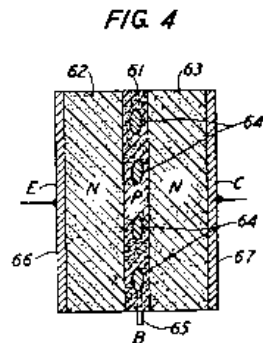
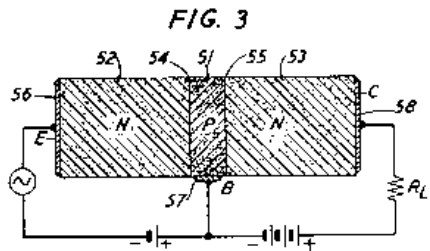
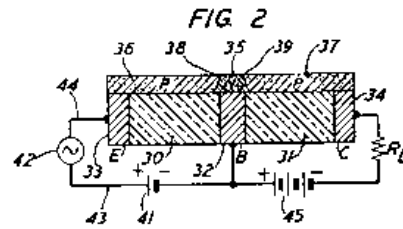
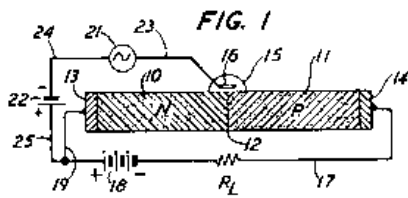


Bardeen

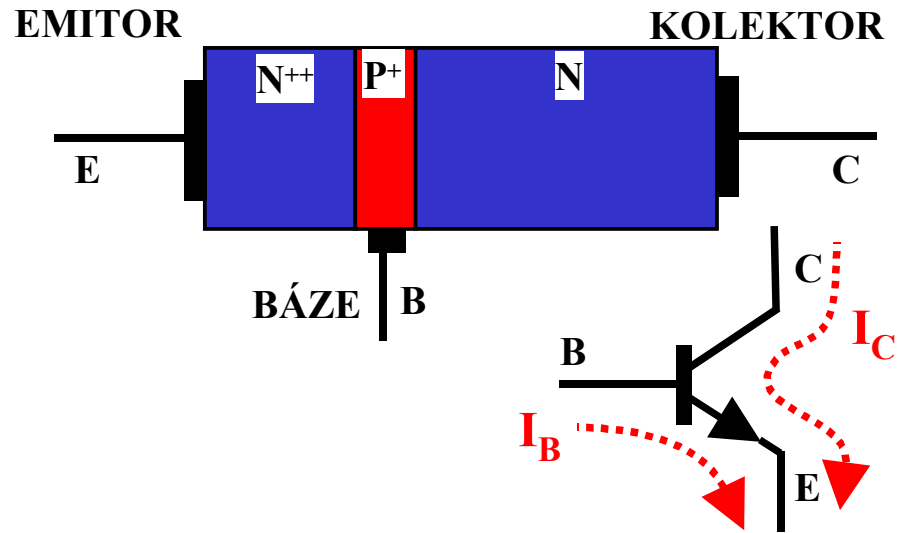
Brattain



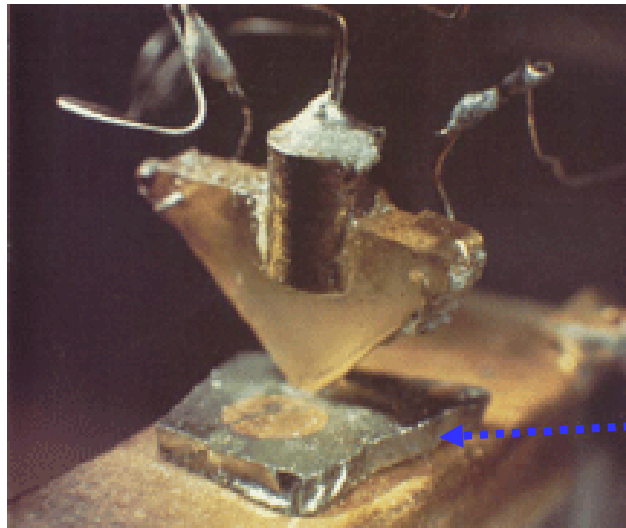
Shockley



Bipolární tranzistor

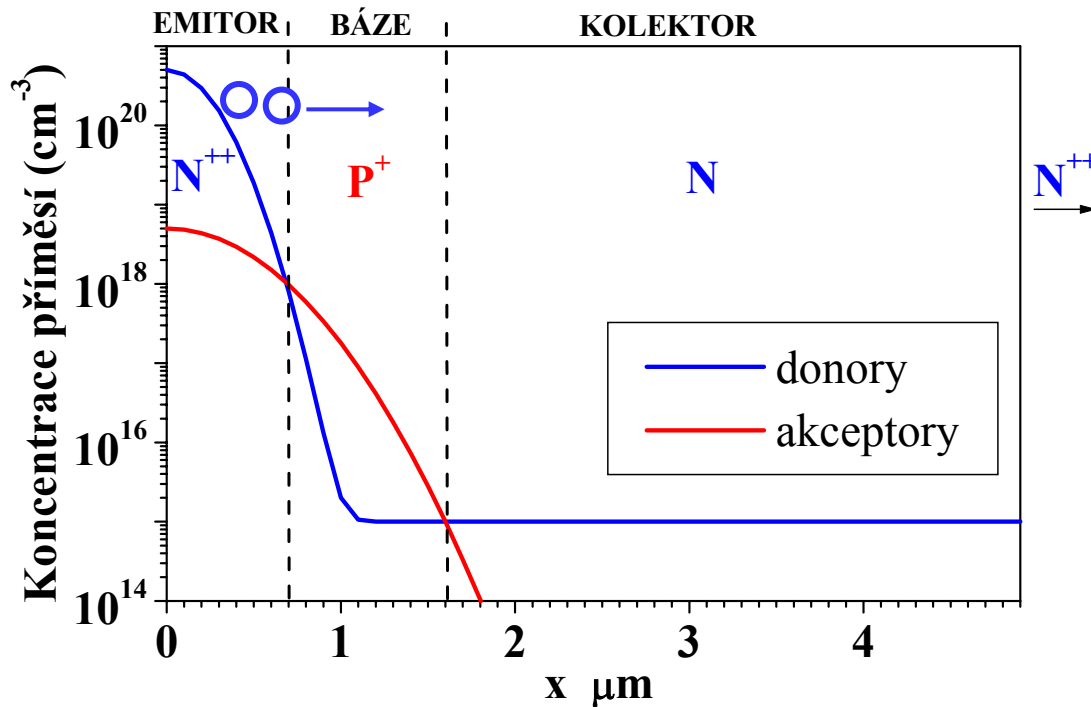
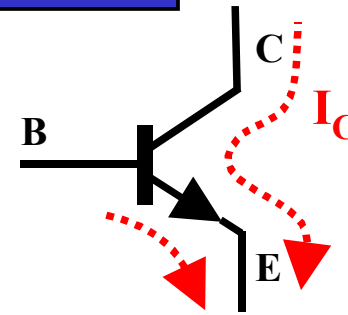
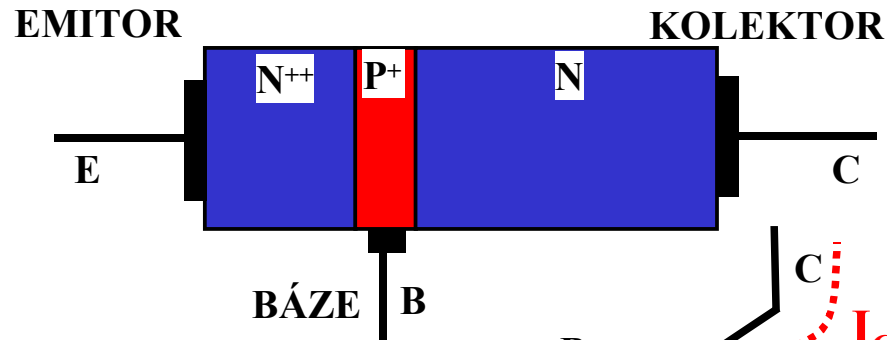


(a)



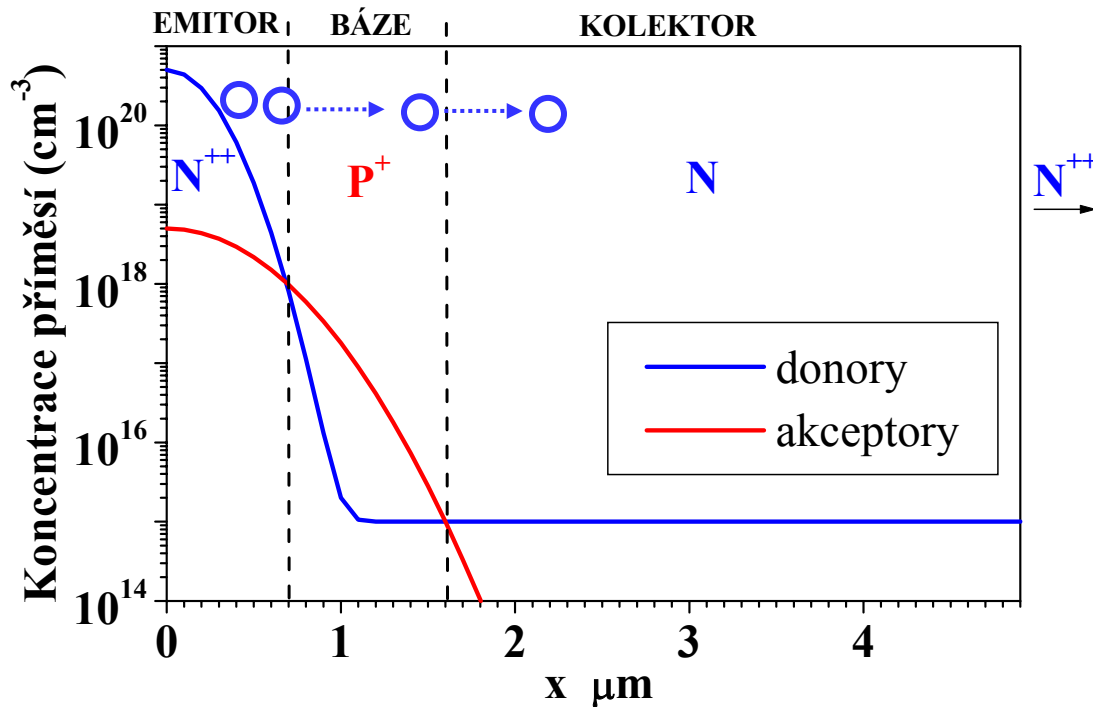
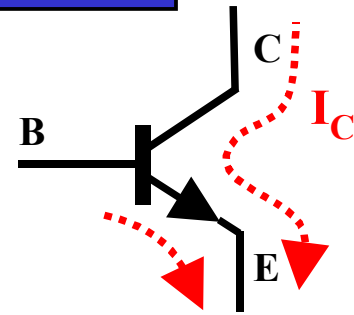
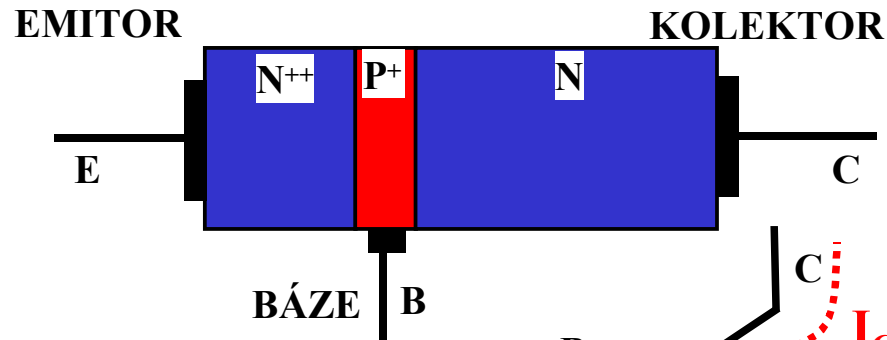
Báze

Bipolární tranzistor



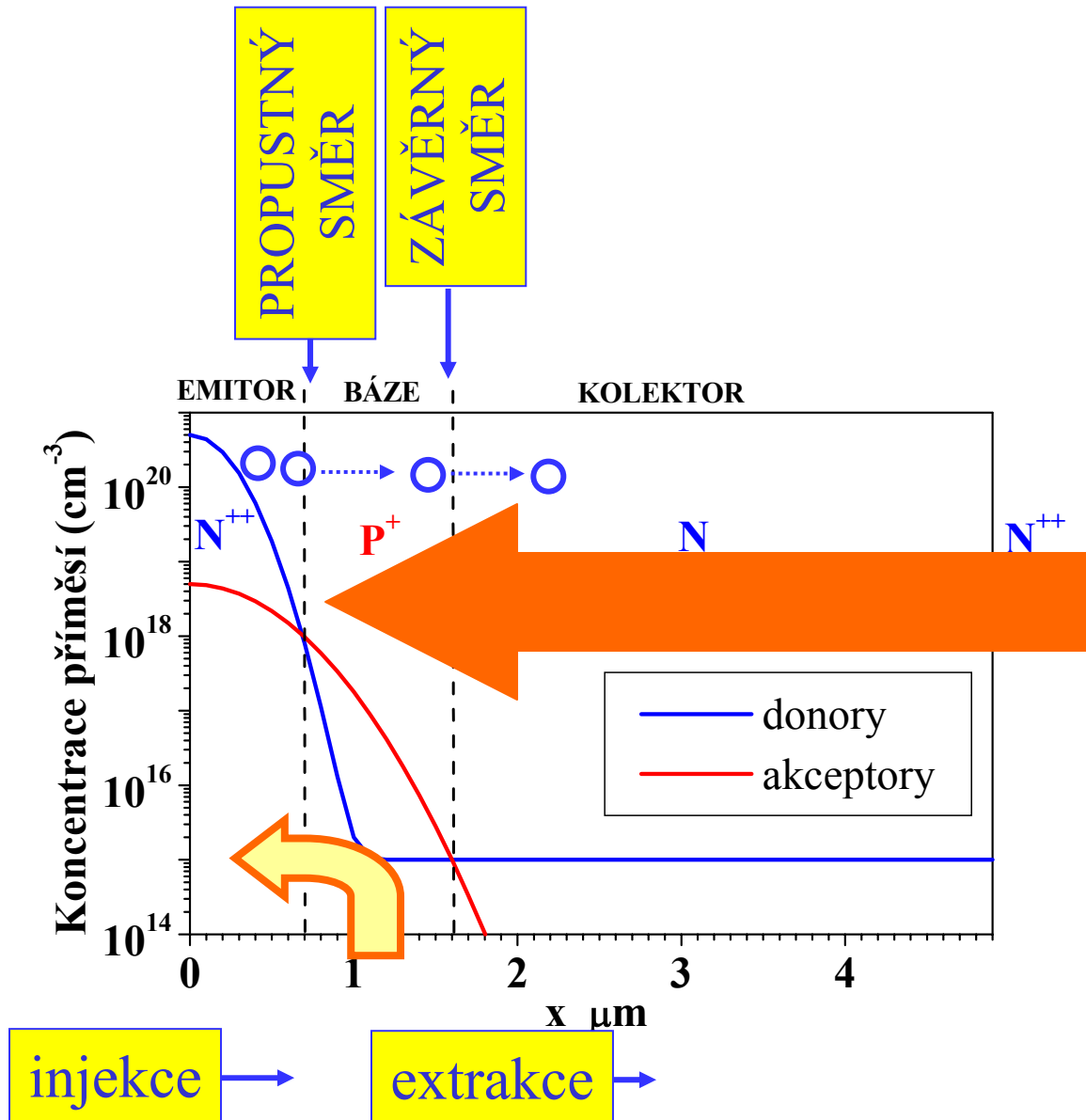
EMITOR
„emituje“ elektrony
do báze

Bipolární tranzistor

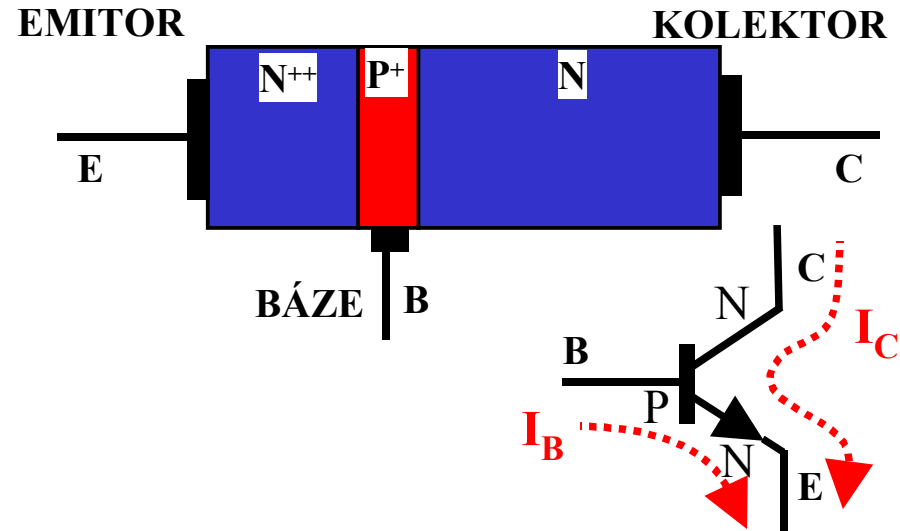


KOLEKTOR
„sbírá“ elektrony,
které prodifundují
bází

Bipolární tranzistor



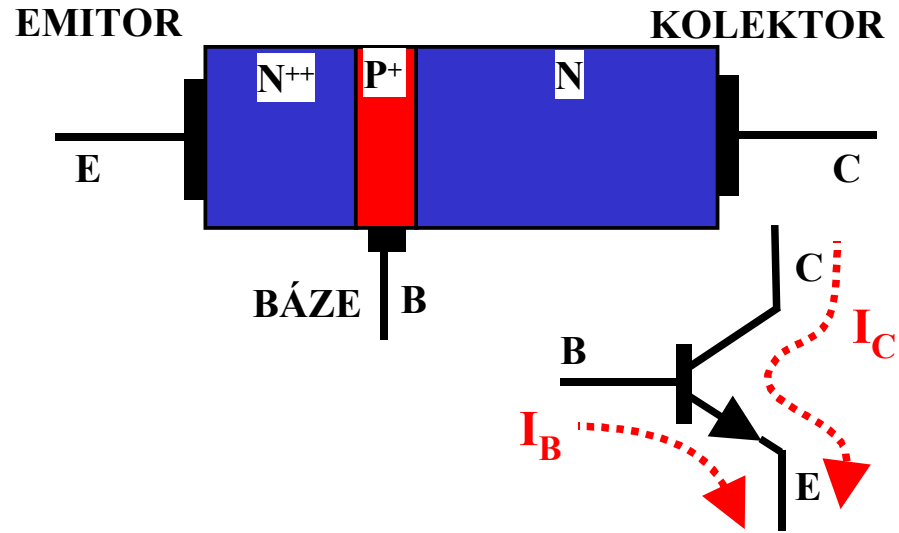
Bipolární tranzistor



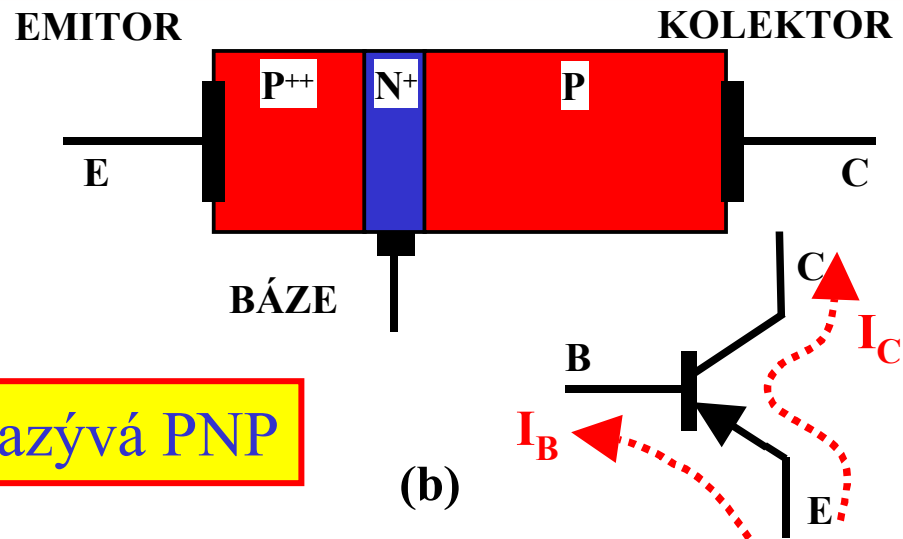
Šipka v emitoru ukazuje KLADNÝ směr toku proudu
v normálním aktivním režimu
(proti směru toku elektronů)

Tranzistor se nazývá NPN

Bipolární tranzistor



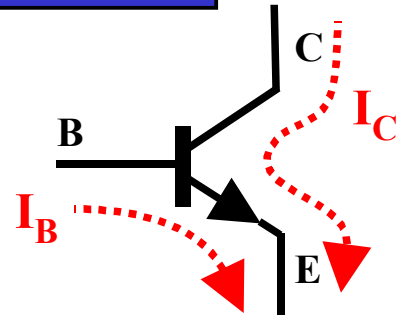
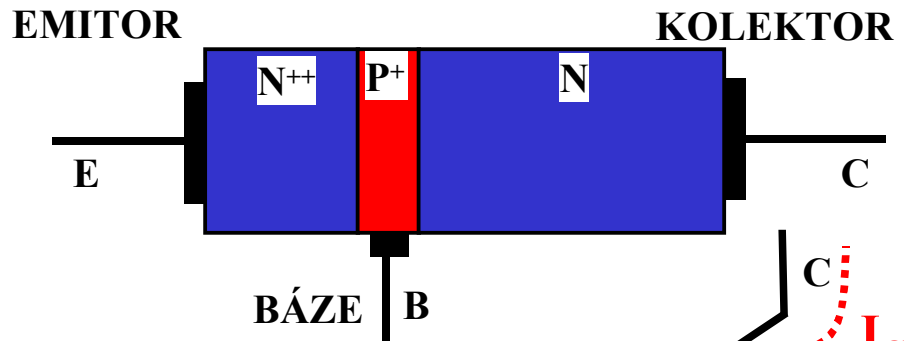
Šipka ukazuje KLADNÝ směr toku proudu v normálním aktivním režimu



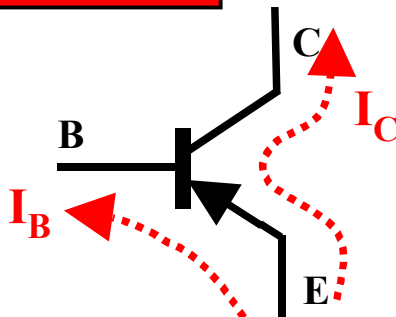
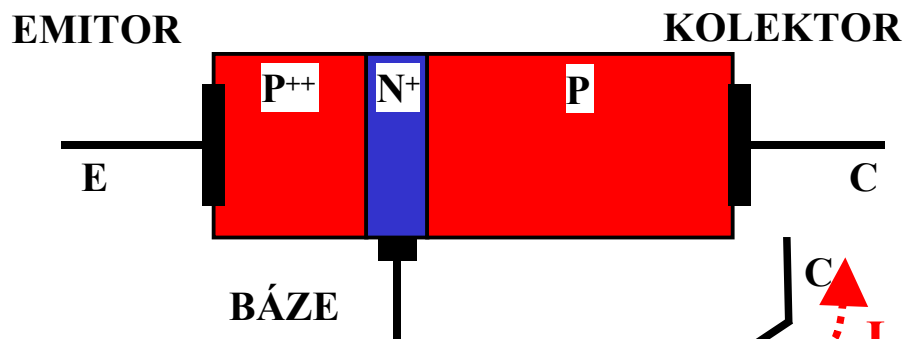
Tranzistor se nazývá PNP

(b)

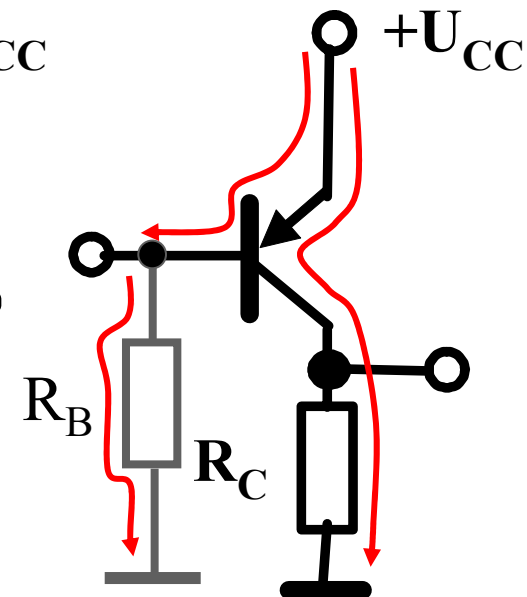
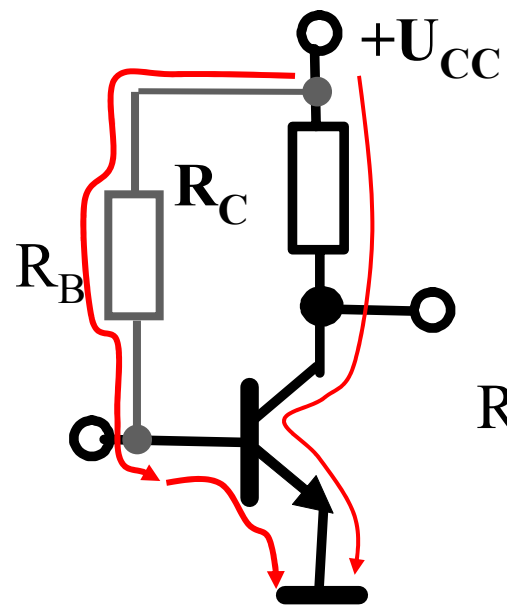
Bipolární tranzistor



(a)



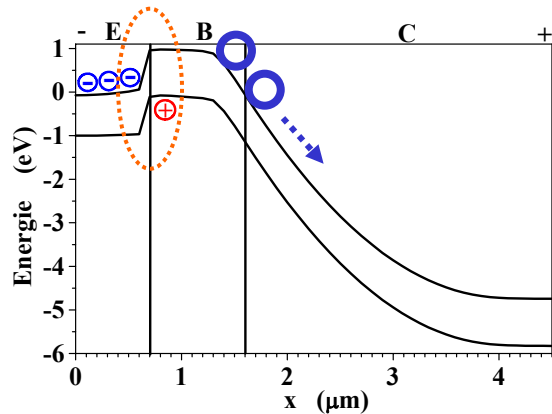
(b)



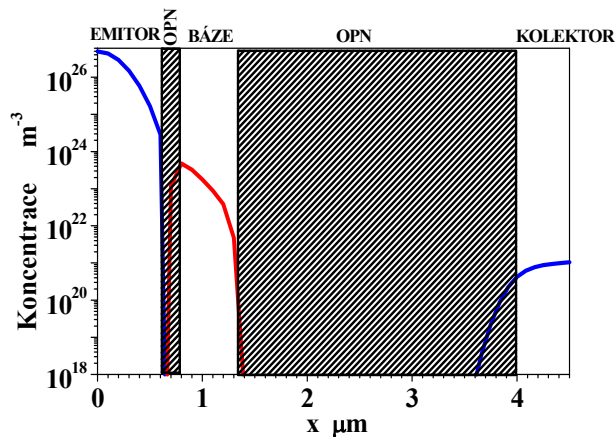
Bipolární tranzistor – režimy činnosti

Polarizace přechodu B-E	Polarizace přechodu B-C	Režim
$U_{BE} < U_P$	$U_{BC} \leq 0$	Nevodivý
$U_{BE} > 0$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} > 0$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_P$	$U_{BC} \geq U_P$	Saturace

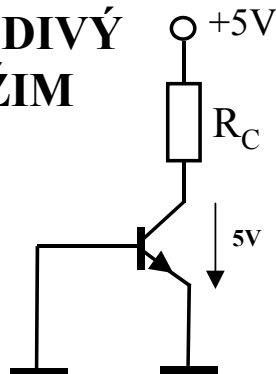
Bipolární tranzistor – nevodivý režim



Vysoká energetická bariéra
brání průchodu elektronů z E do B
a děr z B do E



**NEVODIVÝ
REŽIM**



Elektrony mohou přejít z B do C
a díry z C do B,
ale je jich málo (jsou minoritní)

⇒

teče jen malý závěrný proud
přechodu B-C.

Nazývá se **ZBYTKOVÝ** proud.

Bipolární tranzistor – režimy činnosti

Polarizace přechodu B-E	Polarizace přechodu B-C	Režim
$U_{BE} < U_P$	$U_{BC} \leq 0$	Nevodivý
$U_{BE} > 0$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} > 0$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_P$	$U_{BC} \geq U_P$	Saturace

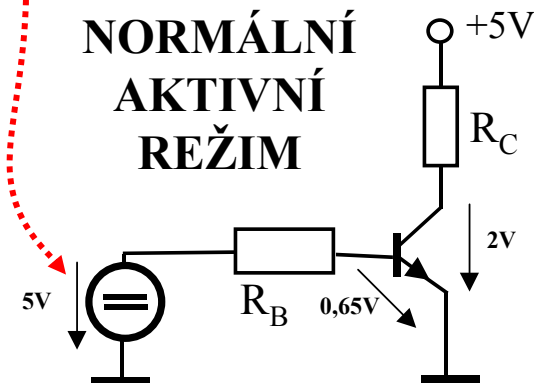
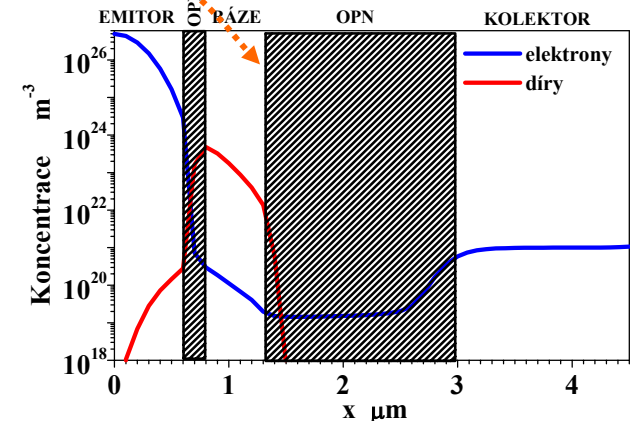
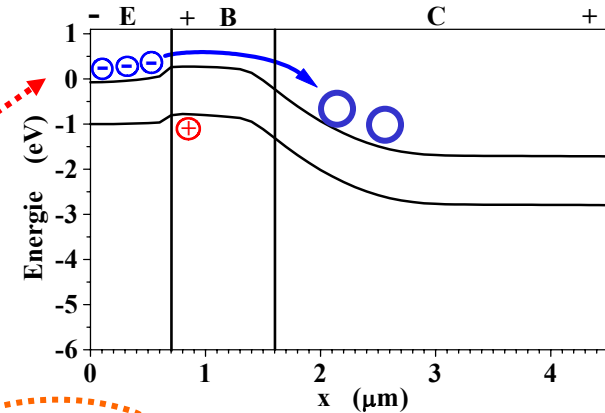
Bipolární tranzistor – normální aktivní režim

Propustná polarizace přechodu B-E
sníží energetickou bariéru
⇒ Injekce elektronů z E do B
a děr z B do E

Závěrná polarizace přechodu B-C
způsobí extrakci elektronů,
které prošly přes bázi k B-C
⇒ průtok velkého proudu z E do C

Aby prošel dostatek elektronů přes
bázi, musí být **tenká**. $w_B \ll L_{Dn}$

Tranzistorový jev:
Napětím U_{BE} řídíme proud I_C .

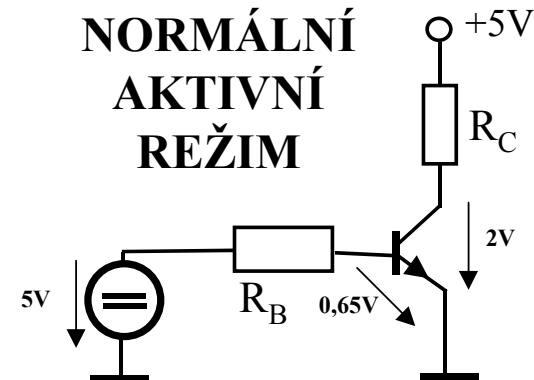
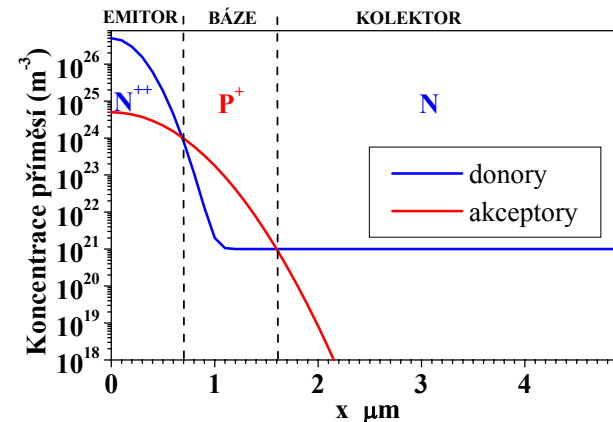
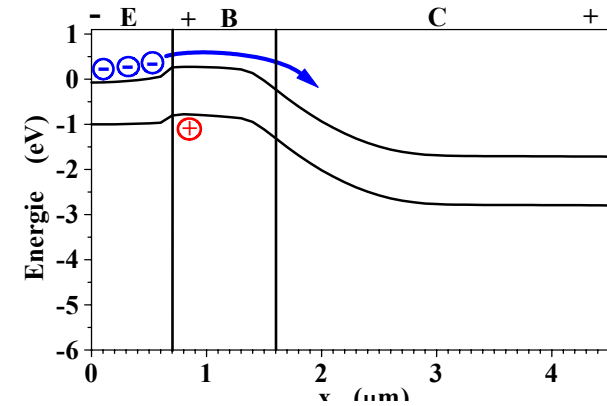


Bipolární tranzistor – normální aktivní režim

Koncentrace donorů v emitoru
je mnohem větší než akceptorů v bázi
⇒ injekce elektronů z E do B
je mnohem větší než děr z B do E
⇒ **PROUDOVÉ ZESÍLENÍ**

$N_D \sim 100 \times N_A$
⇒ proudové zesílení mezi bázi
a emitorem je ~ 100

PROUDOVÉ ZESÍLENÍ
vytváří přechod B-E



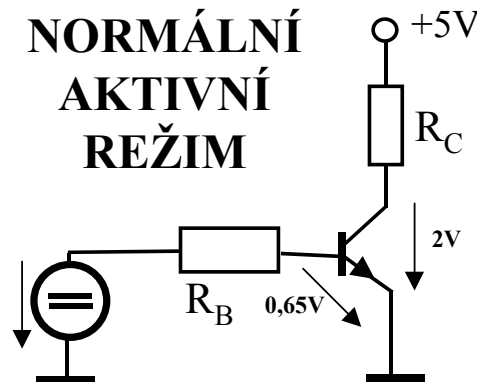
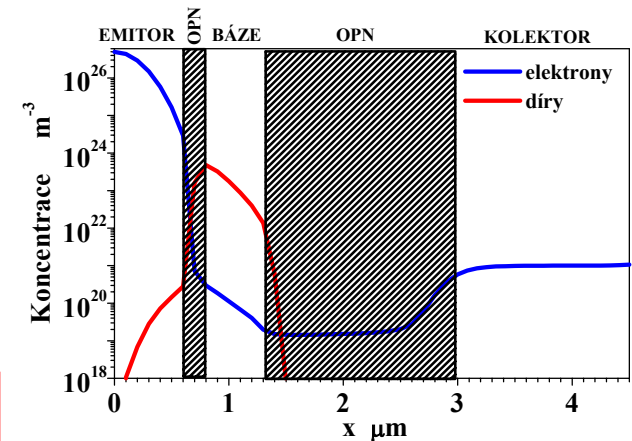
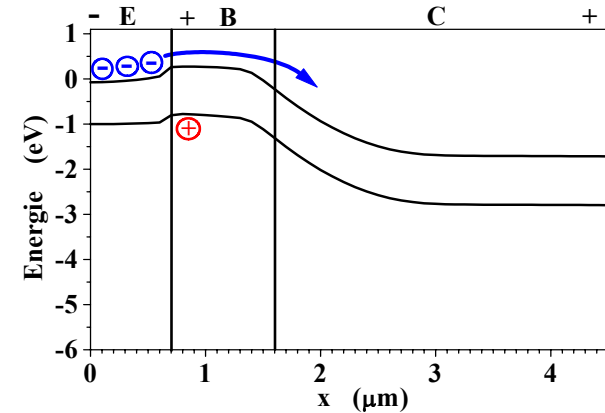
Bipolární tranzistor – normální aktivní režim

Proud do báze je nežádoucí důsledek

1. injekce děr do emitoru
2. rekombinace děr s elektrony v bázi.

Díry na bázové straně přechodu B-E být musí. Potřebujeme zde kladný potenciál.

Snížení počtu děr injektovaných z B do E a odtud malý proud báze pro zajištění velkého proudu kolektoru
zajistí $N_D \sim 100 \times N_A$
 \Rightarrow proudové zesílení ~ 100

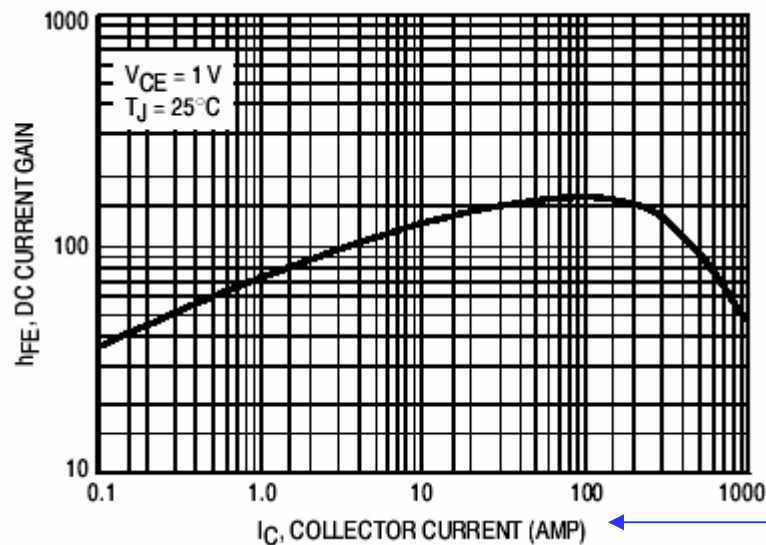


Bipolární tranzistor – proudový zesilovací činitel

$$h_{21E} = h_{FE} = I_C / I_B \sim 100$$

v zapojení se společným Emitorem

DC Current Gain ($I_C = 100 \text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ V}$)		h_{FE}			
	BC337	100	–	630	–
	BC337–16	100	–	250	
	BC337–25/BC338–25	160	–	400	
	BC337–40	250	–	630	
($I_C = 300 \text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ V}$)		60	–	–	



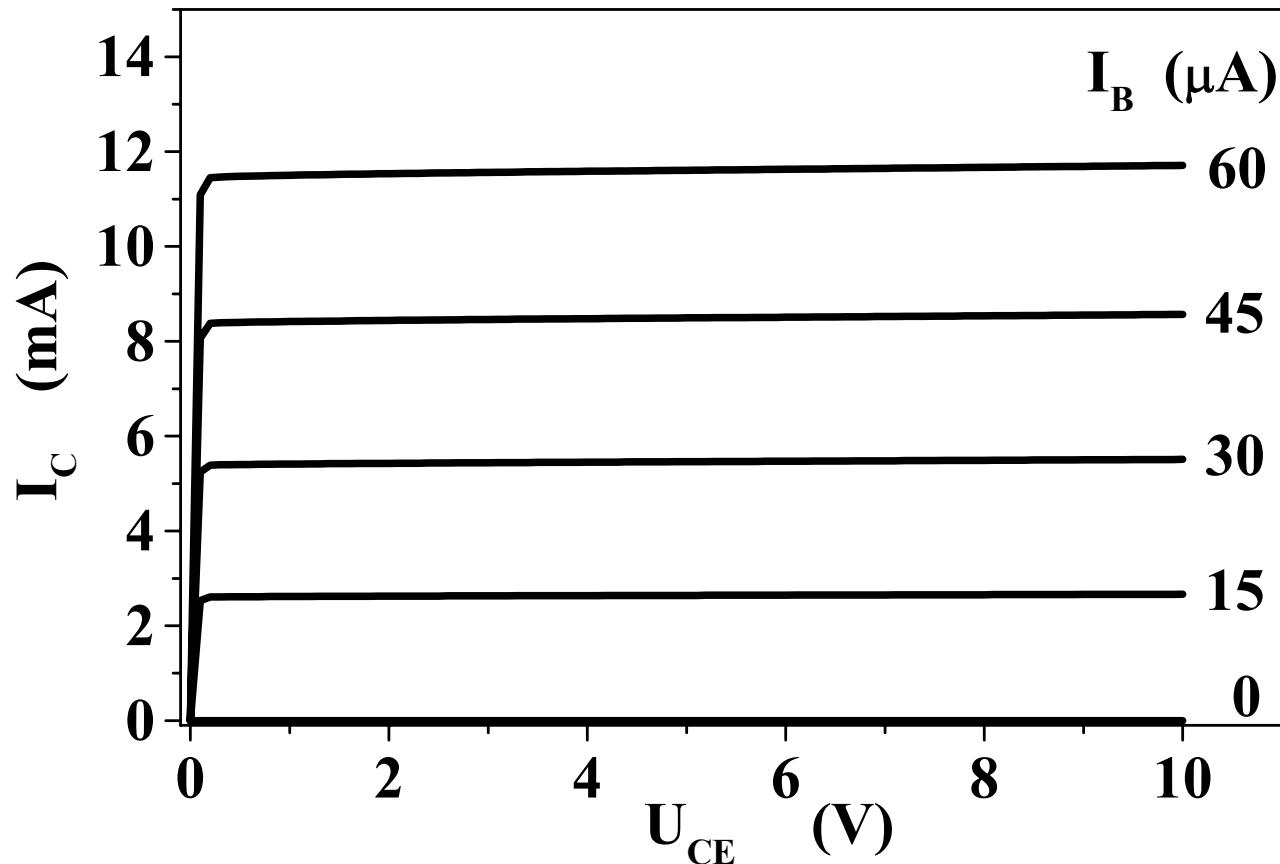
h_{21E} (h_{FE}) není konstanta,
závisí na proudu kolektoru !!!

logaritmická stupnice

Bipolární tranzistor – výstupní charakteristiky

Čím větší je U_{BE} , tím více se sníží energ. bariéra a teče větší proud.

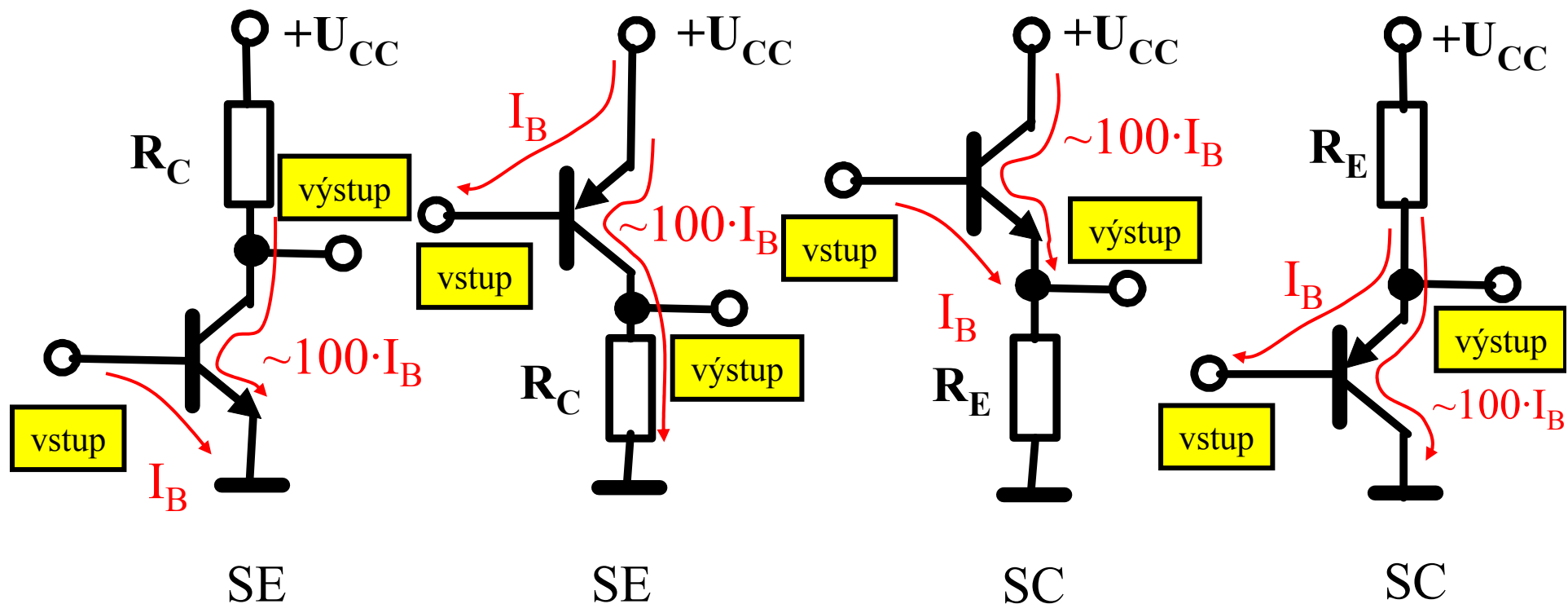
$$I_C \approx I_E = I_0 \cdot \left(\exp \frac{eU_{BE}}{kT} - 1 \right)$$



Tranzistor se chová jako zdroj proudu v širokém rozsahu napětí U_{CE} (U_{CB}).

Bipolární tranzistor

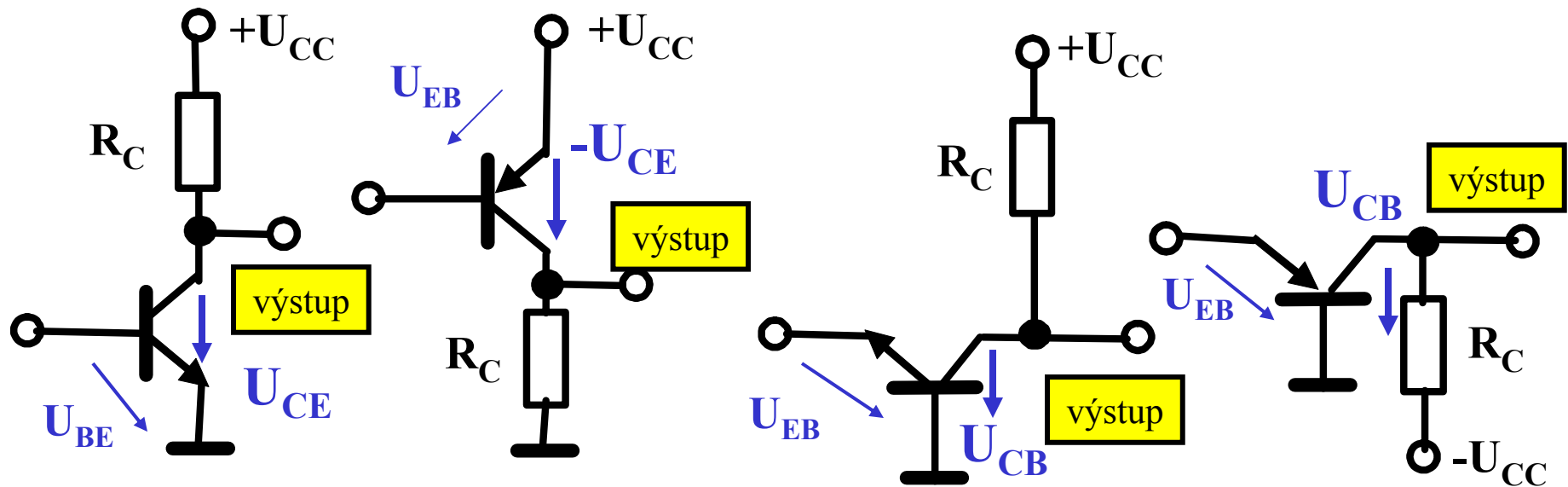
Zesiluje proud v těch konfiguracích, kdy je vstupem báze.



Bipolární tranzistor

Zesiluje napětí v těch konfiguracích, kdy je výstupem kolektor.

Potom malým vstupním napětím U_{BE} (U_{EB}) 0 až 0,7V ovládáme velké výstupní napětí U_{CE} (U_{CB}) 0 až U_{CC} .



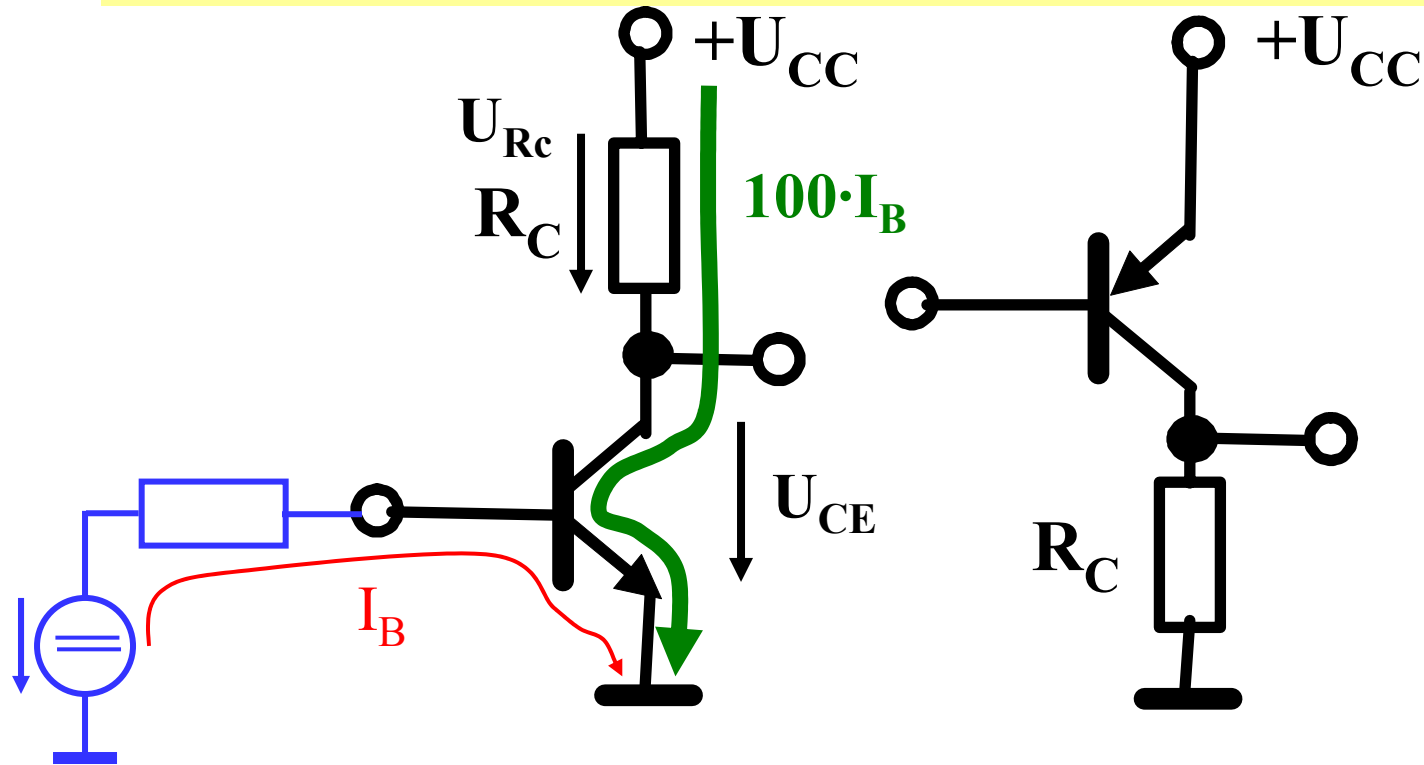
SE

SE

SB

SB

Bipolární tranzistor – mechanismus napět'ového zesílení



1. Přivedeme vstupní napětí

2. Proteče proud báze

3. Proteče proud kolektoru $100 \cdot I_B$

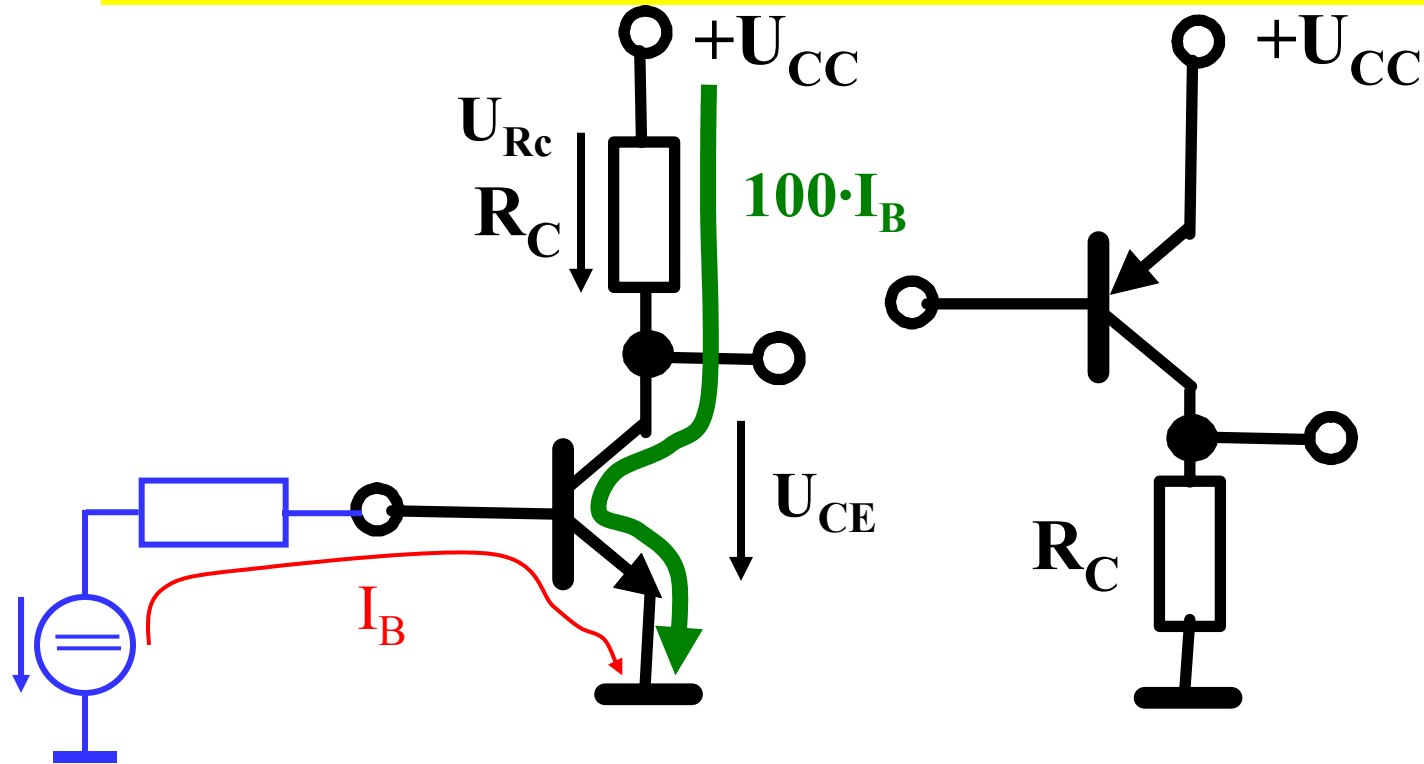
~ 100

4. Vzroste úbytek napětí na R_C na hodnotu $U_{RC} = h_{21E} \cdot I_B \cdot R_C$

Poklesne napětí U_{CE} z hodnoty $U_{CE} = U_{CC}$

na hodnotu $U_{CE} = U_{CC} - U_{RC} = U_{CC} - h_{21E} \cdot I_B \cdot R_C$

Bipolární tranzistor – mechanismus napěťového zesílení

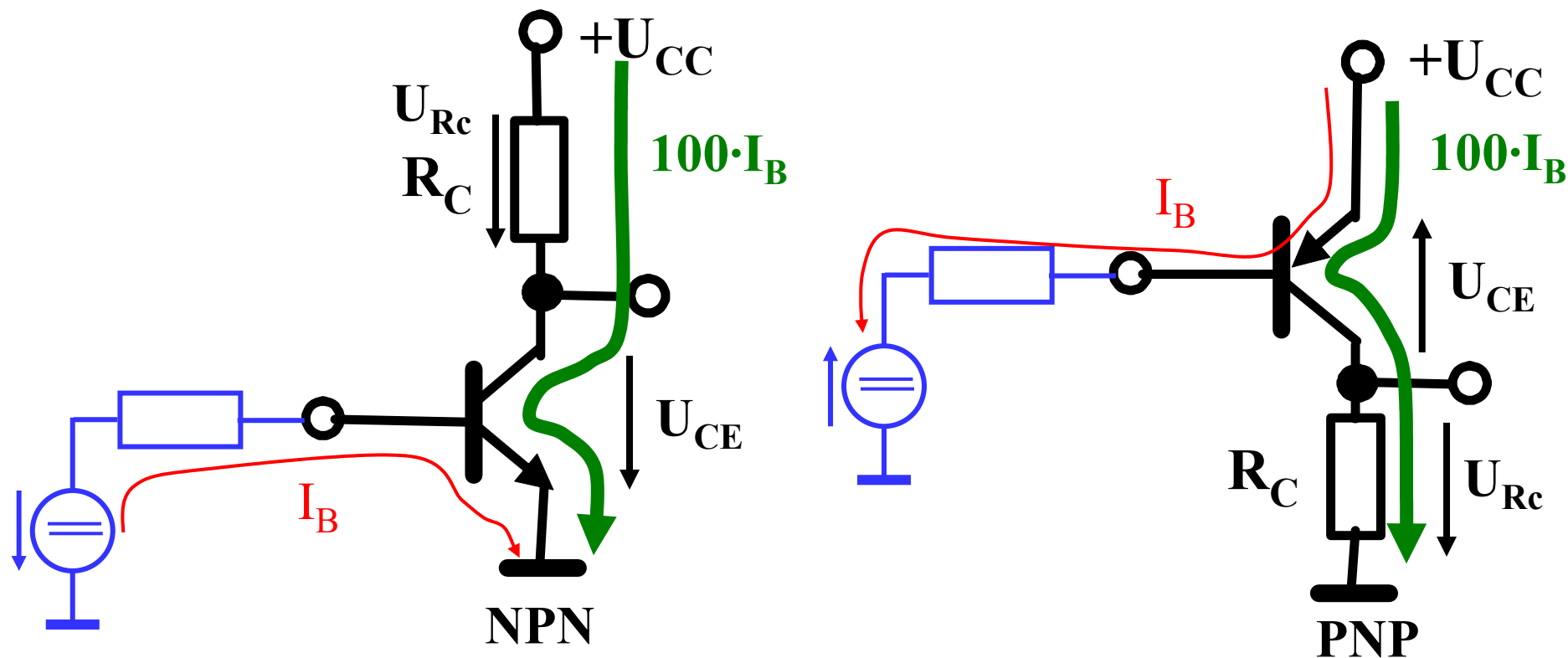


Poklesne napětí U_{CE} z hodnoty $U_{CE} = U_{CC}$ na hodnotu
$$U_{CE} = U_{CC} - U_{RC} = U_{CC} - h_{21E} \cdot I_B \cdot R_C$$

Malý nárůst U_{BE} způsobí velký pokles U_{CE} .

Tranzistor zesiluje a invertuje !!!

Bipolární tranzistor – mechanismus napět'ového zesílení



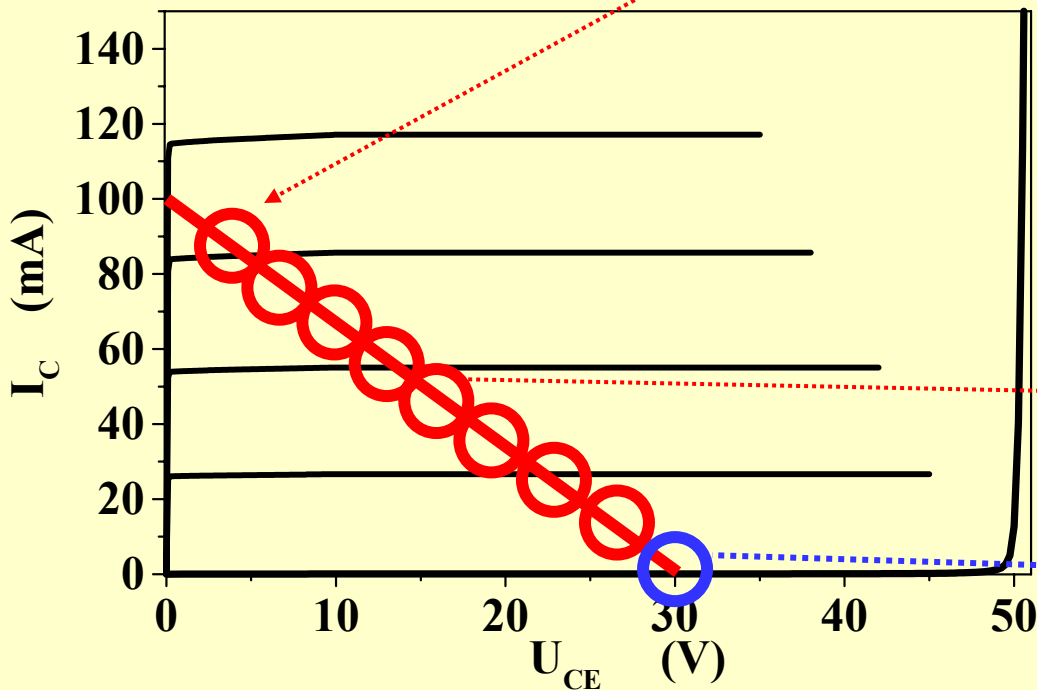
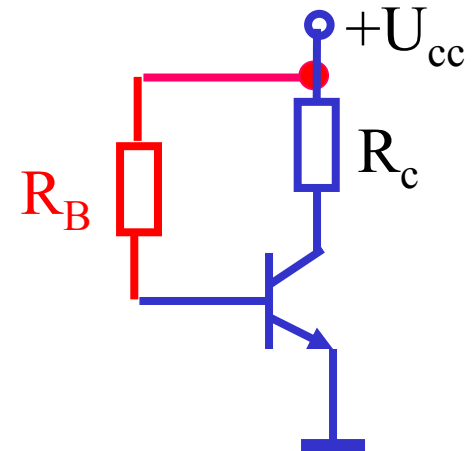
Princip zesilování napětí je shodný pro NPN a PNP.

Zátěž (R_C) zapojena
proti $+U_{CC}$

Zátěž (R_C) zapojena
proti zemi

Bipolární tranzistor

Normální aktivní režim – zesilovač
sepnutý stav spínače



Aktivní režim

Nevodivý režim

Bipolární tranzistor - příklad

Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

$$u_{\text{výstšš}} = 6 \text{ V}, R_Z = 100 \text{ k}\Omega$$

$$u_{\text{vstšš}} = 60 \text{ mV}, h_{21e} = 100$$

$$R_Z = 100 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_c \ll R_Z$$

Platí:

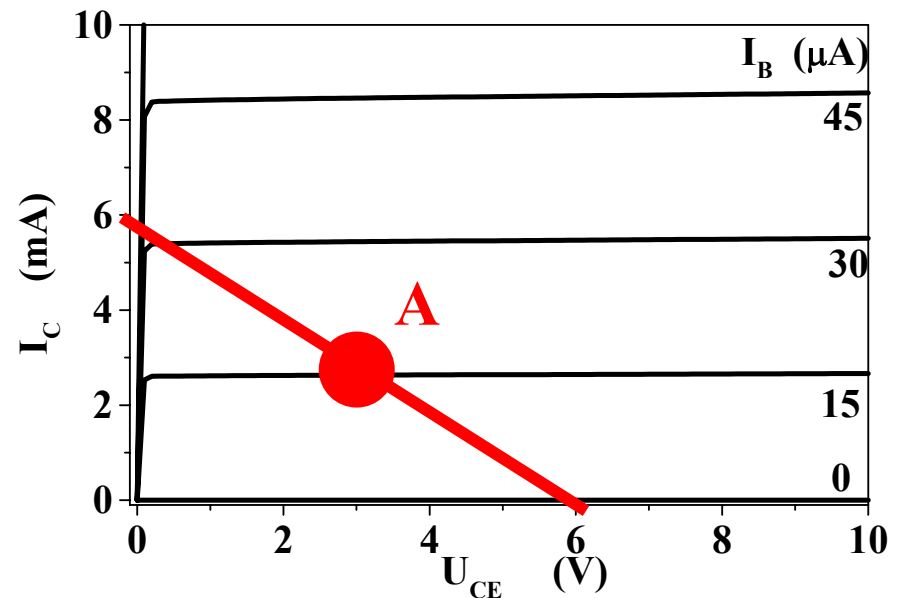
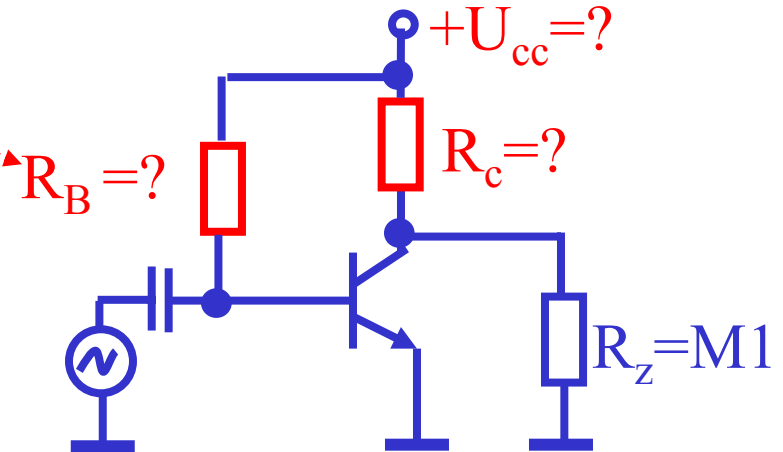
$$A_u = (h_{21e}/h_{11e}) \cdot R_c$$

$$h_{21e} = 100, h_{11e} \sim 1000$$

Chceme:

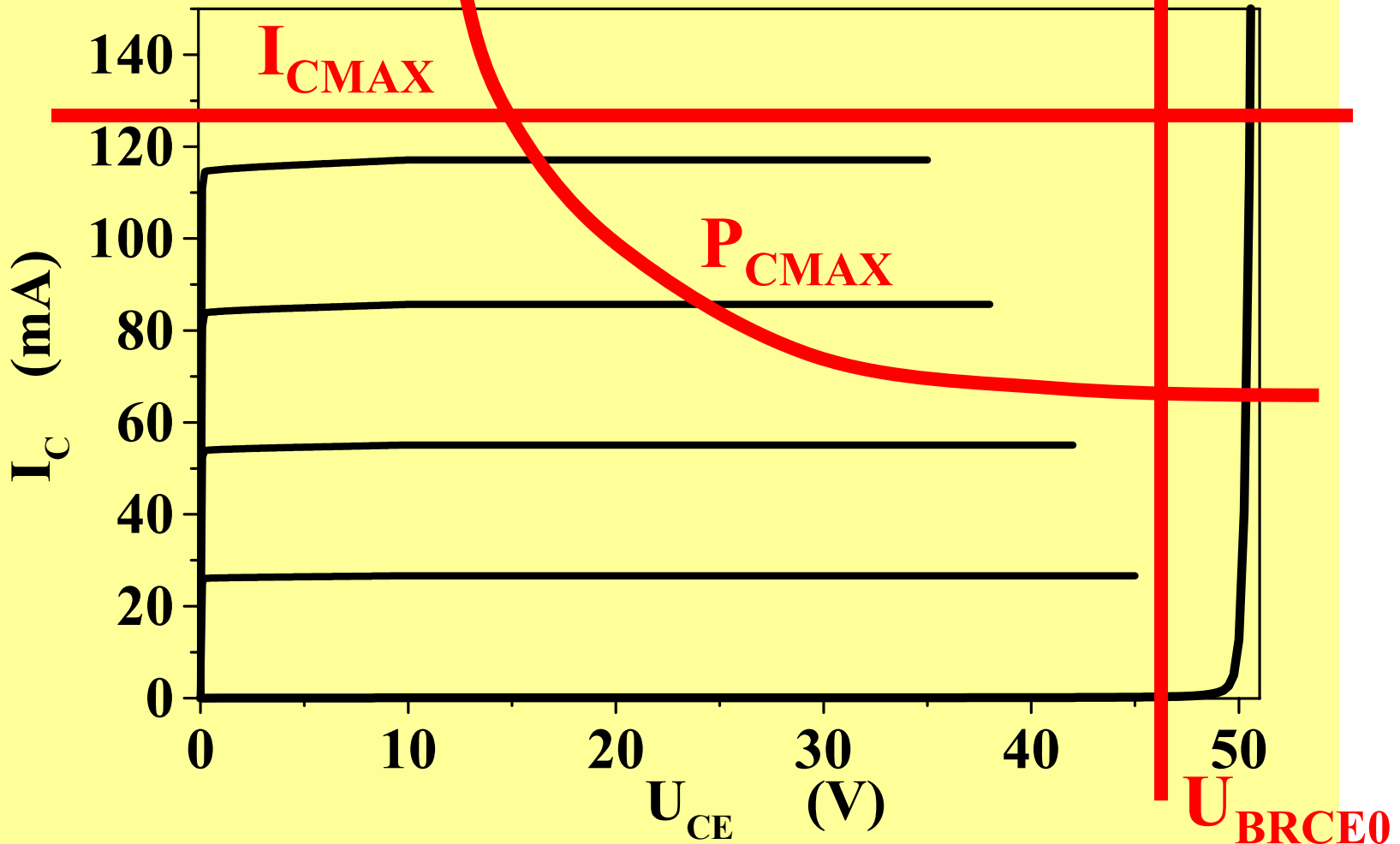
$$A_u = 100 = (h_{21e}/h_{11e}) \cdot R_c$$

$$\Rightarrow R_c \text{ volíme } 1 \text{ k}\Omega$$

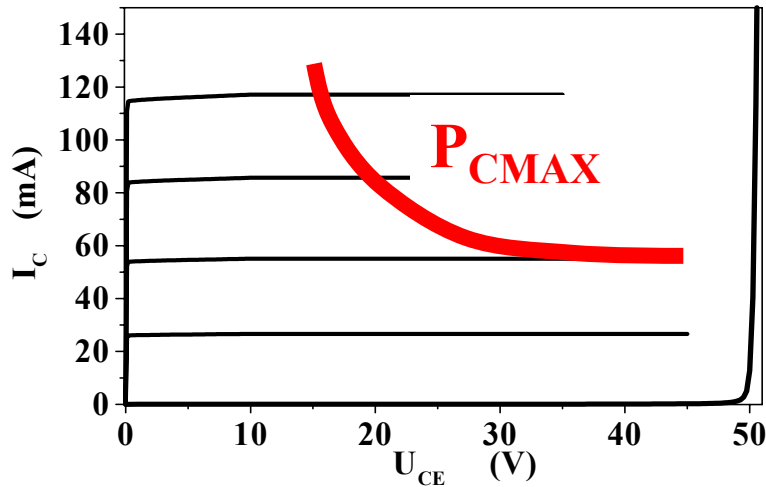


Bipolární tranzistor – mezní parametry

Výstupní charakteristiky



Bipolární tranzistor – mezní parametry



Výkonová ztráta tranzistoru:

$$P = U_{BE} \cdot I_B + U_{CE} \cdot I_C$$

$$U_{BE} \cdot I_B \ll U_{CE} \cdot I_C$$

např. pro $U_{CE} = 3 \text{ V}$ z příkladu:
 $0,7 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \ll 3 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$

Výkonová ztráta tranzistoru \cong „kolektorová ztráta“

$$P_C \cong U_{CE} \cdot I_C$$

$$I_C = P_C / U_{CE}$$

hyperbola ztrátového výkonu

Bipolární tranzistor – mezní parametry

ON Semiconductor™



Amplifier Transistors NPN Silicon

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CE0}	45	25	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB0}	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB0}	5.0		Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	800		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–55 to +150		$^\circ\text{C}$

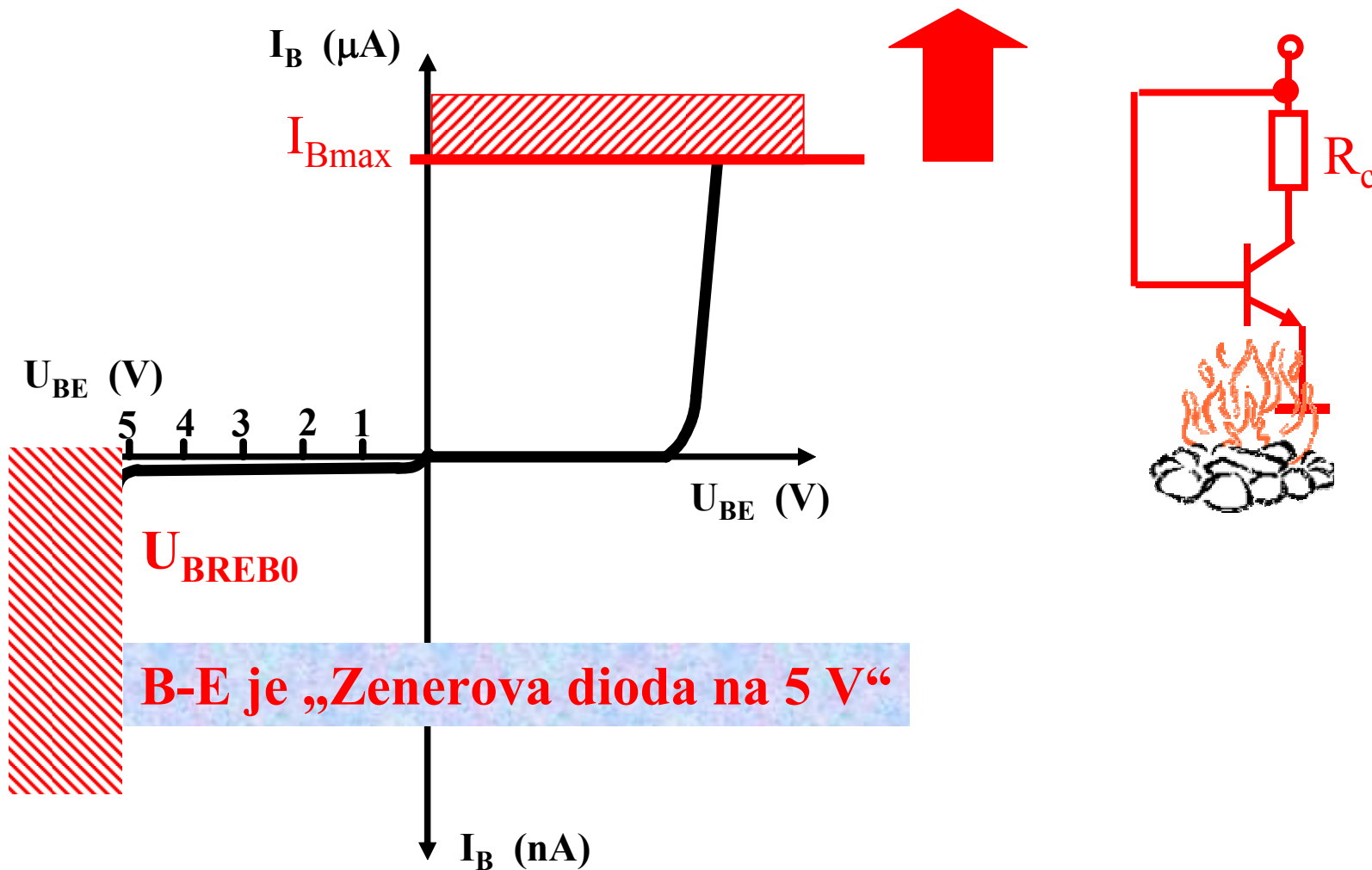
**BC337,
BC337-16,
BC337-25,
BC337-40,
BC338-25**



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

Bipolární tranzistor – mezní parametry

Vstupní charakteristiky



Bipolární tranzistor – mezní parametry

ON Semiconductor™



Amplifier Transistors NPN Silicon

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CE0}	45	25	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB0}	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB0}	5.0		Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	800		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–55 to +150		$^\circ\text{C}$

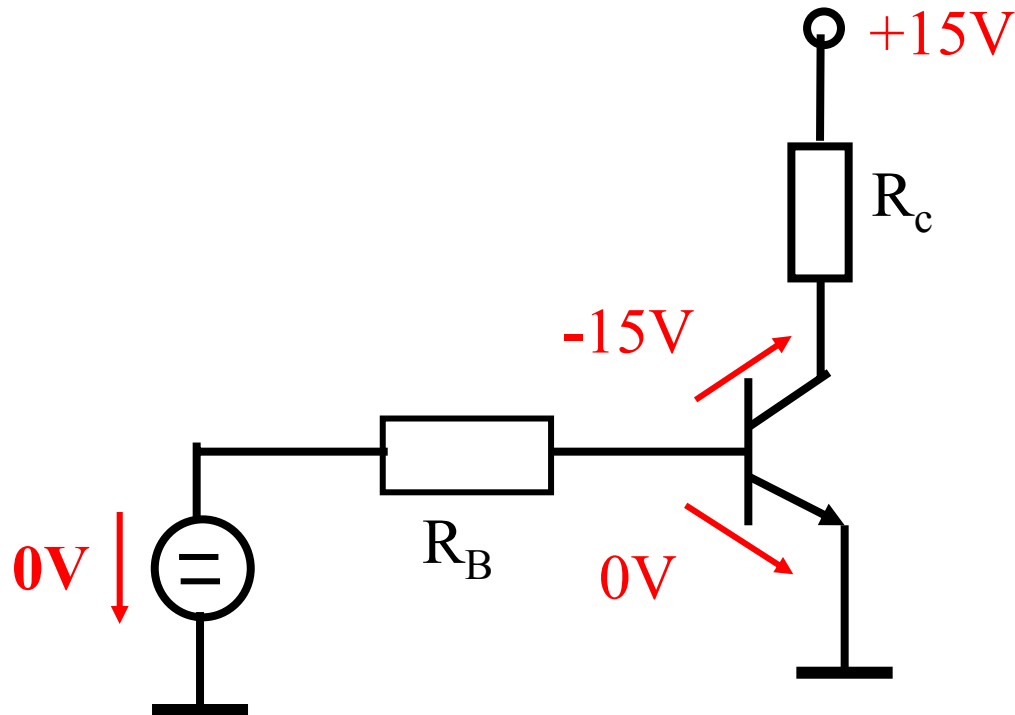
**BC337,
BC337-16,
BC337-25,
BC337-40,
BC338-25**



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

Přetížení přechodu B-E v propustném směru se nepředpokládá...

Bipolární tranzistor – mezní parametry



Přechod B-C musí být konstruován tak, aby měl tranzistor potřebné průrazné napětí.

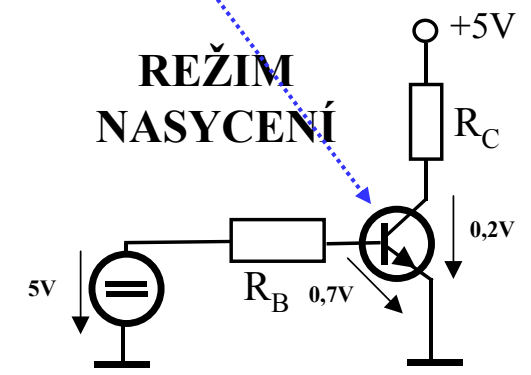
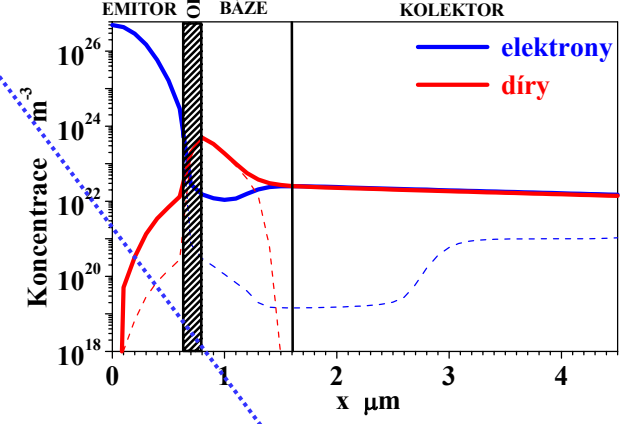
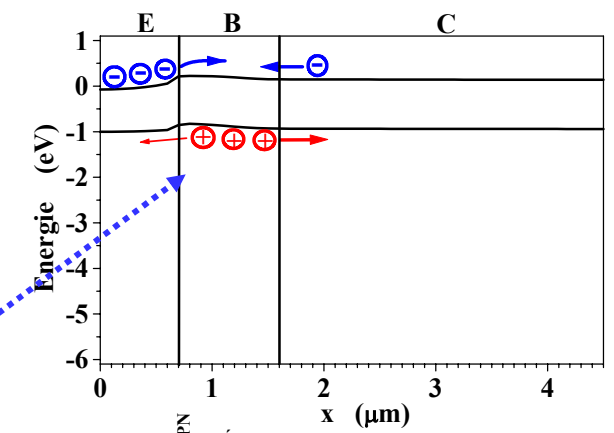
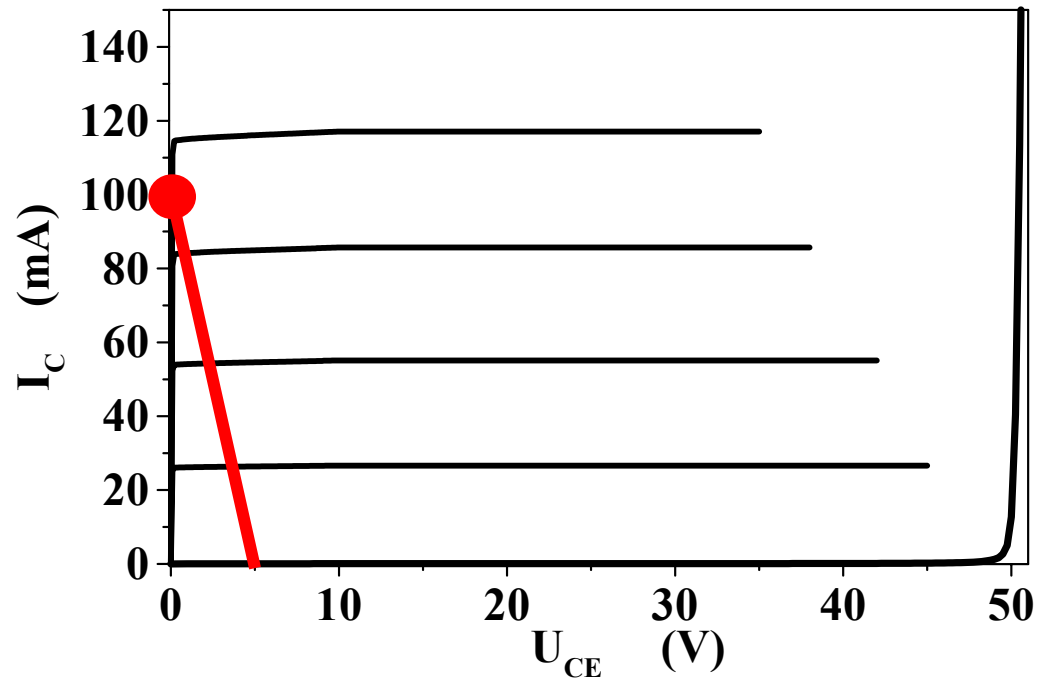
Bipolární tranzistor – režimy činnosti

Polarizace přechodu B-E	Polarizace přechodu B-C	Režim
$U_{BE} < U_P$	$U_{BC} \leq 0$	Nevodivý
$U_{BE} > 0$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} > 0$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_P$	$U_{BC} \geq U_P$	Saturace

Bipolární tranzistor – režim saturace

Oba přechody polarizovány
v propustném směru \Rightarrow
 $U_{CE} = U_{CESAT} \rightarrow 0,1 \text{ V}.$

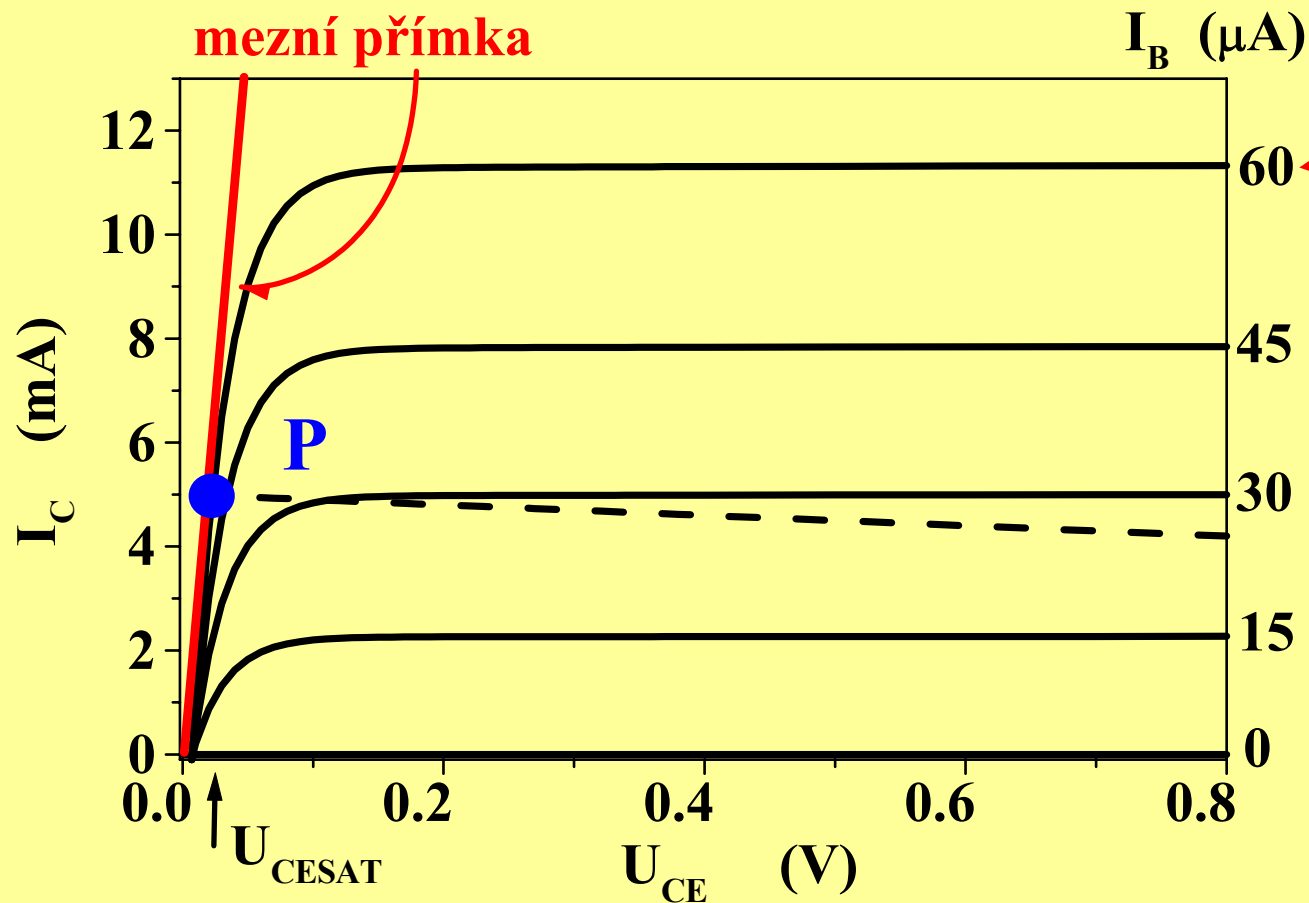
Proudové zesílení významně klesá.



Bipolární tranzistor – režim saturace

Proudové zesílení významně klesá.

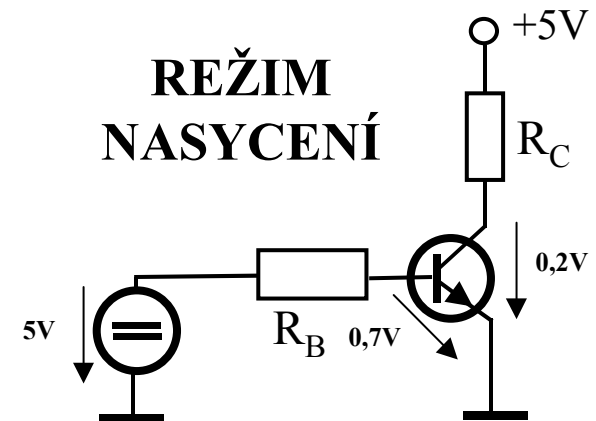
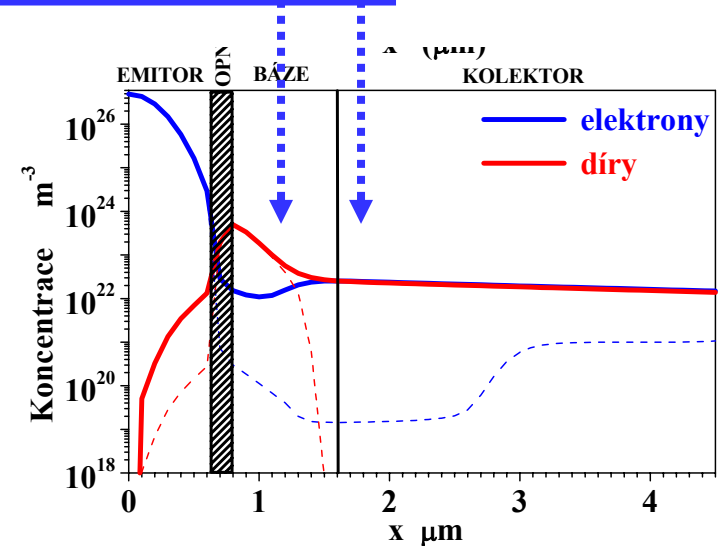
Pro stejný I_C potřebujeme větší I_B !!!



Bipolární tranzistor – režim saturace

Oba přechody polarizovány v propustném směru
⇒ báze a přechod B-C zaplaveny nosiči.

⇒ pro vypnutí tranzistoru je
nutné bázi a B-C zotavit od
nadbytečného náboje
⇒ dlouhá doba vypnutí



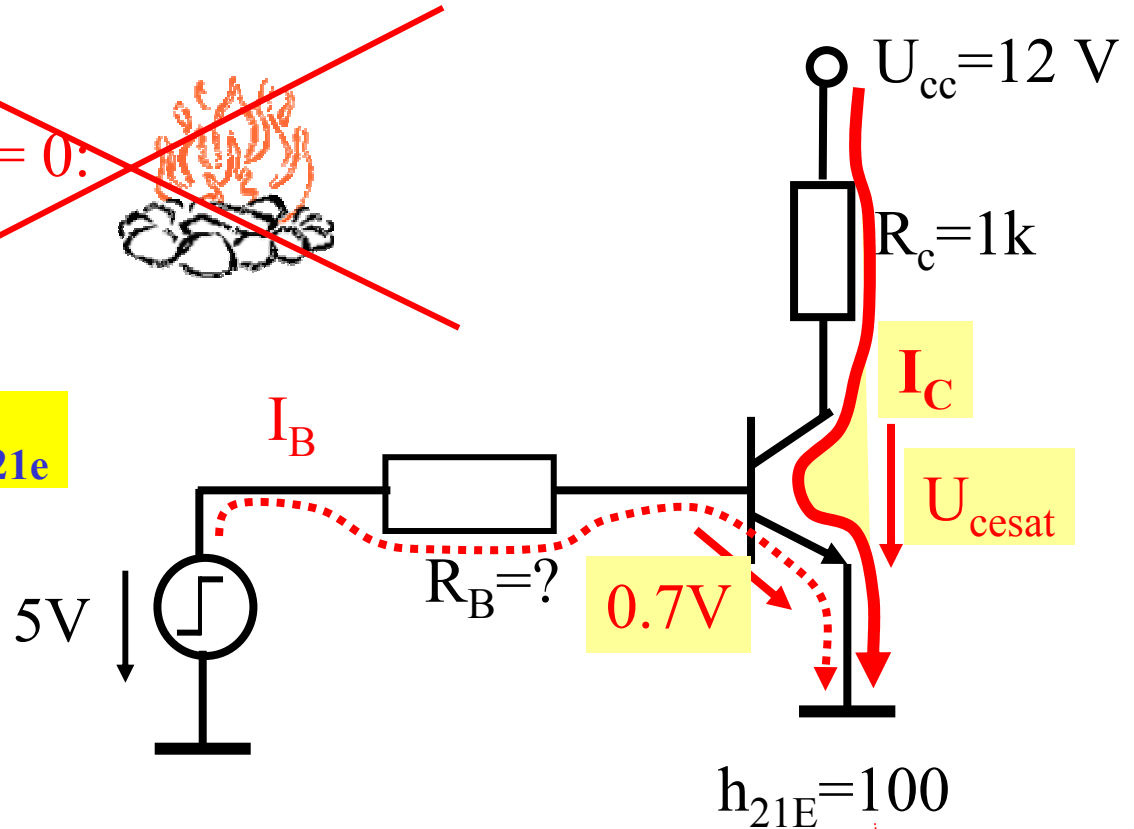
Bipolární tranzistor jako spínač - příklad

~~$R_B = 0$:~~



$$R_B = U_{RB} / I_B = (U_{RB} / I_C) \cdot h_{21e}$$

$$I_C = (U_{cc} - U_{cesat}) / R_C \\ = (12 - 0.2) / 1000 = \\ = 11.8 \text{ mA}$$

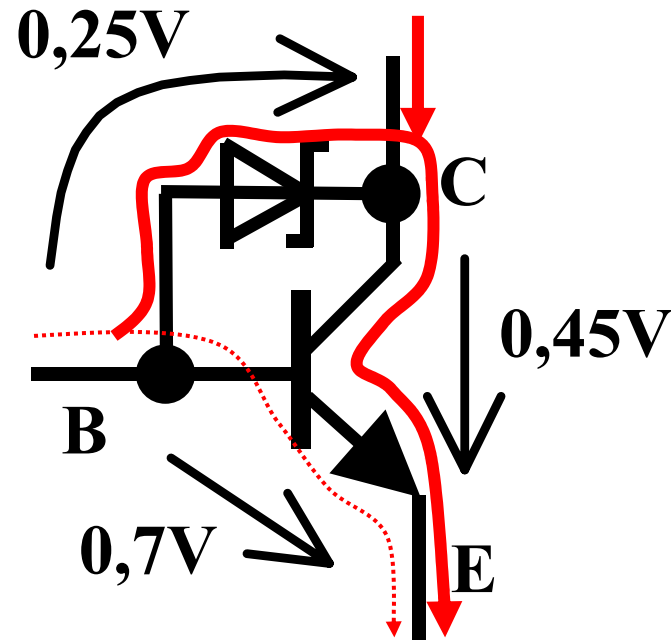
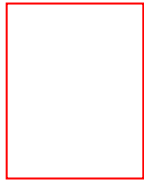


$$R_B = [(5 - 0.7) / 0.0118] \cdot 50 = 18\,220 \text{ k}\Omega \Rightarrow 18\text{k}$$

pokles v saturaci

Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Schottkyho desaturační dioda mezi B a C
paralelní omezovač napětí na 0,25 V zabrání saturaci

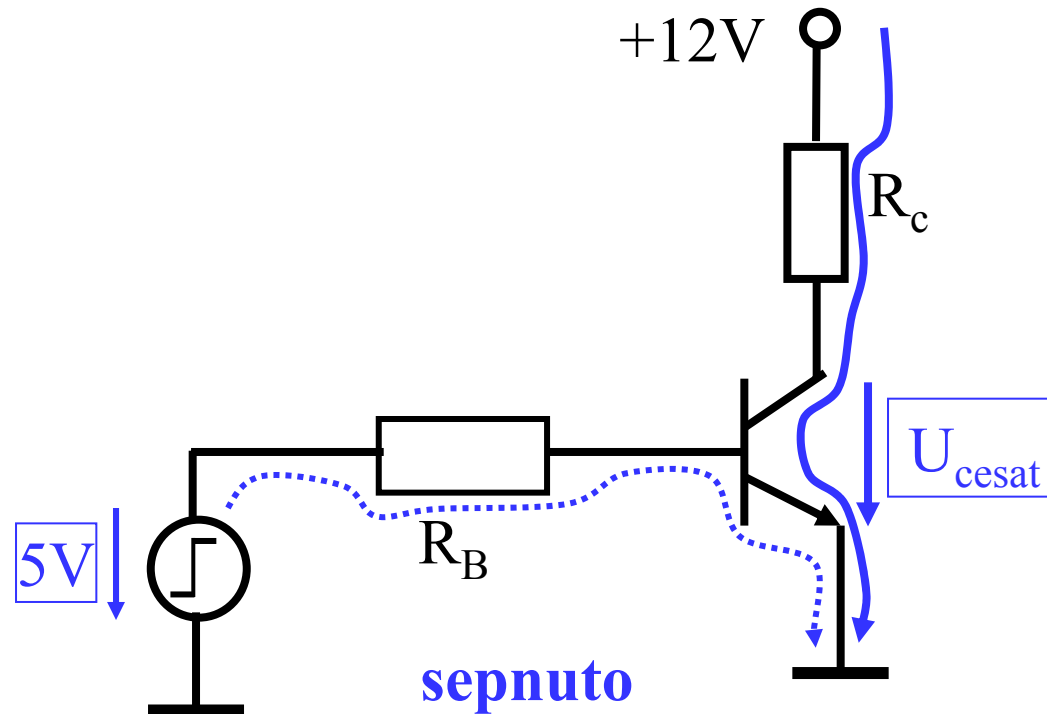


STTL
LSTTL

Schottkyho dioda mezi B a C nedovolí pokles U_{BC} pod 0,25V
⇒ přechod B-C se nemůže dostat do propustného směru
⇒ přechod B-C se nemůže příliš zaplavit

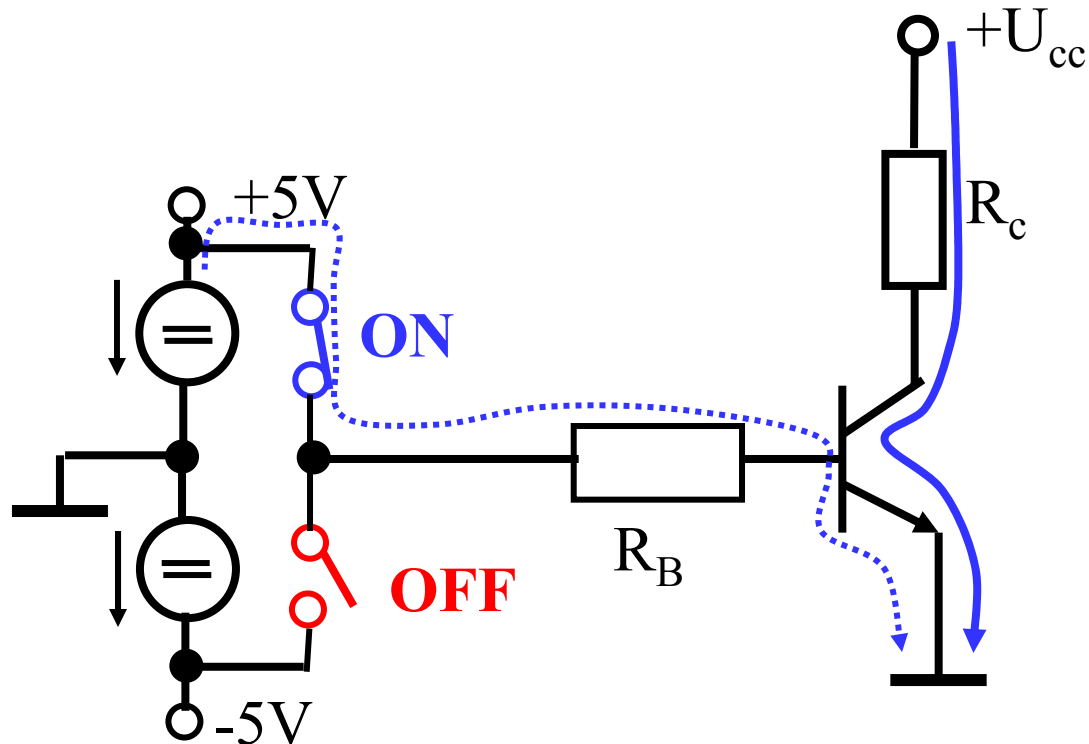
Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání tranzistoru v saturaci vnějším obvodem



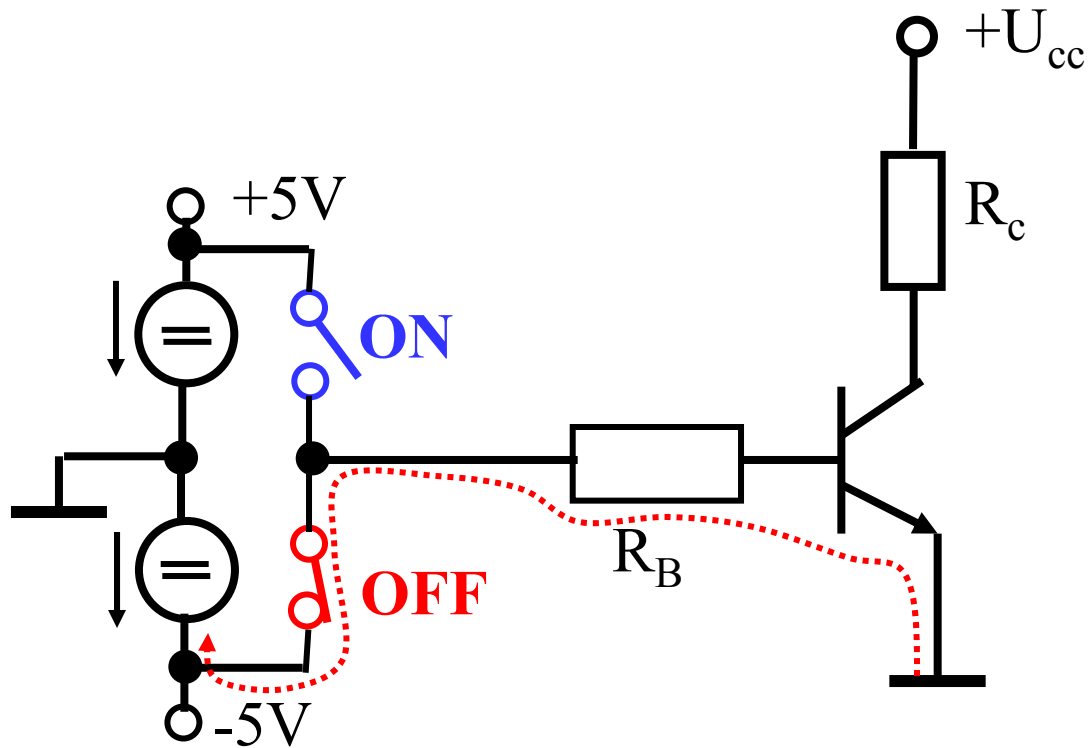
Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání vnějším obvodem se záporným předpětím



Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání vnějším obvodem se záporným předpětím

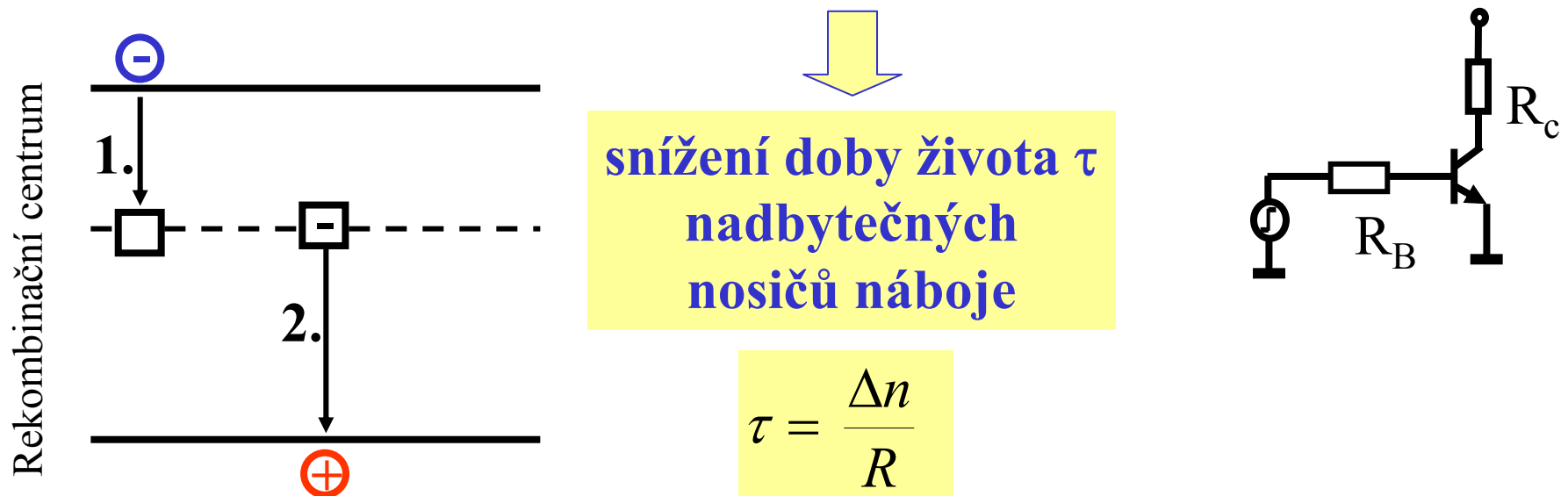


Dioda B-E je rychle zbavena náboje v procesu závěrného zotavení (pomáhá nám el. pole) ze zdroje -5 V.

Typ. aplikace: vypínání výkonových tranzistorů

Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání zvýšením rekombinační rychlosti R v bázi přidáním rekombinačních center v přidavném technolog. kroku.



V praxi užívaná rekombinační centra:

- po difúzi zlata nebo platiny
- poruchy po elektronovém ozařování
- poruchy po ozařování protony (H^+) nebo alfa částicemi (He^{2+})