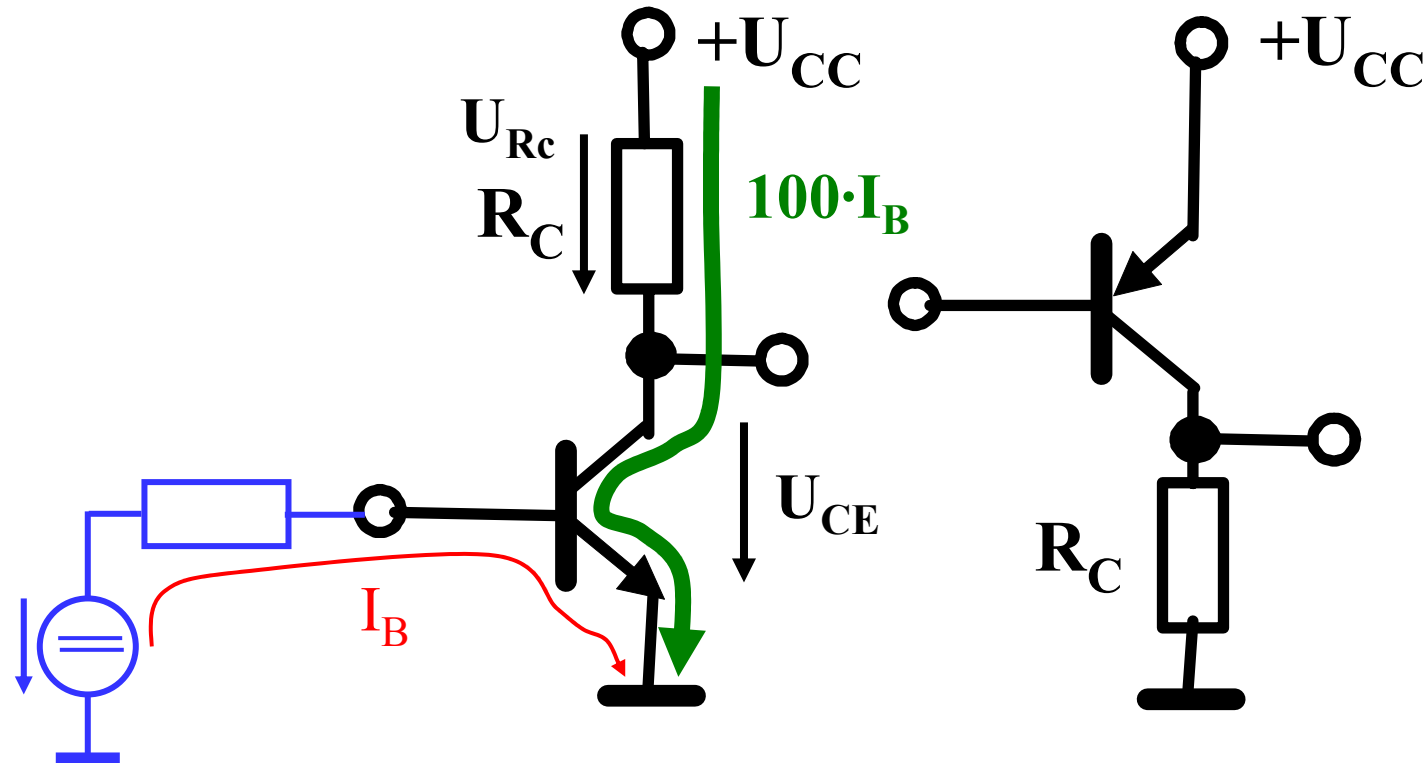


## 6.přednáška

### Bipolární tranzistor



1. Přivedeme vstupní napětí

2. Proteče proud báze

3. Proteče proud kolektoru  $100 \cdot I_B$

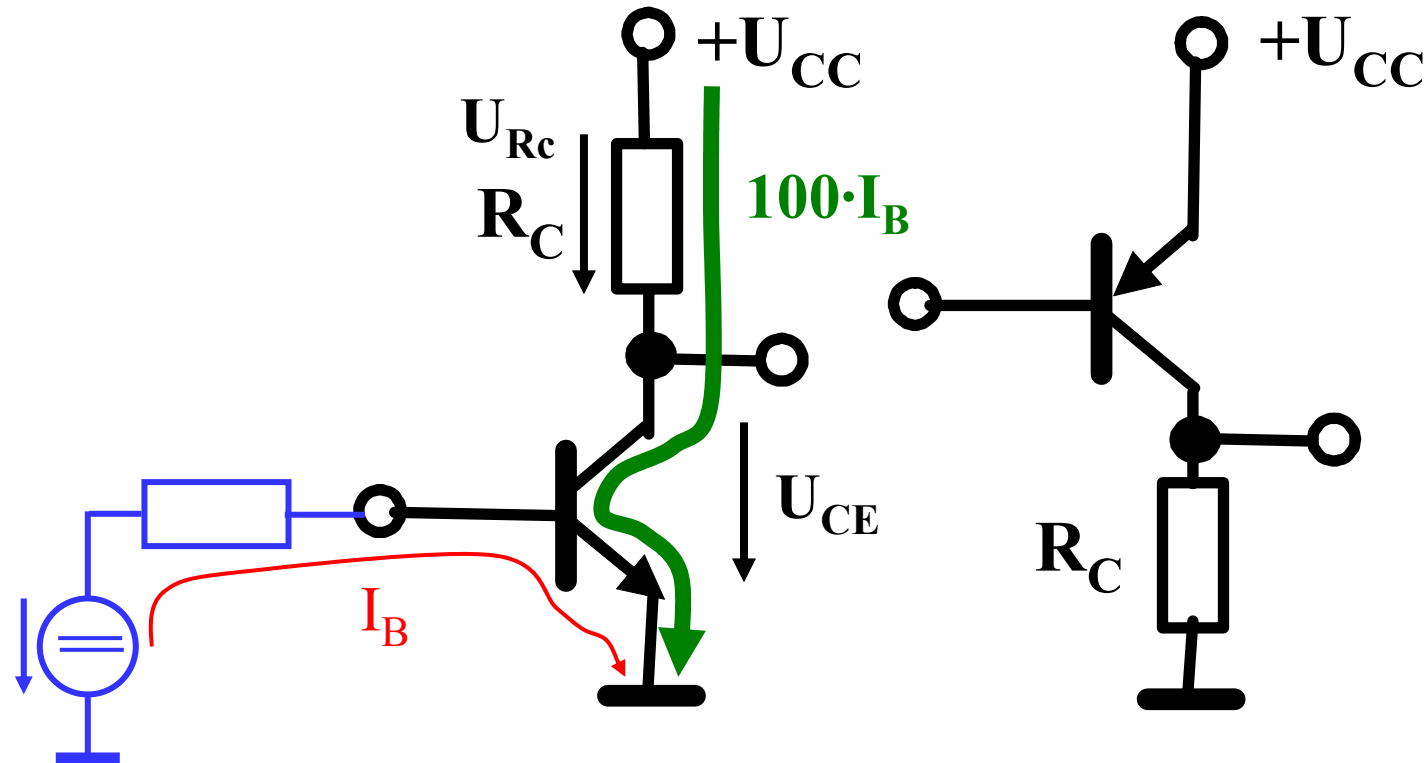
4. Vzroste úbytek napětí na  $R_C$  na hodnotu  $U_{RC} = h_{21E} \cdot I_B \cdot R_C$

$\sim 100$

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

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

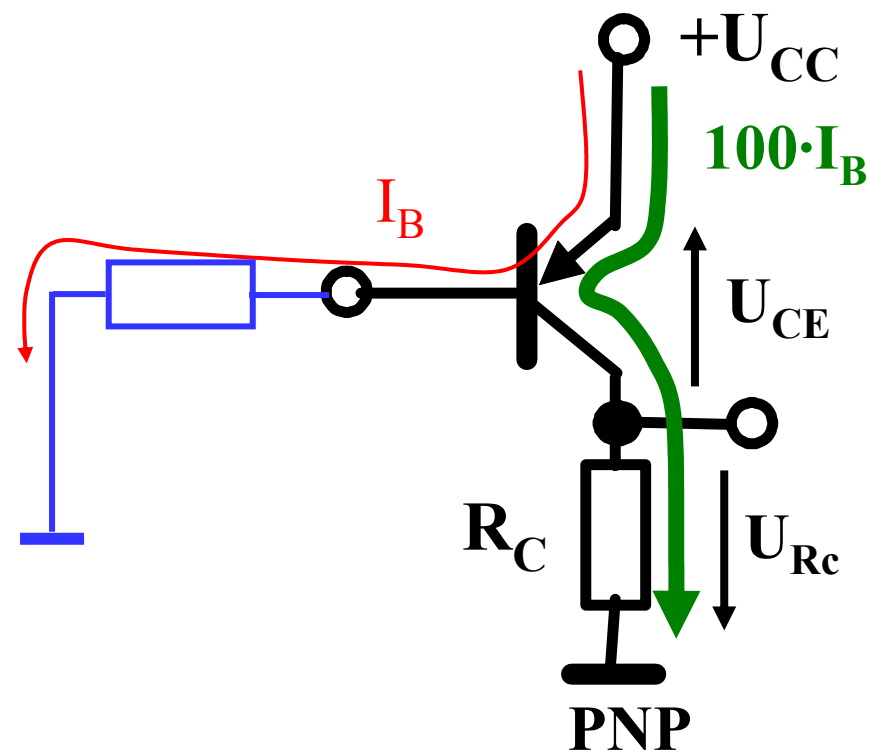
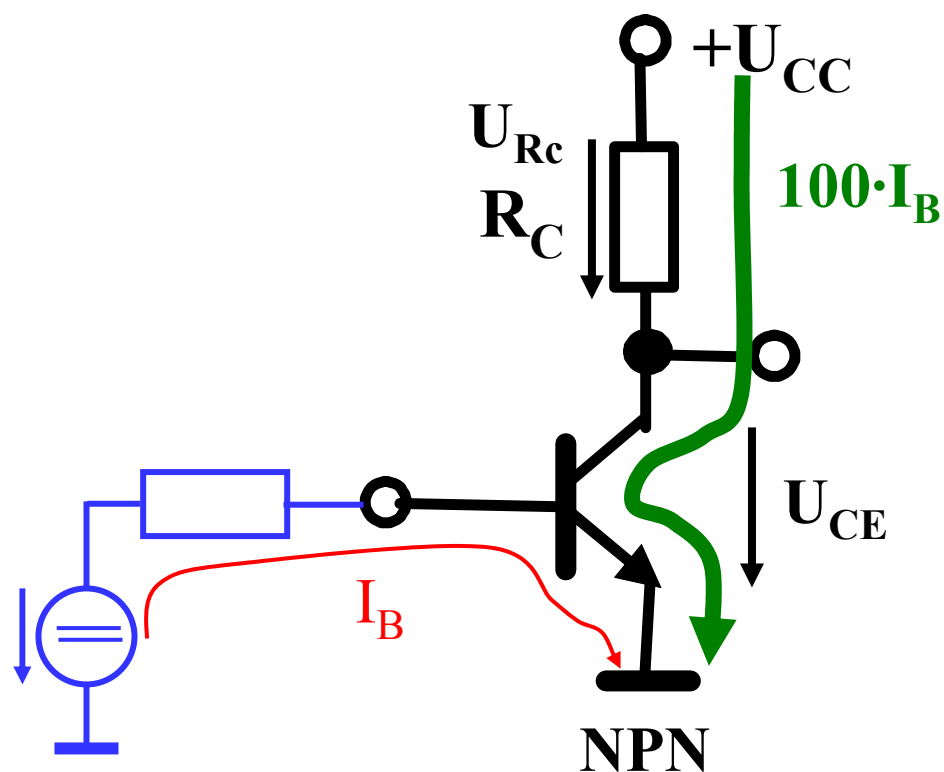
## Bipolární tranzistor



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

**Tranzistor zesiluje a invertuje !!!**

## Bipolární tranzistor – mechanismus napět'ového zesílení



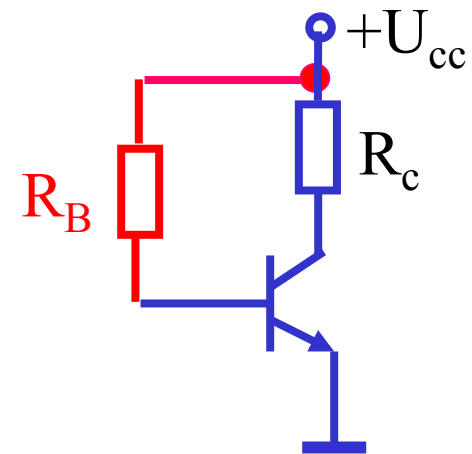
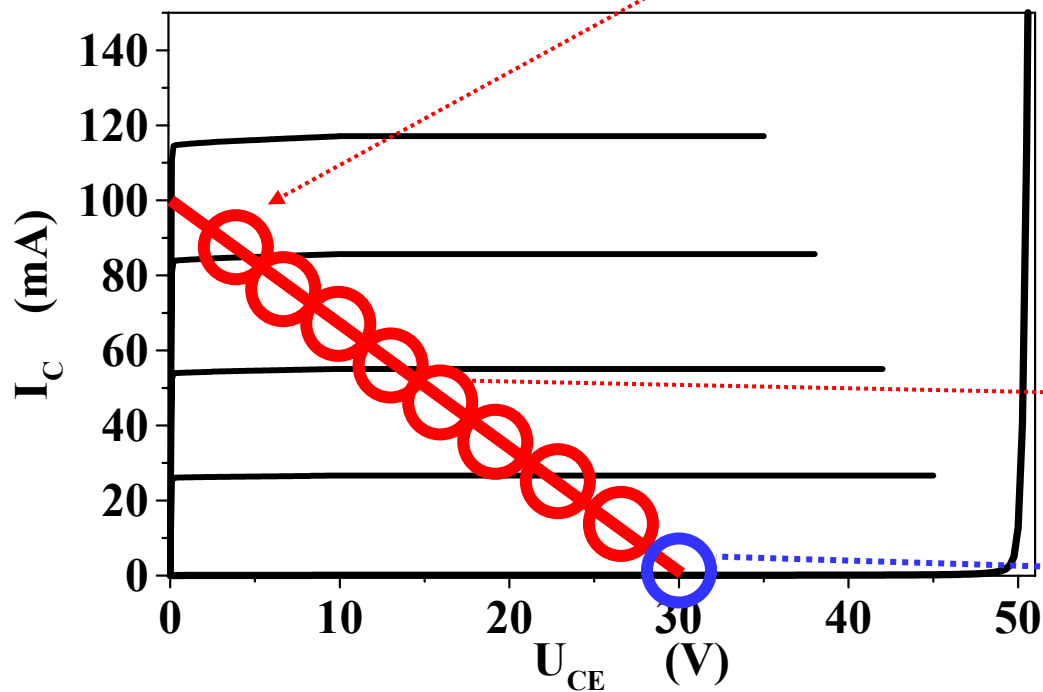
Princip zesilování napětí je shodný pro NPN a PNP.

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**

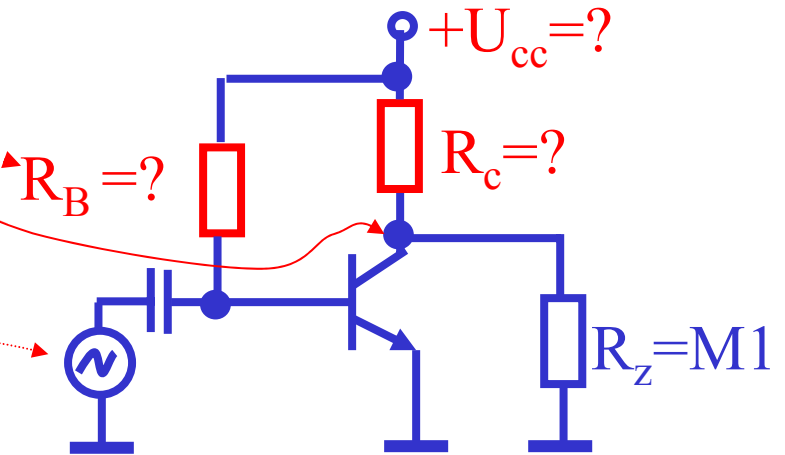
$$u_{\text{výstšš}} = 6 \text{ V}, R_z = 100 \text{ k}\Omega$$

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

**Volba  $U_{CC}$ :**

$$u_{\text{výstšš}} = 6 \text{ V}$$

$$U_{CC} = 6 \text{ V (min.)}$$



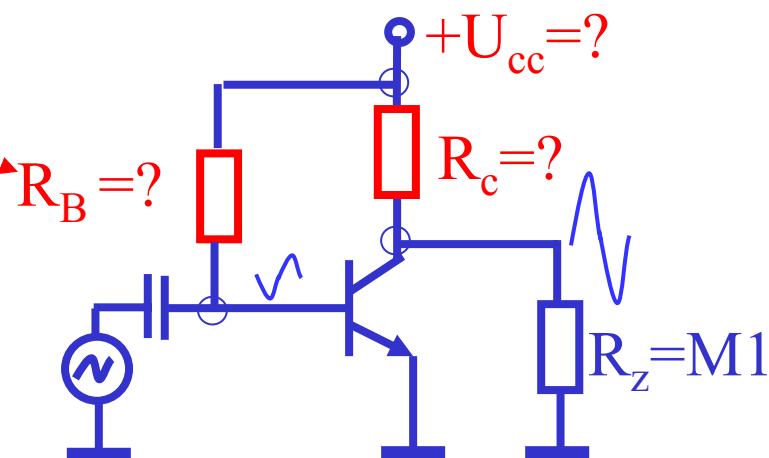
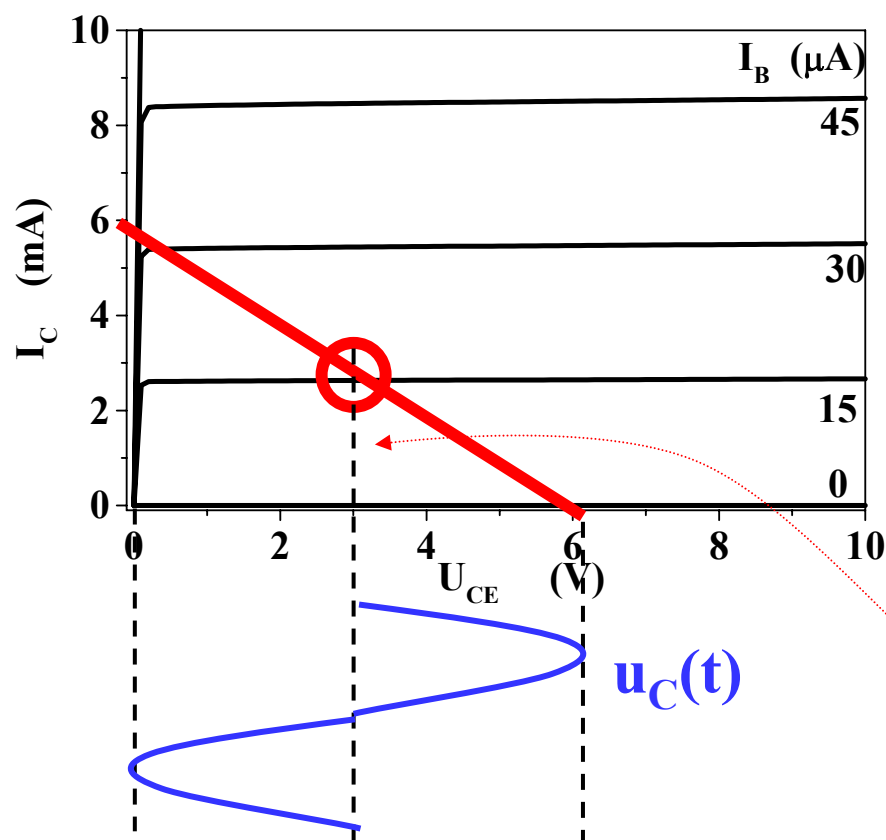
# Bipolární tranzistor - příklad

## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

$u_{\text{výstš}} = 6 \text{ V}$ ,  $R_z = 100 \text{ k}\Omega$

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



### TŘÍDA A:

1 tranzistor zesílí obě půlvlny  
s min. zkreslením na max.  $u_{\text{šš}}$

Hodnota  $R_B$  taková, aby:

$$U_{CE} = U_{CC}/2 = 3 \text{ V}$$

# Bipolární tranzistor - příklad

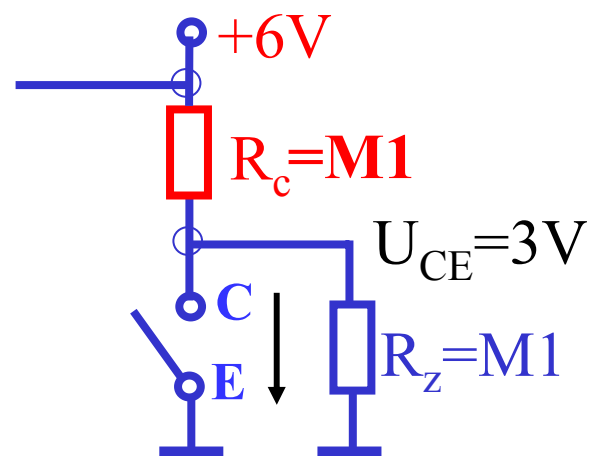
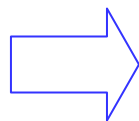
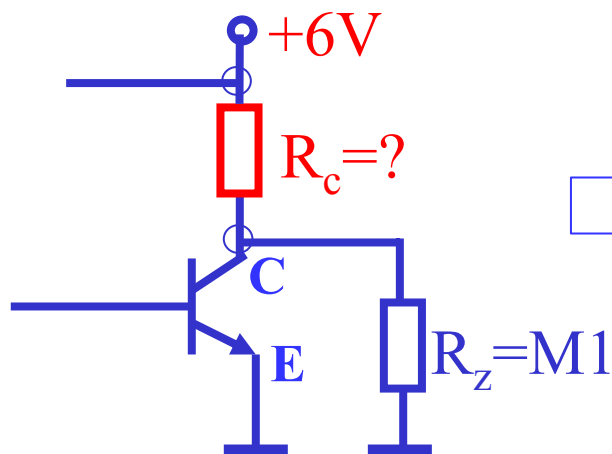
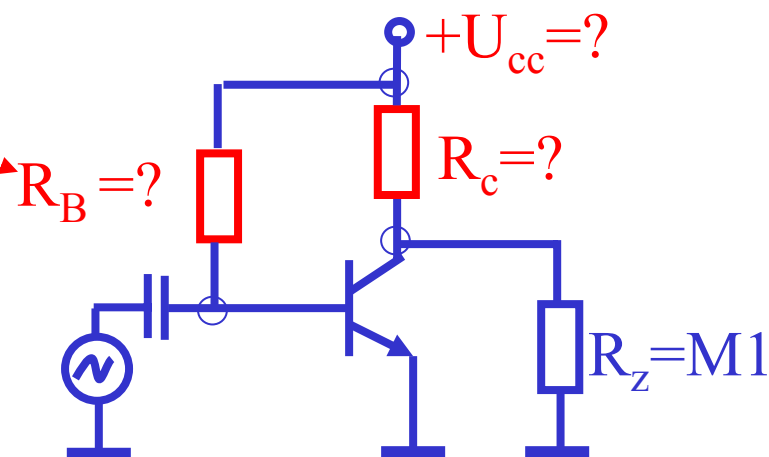
## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

$$u_{\text{výstš}} = 6 \text{ V}, R_z = 100 \text{ k}\Omega$$

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

Volba  $R_C$ :



# Bipolární tranzistor - příklad

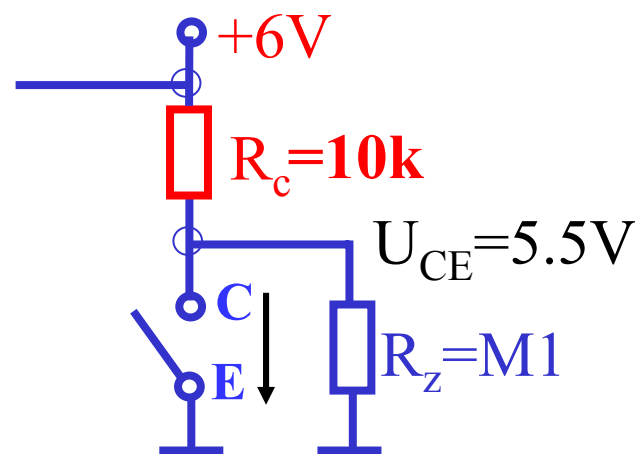
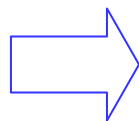
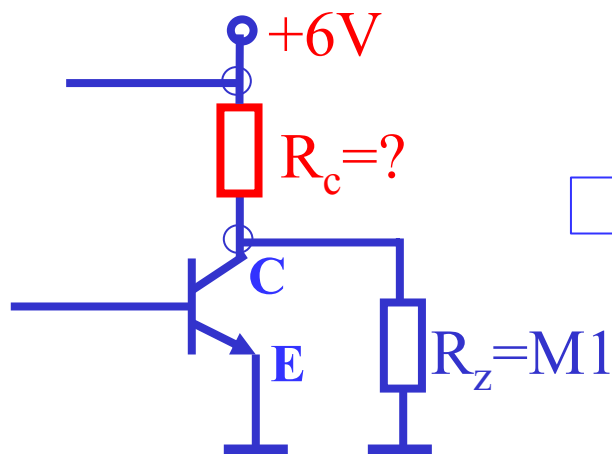
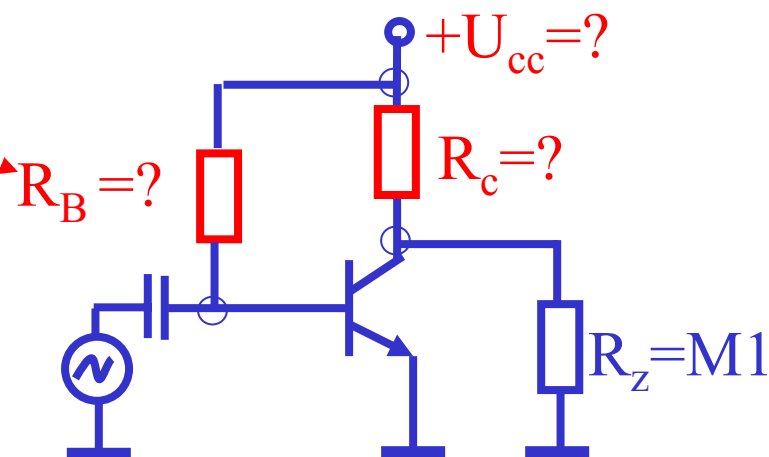
## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

$$u_{\text{výstš}} = 6 \text{ V}, R_z = 100 \text{ k}\Omega$$

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

Volba  $R_C$ :





# Bipolární tranzistor - příklad

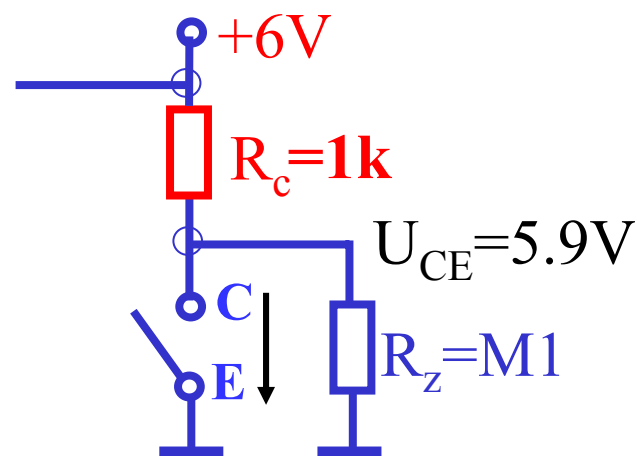
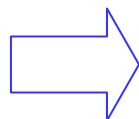
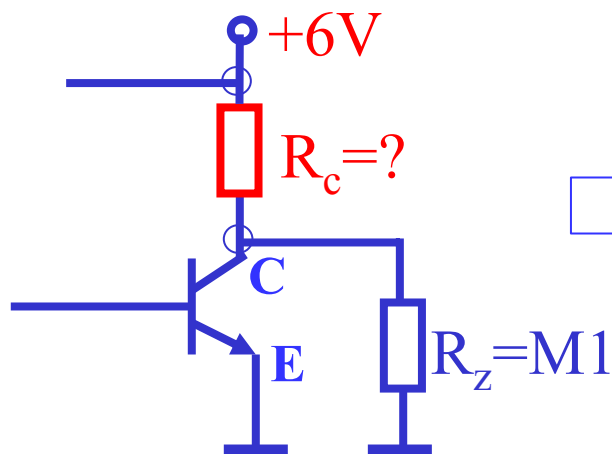
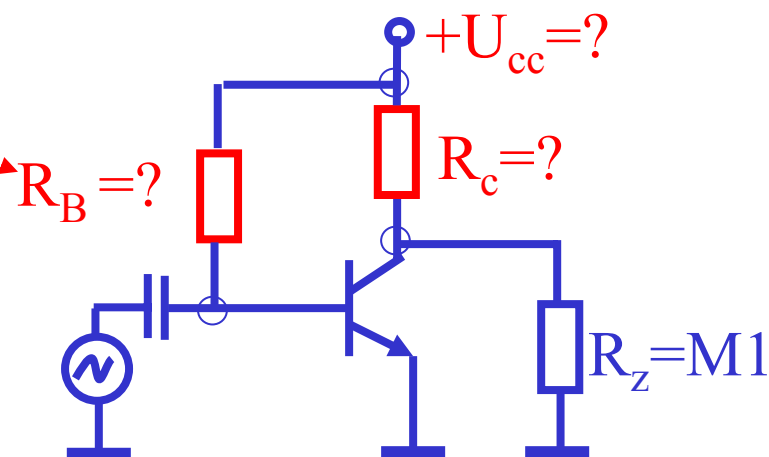
## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

$$u_{\text{výstš}} = 6 \text{ V}, R_z = 100 \text{ k}\Omega$$

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

Volba  $R_C$ :



# Bipolární tranzistor - příklad

## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

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

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

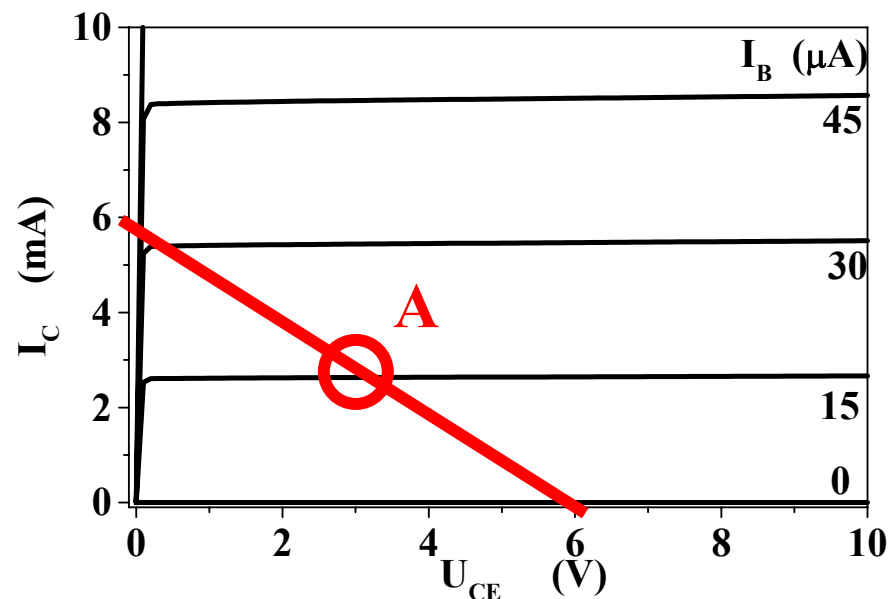
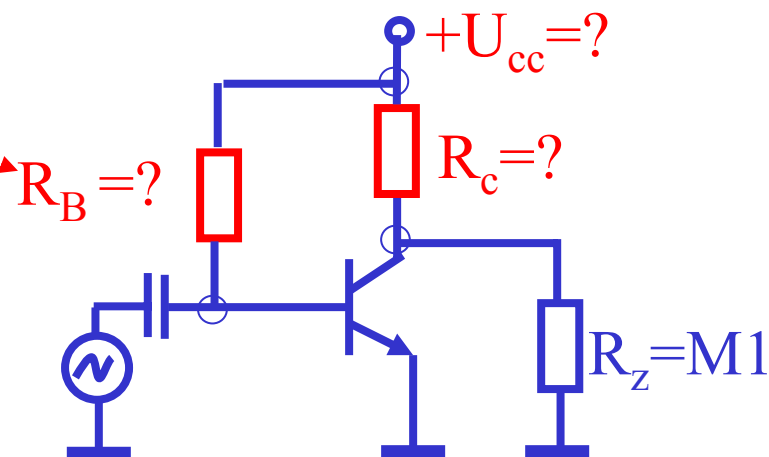
$$R_z = 100 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_c \ll R_z$$

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 - příklad

## Normální aktivní režim – zesilovač ve třídě A

Dáno: zesilovač ve třídě A

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

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

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

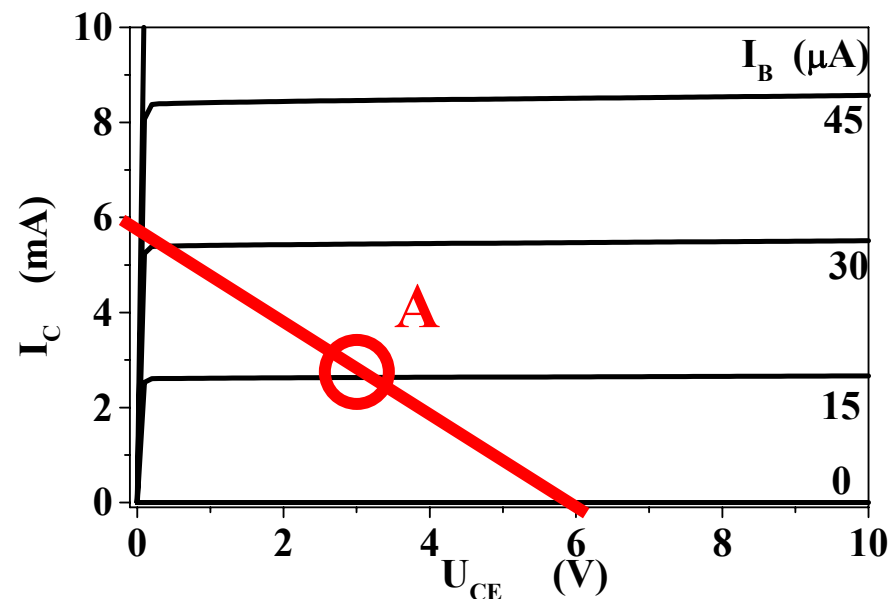
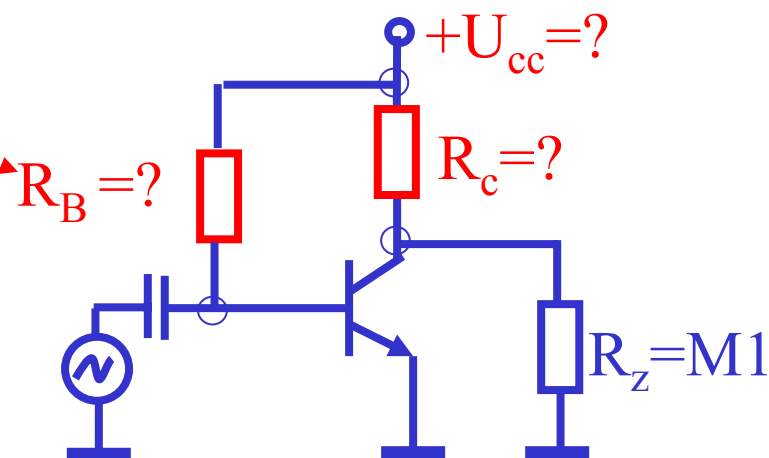
$$A_u = (h_{21e}/h_{11e}) \cdot R_c$$

$R_c$  volíme 1 k $\Omega$

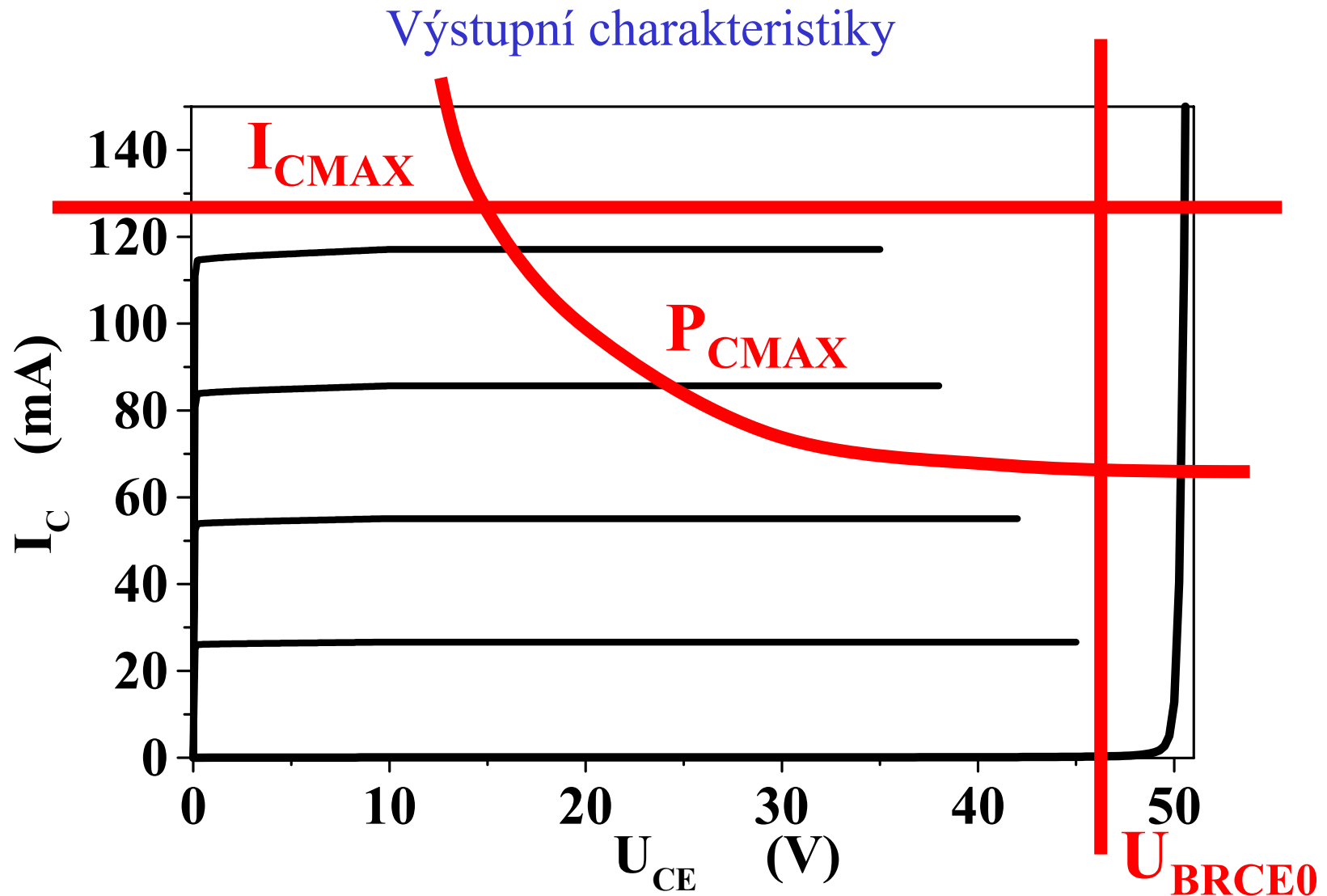
$$u_{\text{výstšš}} \leq 6 \text{ V} \Rightarrow U_{cc} \approx 6 \text{ V}, U_{CE} = 3 \text{ V}$$

$$I_C = (U_{CC} - U_{CE}) / R_C = 3 \text{ mA}$$

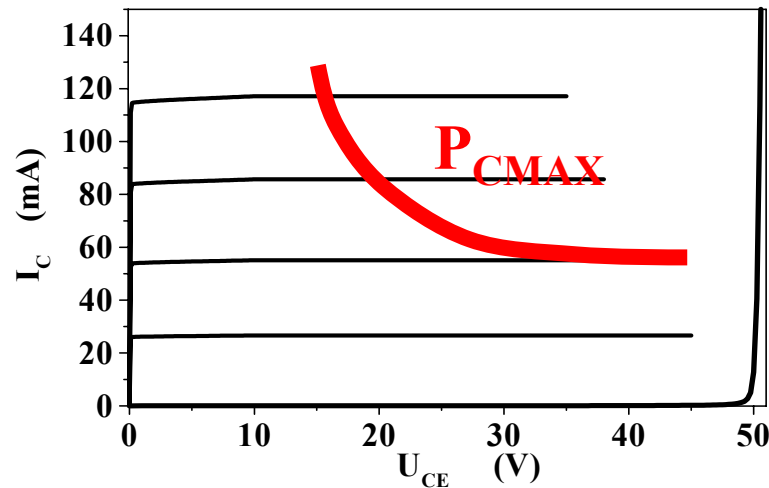
$$\begin{aligned} R_B &= [(U_{cc} - U_{BE}) \cdot h_{21e}] / I_C \\ &= [(6 - 0,7) \cdot 100] / 0,003 = \\ &= 176 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{volíme } 180 \text{ k} \end{aligned}$$



# Bipolární tranzistor – mezní parametry



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

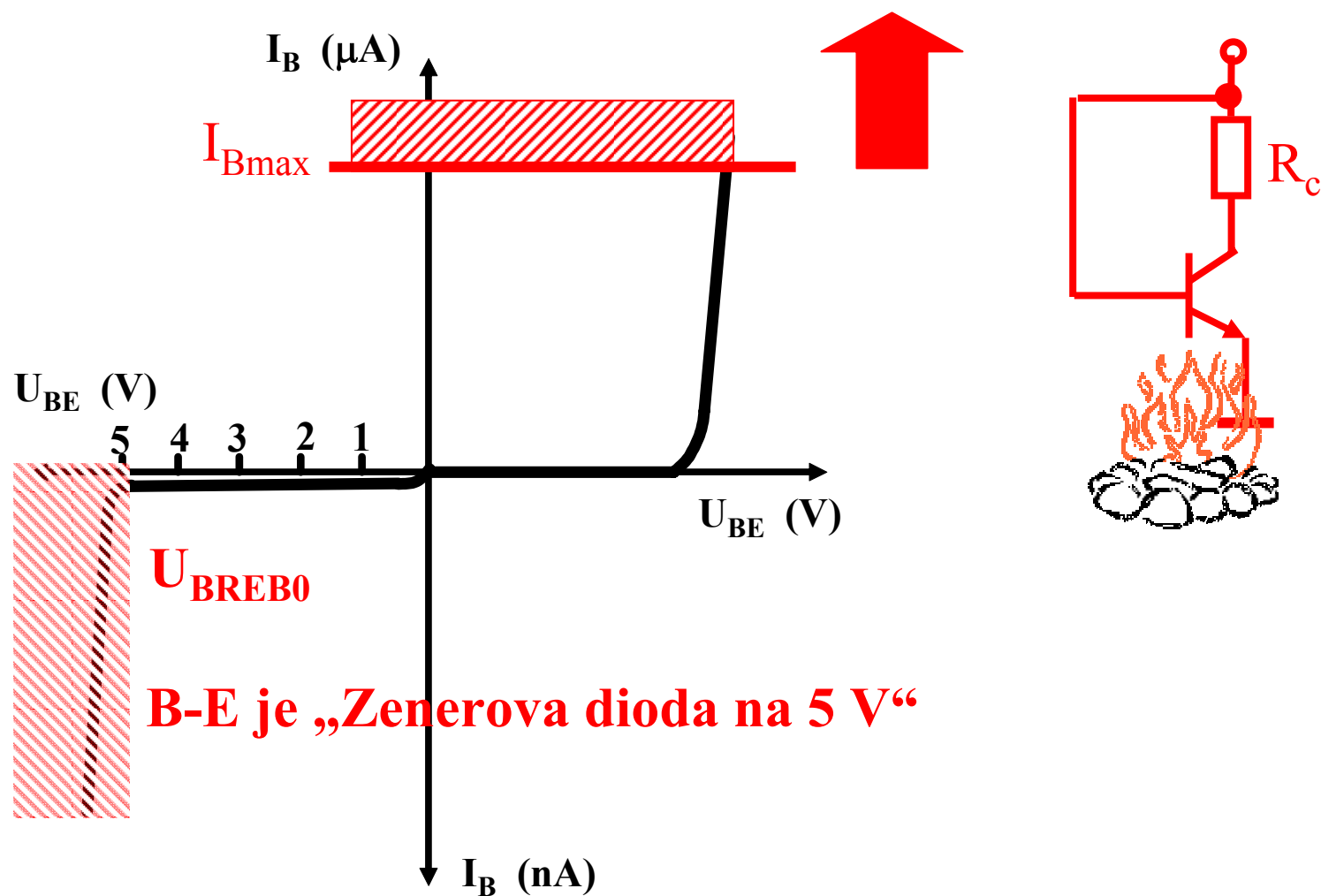
**BC337,  
BC337-16,  
BC337-25,  
BC337-40,  
BC338-25**



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	$V_{CEO}$	45	25	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CBO}$	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0		Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	800		mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0		mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12		Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	–55 to +150		°C

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

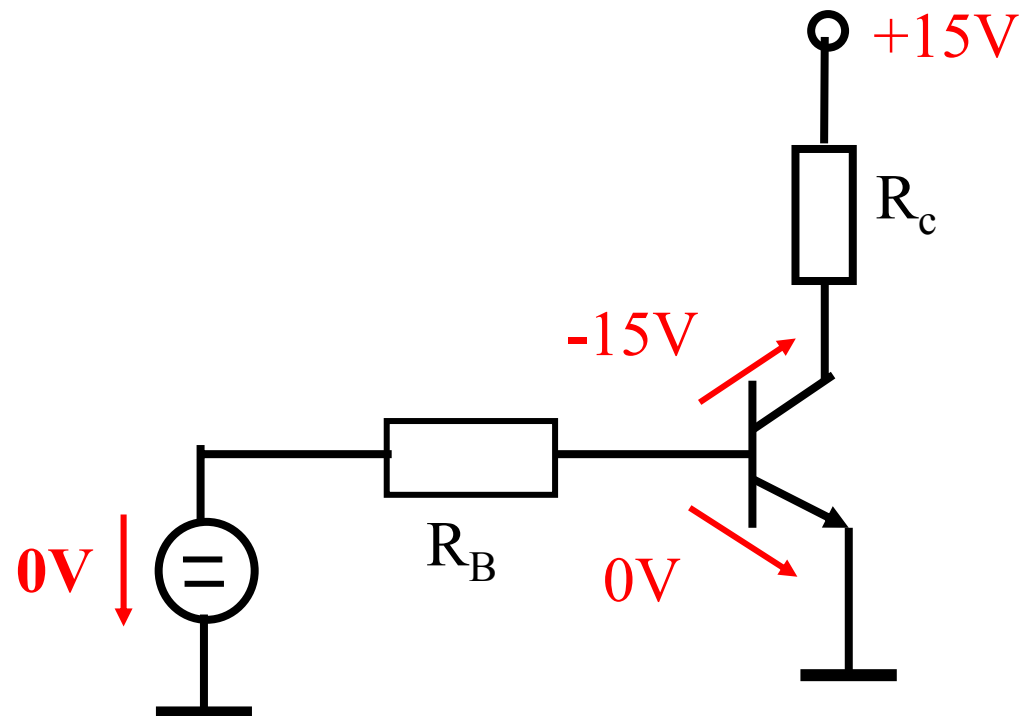


CASE 29-04, STYLE 17  
TO-92 (TO-226AA)

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

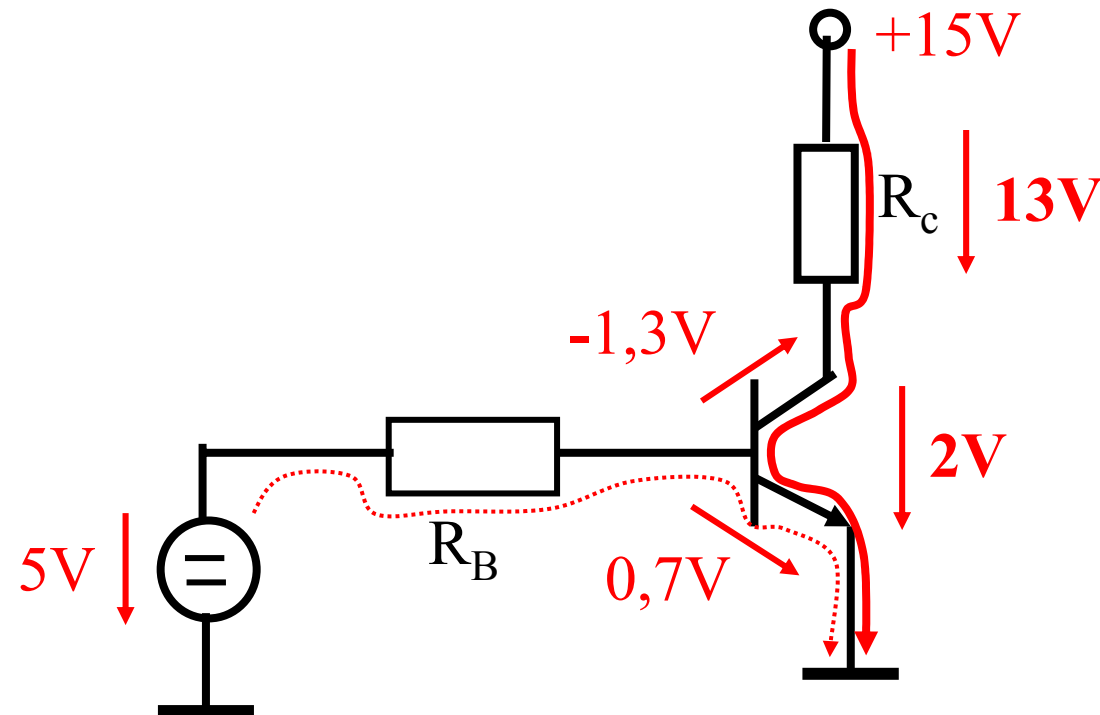


## Bipolární tranzistor – mezní parametry



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

# Bipolární tranzistor – mezní parametry



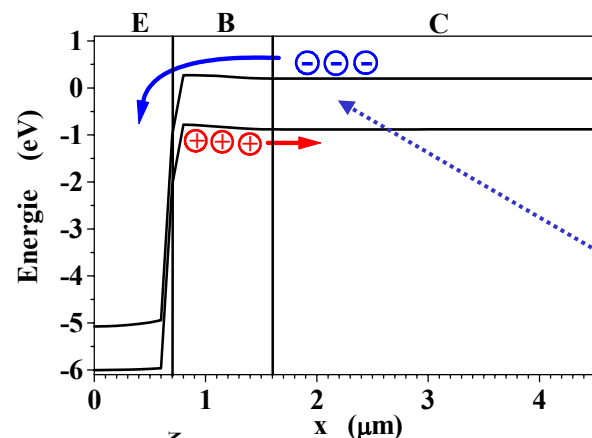
Přechod B-E je konstruován tak, aby měl tranzistor velké proudové zesílení  $\Rightarrow$  velká dotace emitoru, 100x nižší u báze  $\Rightarrow$  malé  $U_{BREB0}$

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

# Bipolární tranzistor – režimy činnosti

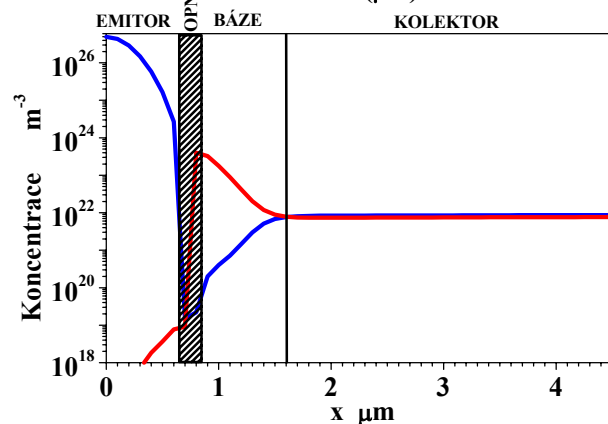
Polarizace přechodu B-E	Polarizace přechodu B-C	Režim
$U_{BE} < U_P$	$U_{BC} \leq 0$	Nevodivý
$U_{BE} > 0$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} > 0$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_P$	$U_{BC} \geq U_P$	Saturace

# Bipolární tranzistor – inverzní aktivní režim

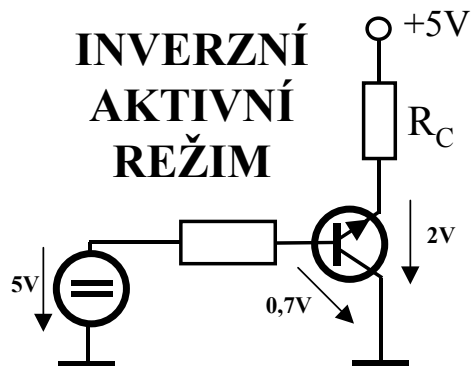


Jedná se o režim, kdy je emitor zaměněn za kolektor a naopak.

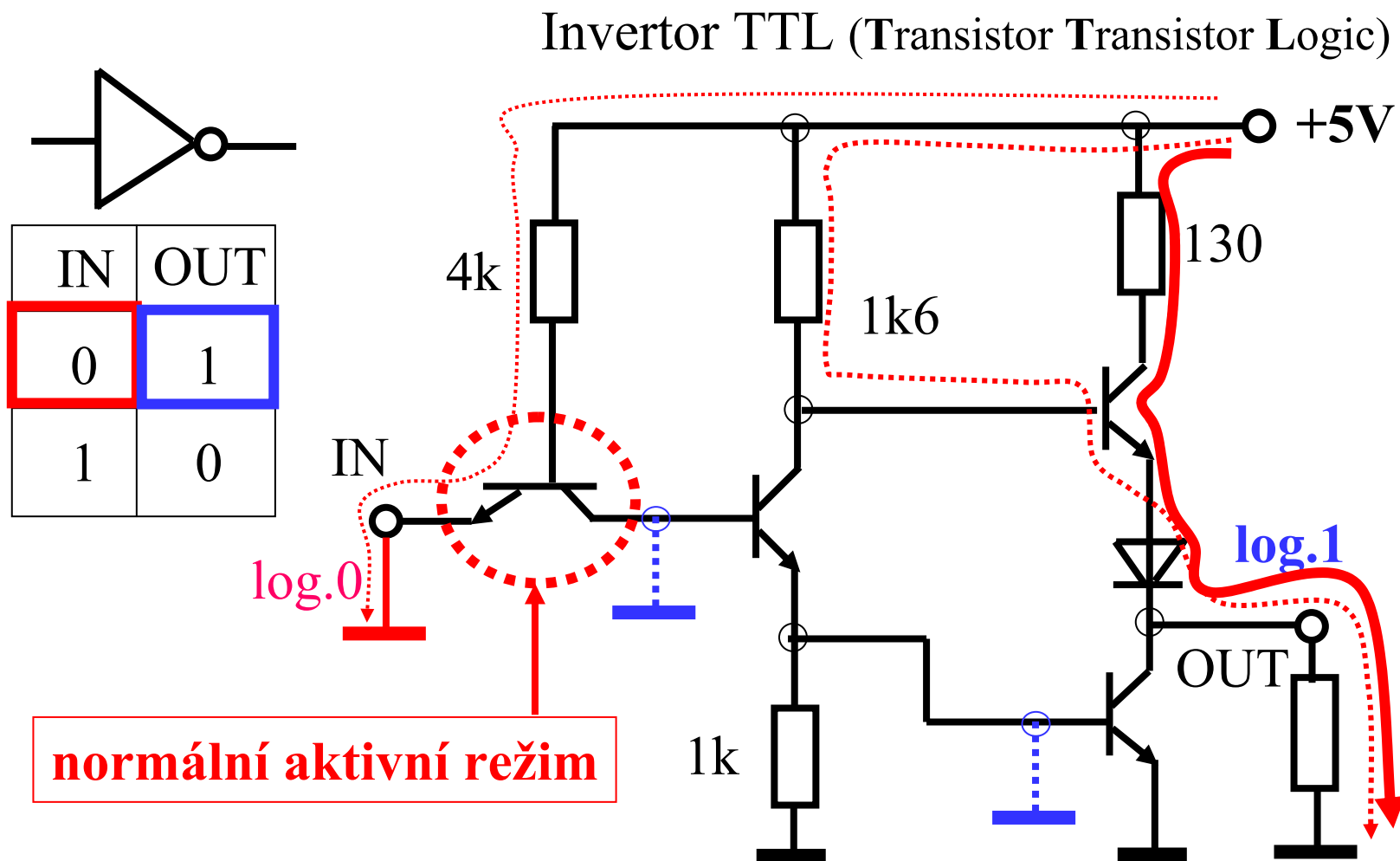
Tranzistor má  
malé proudové zesílení ( $<1$ )  
a malé  $U_{BRCE0}$  (5,7 V).



Využití minimální, ale existuje.



# Bipolární tranzistor – inverzní aktivní režim

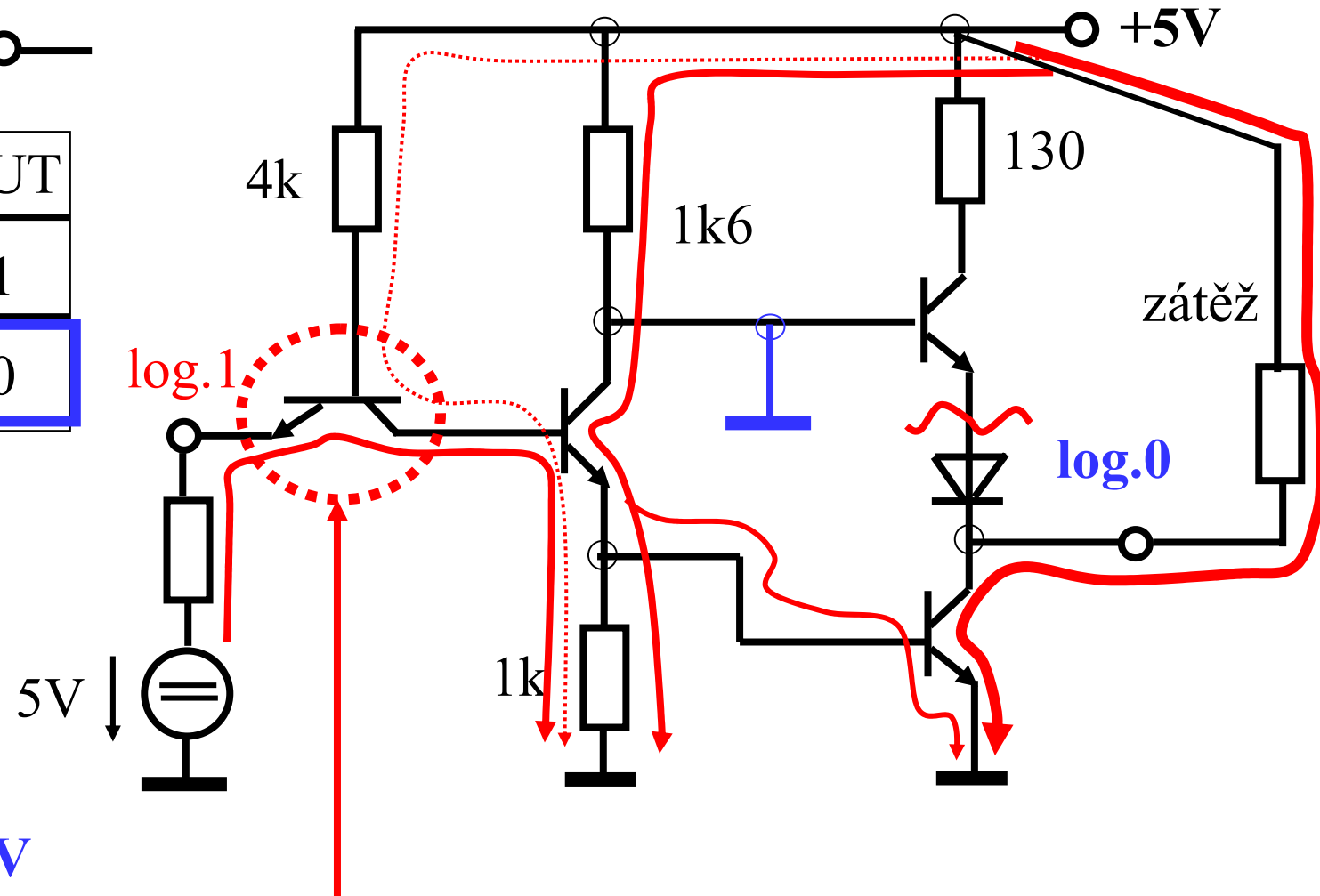
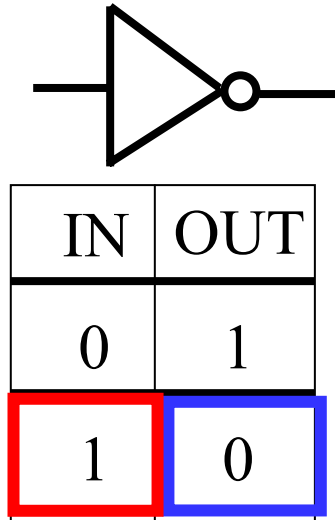


log.0 ~ 0 V

log.1 ~ 3 – 5 V

# Bipolární tranzistor – inverzní aktivní režim

Invertor TTL (Transistor Transistor Logic)



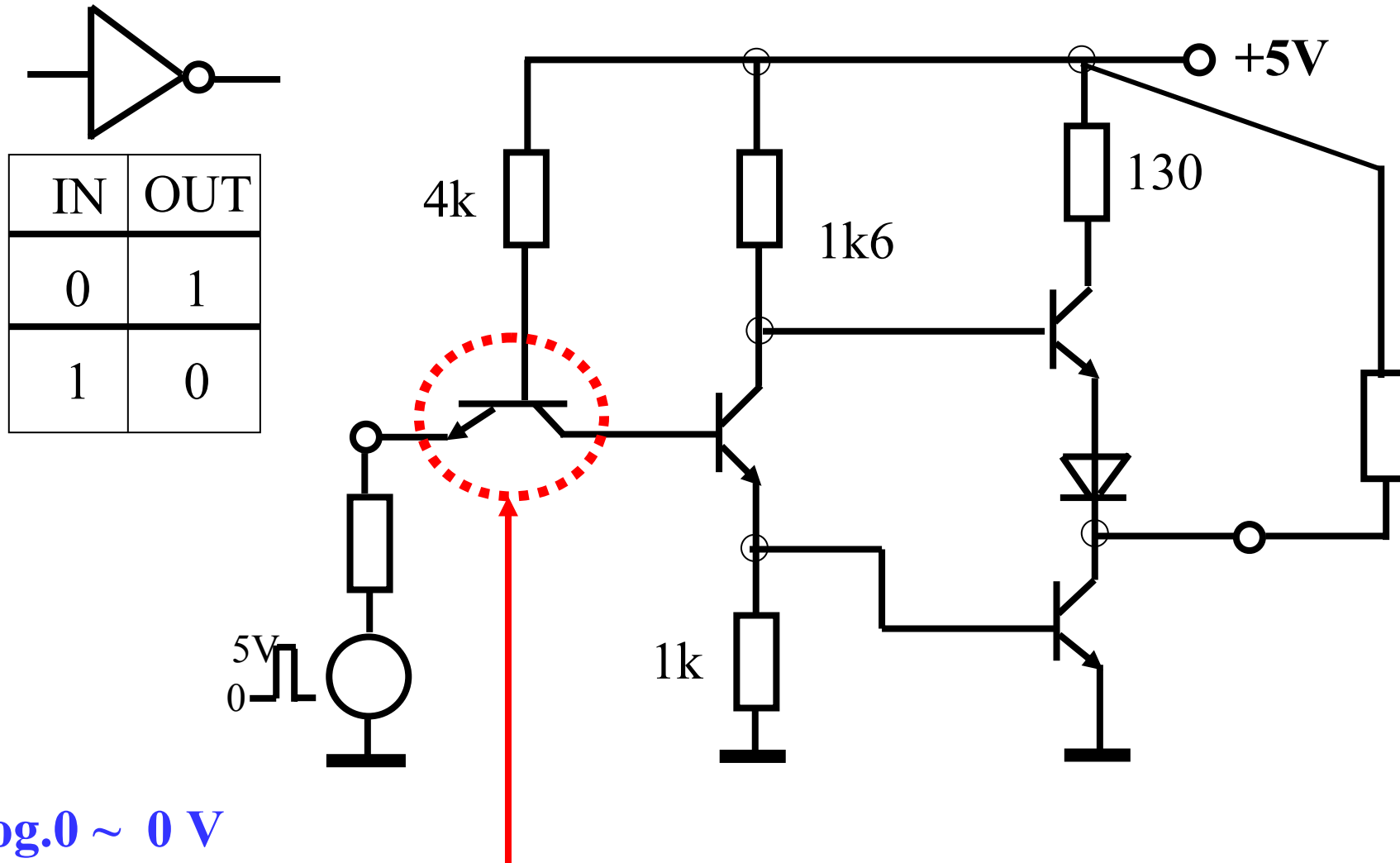
log.0 ~ 0 V

log.1 ~ 3 – 5 V

**inverzní aktivní režim**

# Bipolární tranzistor – inverzní aktivní režim

Invertor TTL (Transistor Transistor Logic)



log.0 ~ 0 V

log.1 ~ 3 – 5 V

**Normální / inverzní aktivní režim  $f = 0 - 25$  MHz**

# Bipolární tranzistor – režimy činnosti

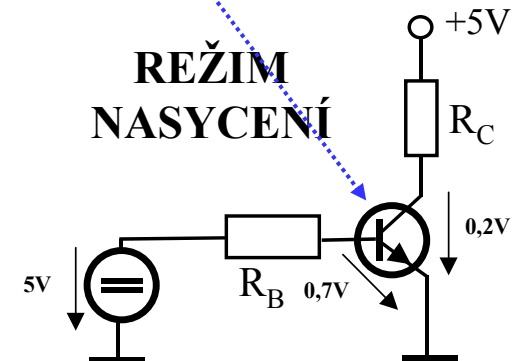
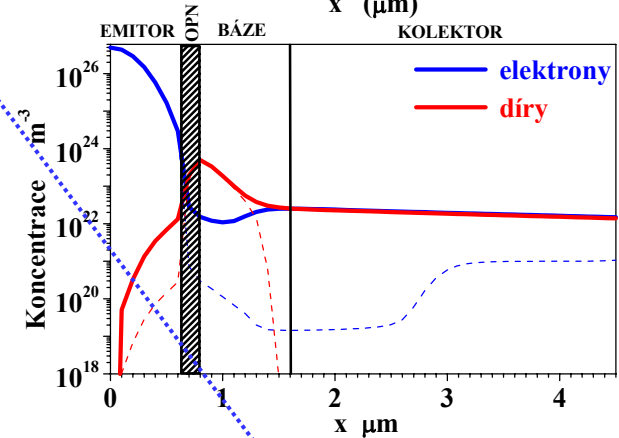
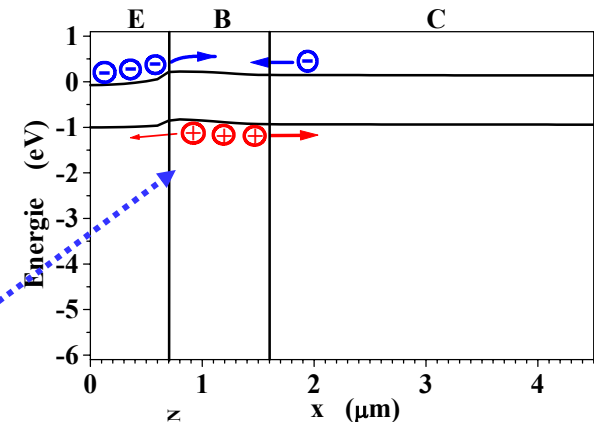
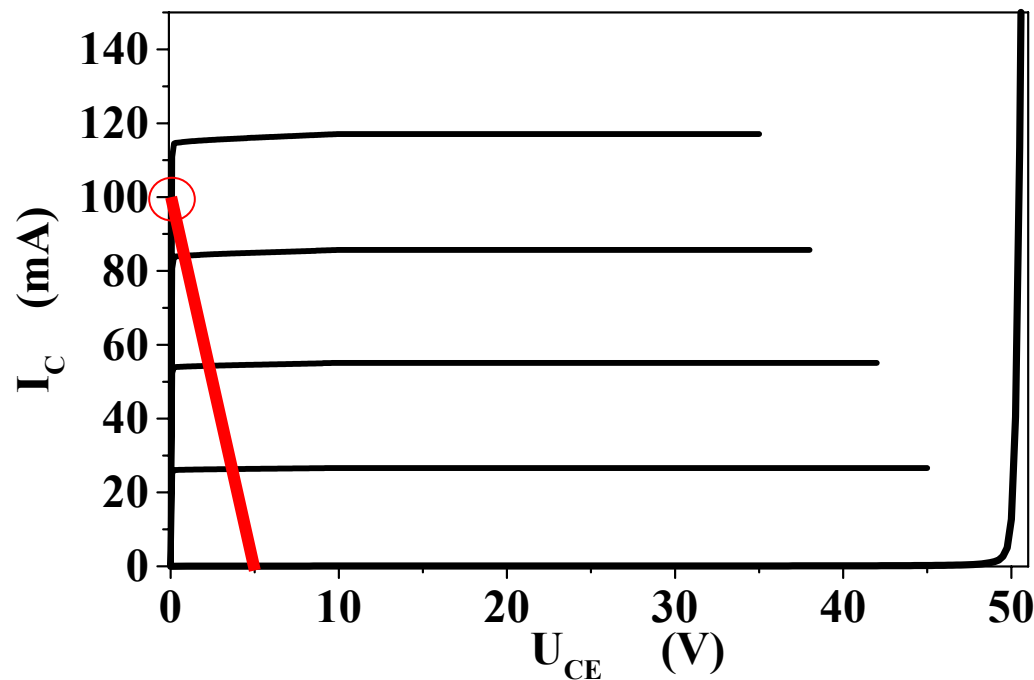
Polarizace přechodu B-E	Polarizace přechodu B-C	Režim
$U_{BE} < U_P$	$U_{BC} \leq 0$	Nevodivý
$U_{BE} > 0$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} > 0$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_P$	$U_{BC} \geq U_P$	Saturace



# Bipolární tranzistor – režim saturace

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

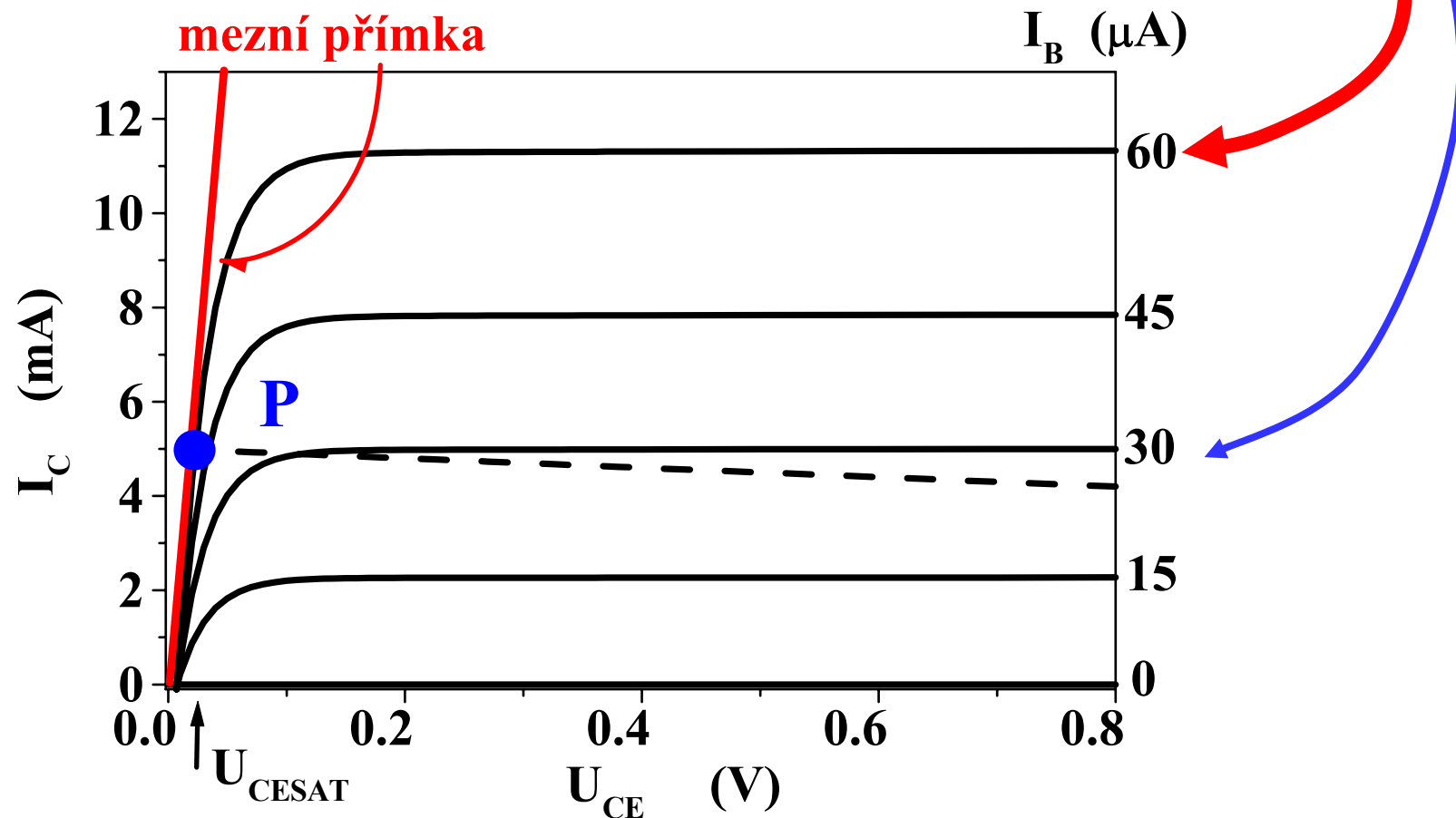
Proudové zesílení významně klesá.



# Bipolární tranzistor – režim saturace

Proudové zesílení významně klesá.

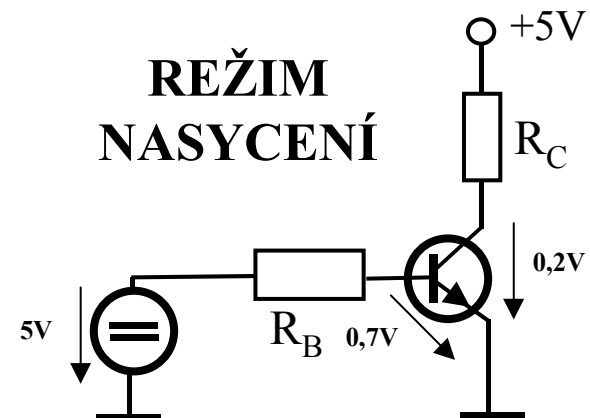
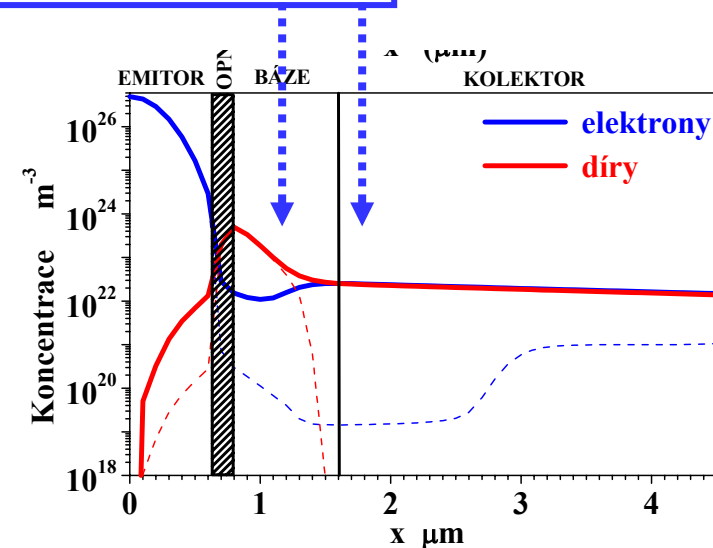
Pro stejný  $I_C$  potřebujeme větší  $I_B$ !!!



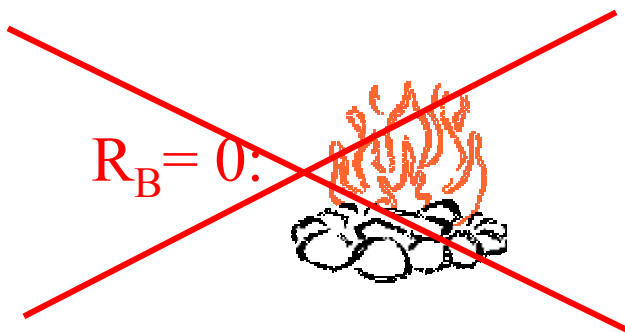
# Bipolární tranzistor – režim saturace

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

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

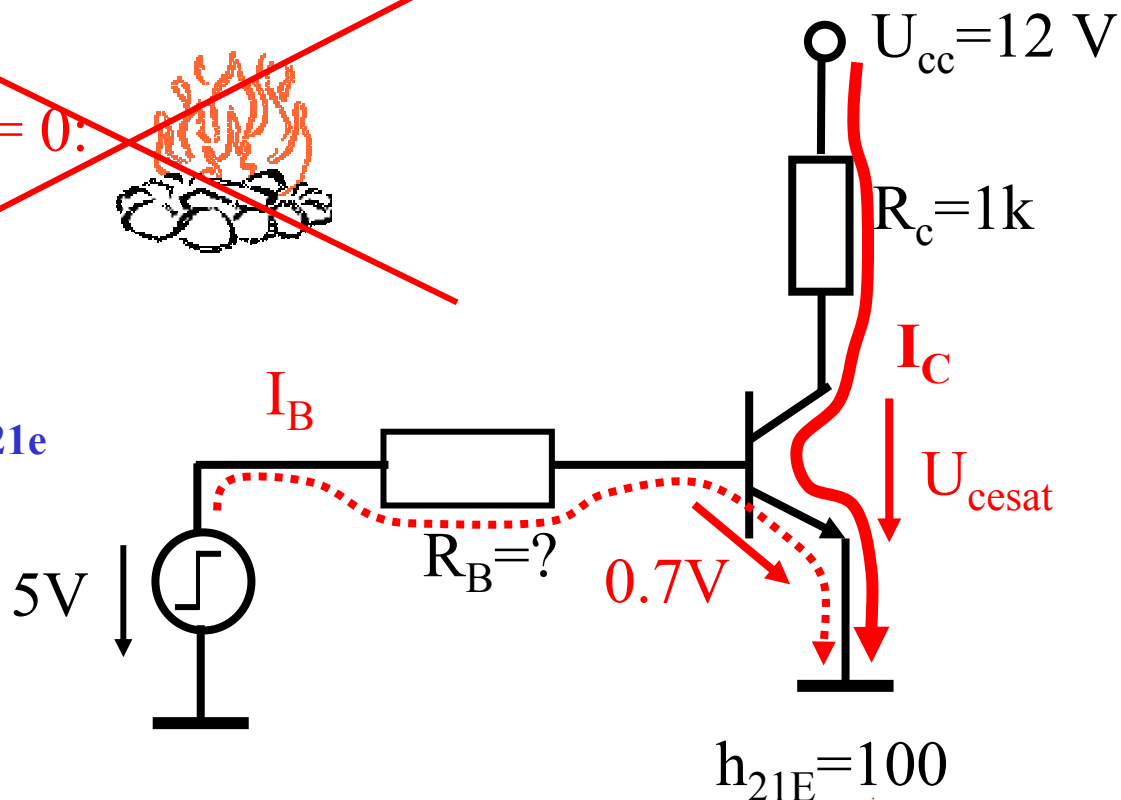


# Bipolární tranzistor jako spínač - příklad



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

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



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

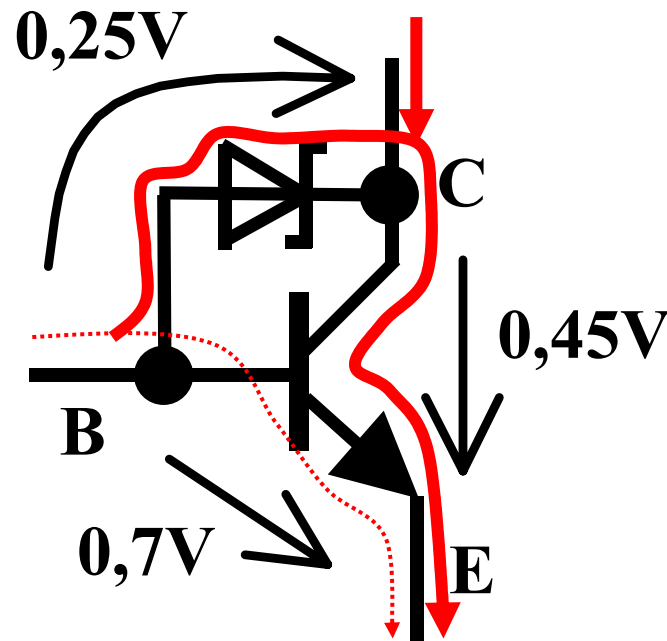
pokles v saturaci

spínací tranzistor konstruován na malé  $U_{CEsat}$

# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Schottkyho desaturační dioda mezi B a C  
paralelní omezovač napětí na 0.25 V zabrání saturaci

1.



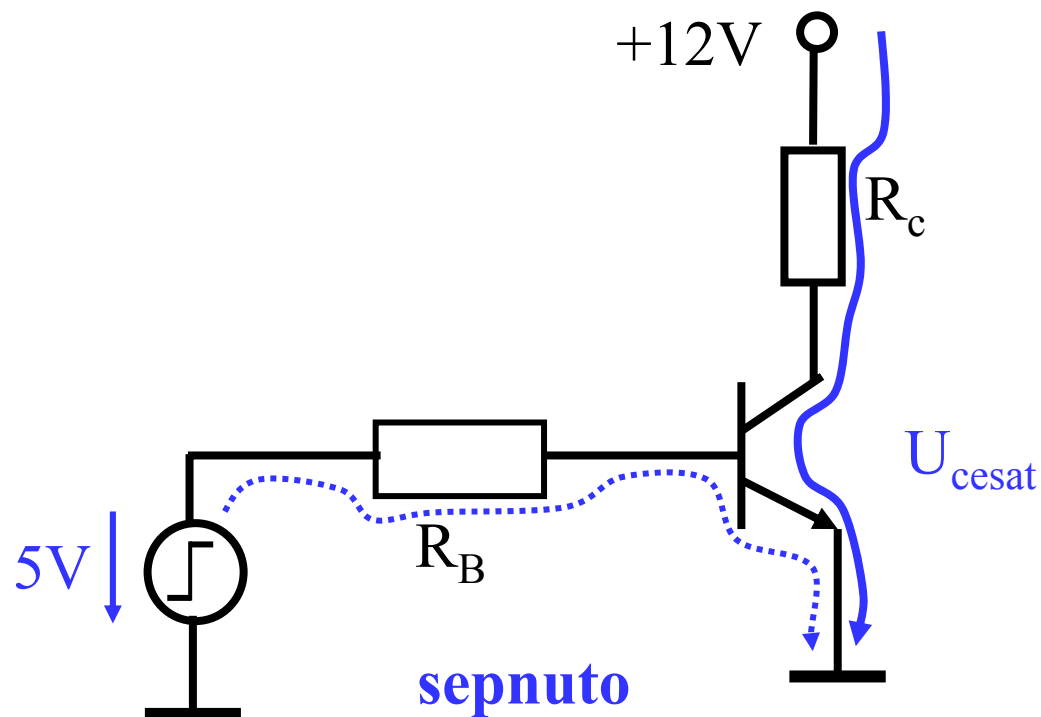
STTL  
LSTTL

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

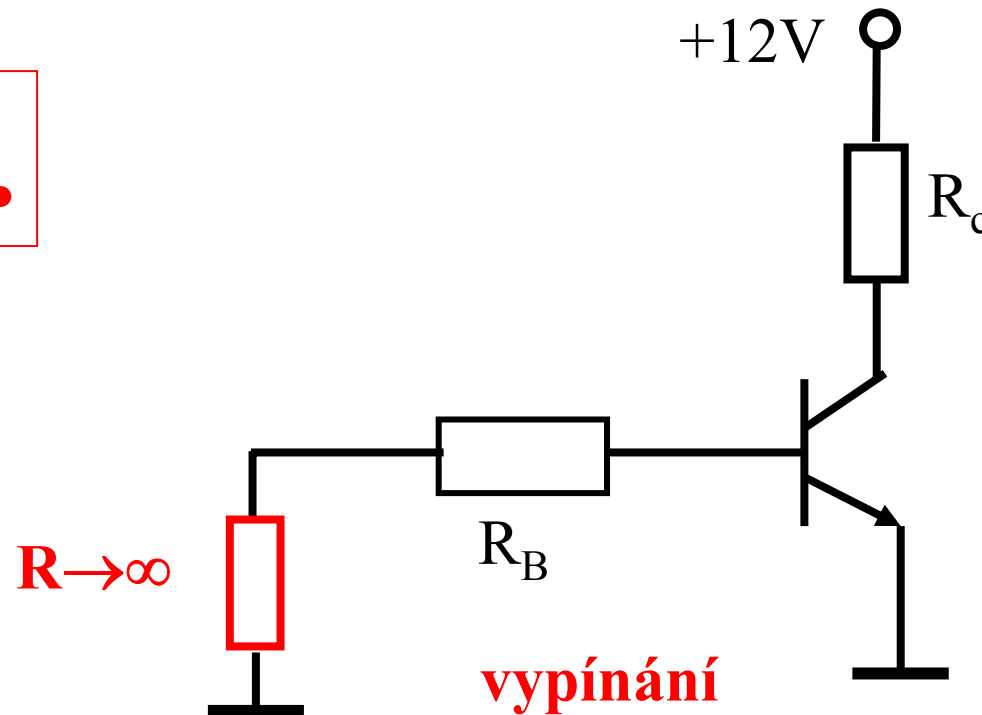
2.



# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání tranzistoru v saturaci vnějším obvodem

2.



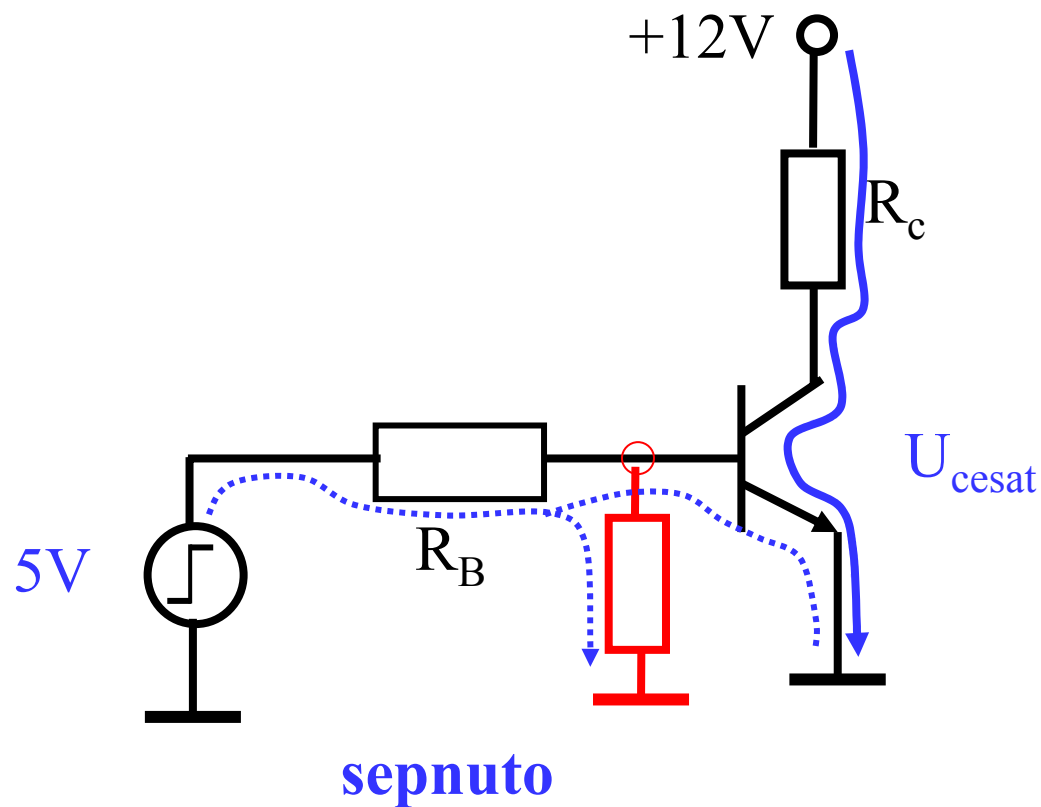
špatně

náboj v bázi a na přechodu B-C vyklízen jen rekombinací  
= PŘÍLIŠ POMALÉ ( $> \mu s$ )

# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání tranzistoru v saturaci vnějším obvodem

2.

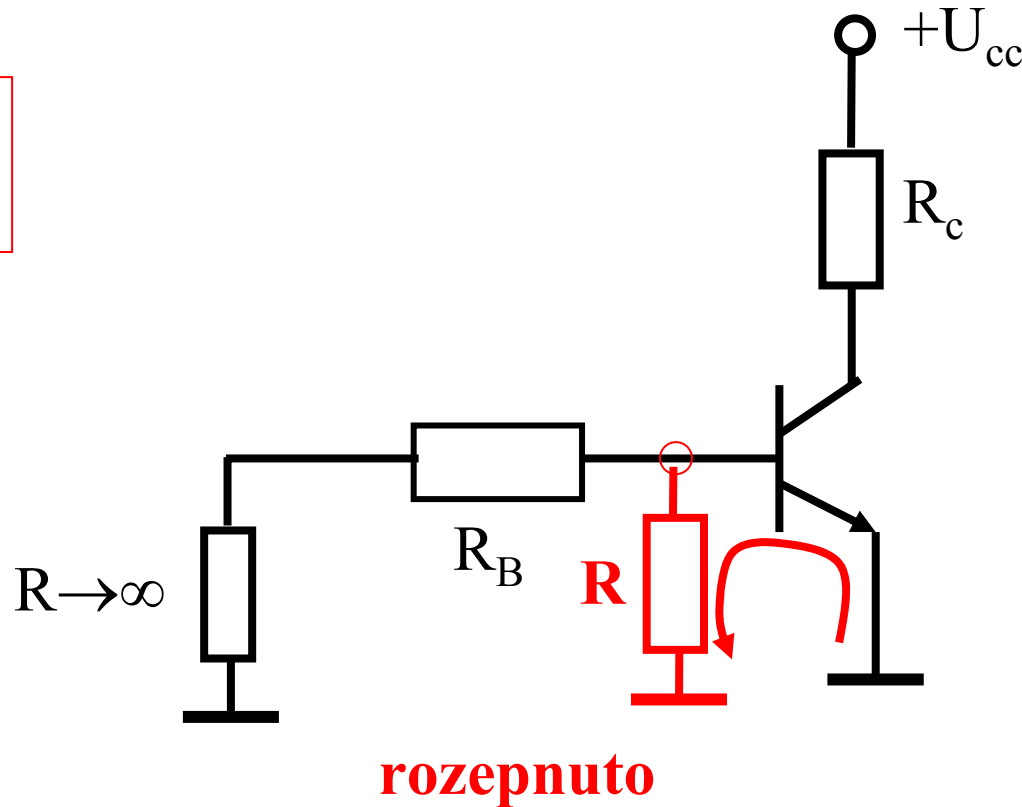




# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání tranzistoru v saturaci vnějším obvodem

2.



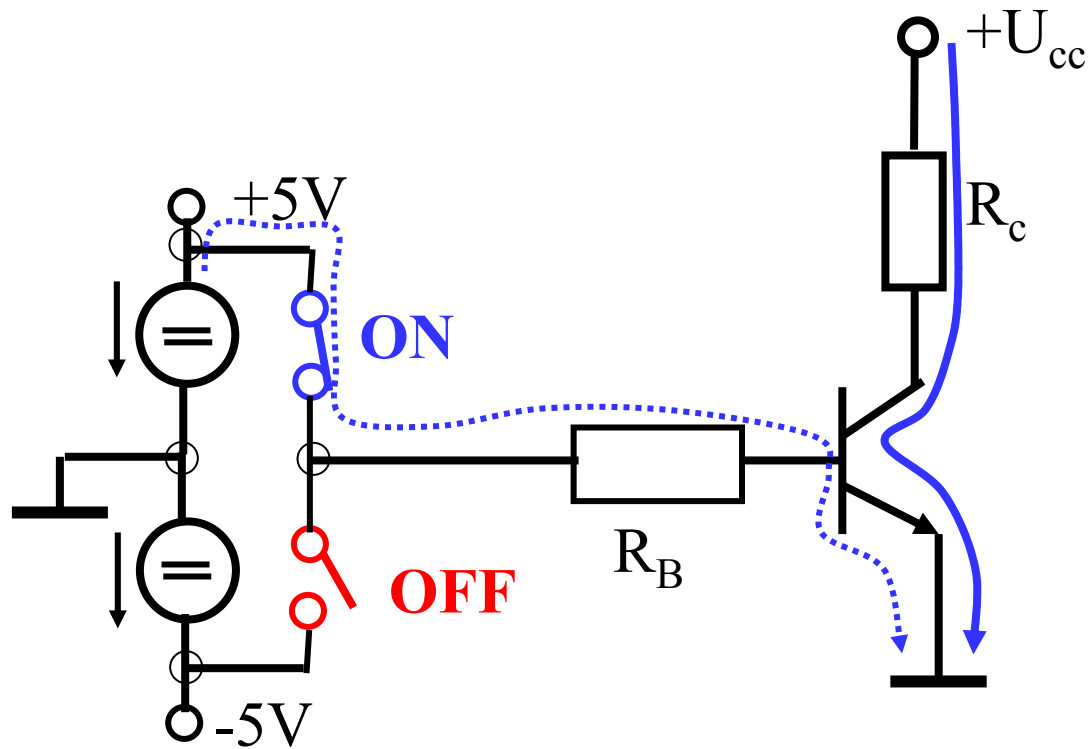
správně

báze se po vypnutí zbavuje náboje pomocí obvodu s rezistorem  $R$   
nespoléháme jen na rekombinaci

# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání vnějším obvodem se záporným předpětím

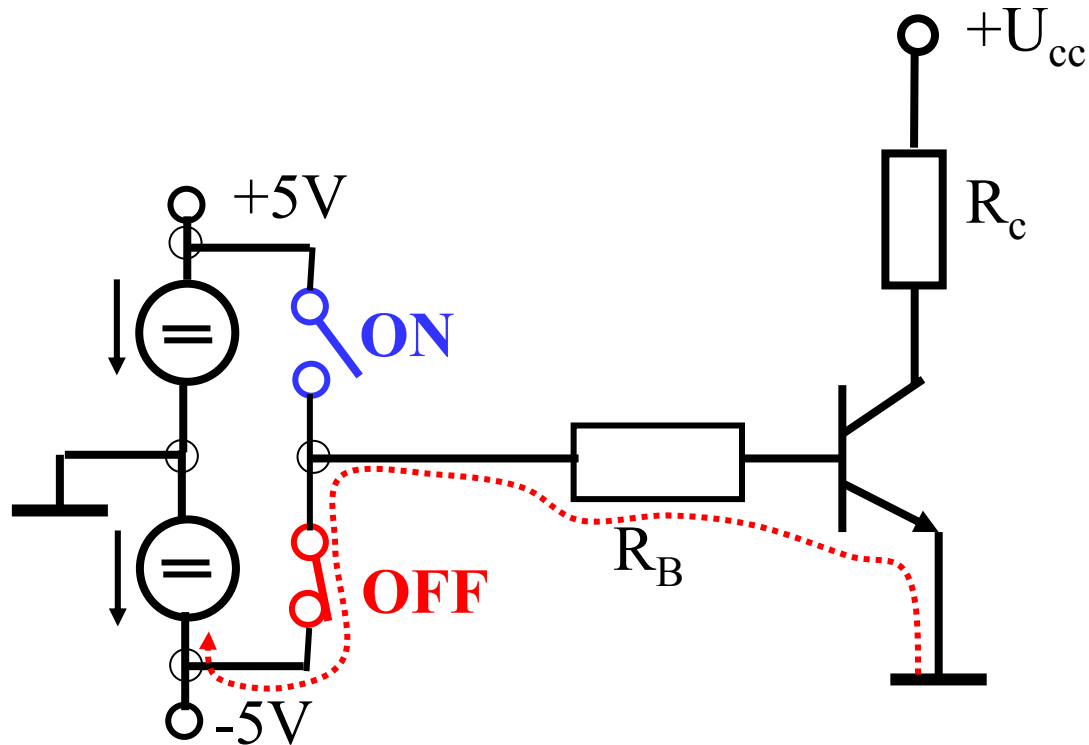
3.



# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

Zrychlené vypínání vnějším obvodem se záporným předpětím

3.

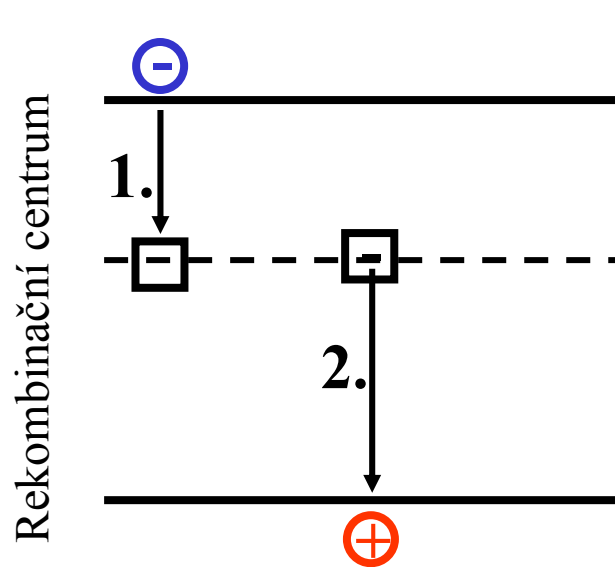


**Dioda B-E je rychle zbavena náboje v procesu závěrného zotavení (pomáhá nám el. pole) ze zdroje -5 V.**

**Typ. aplikace: vypínání výkonových tranzistorů**

# Bipolární tranzistor – opatření pro rychlé vypínání

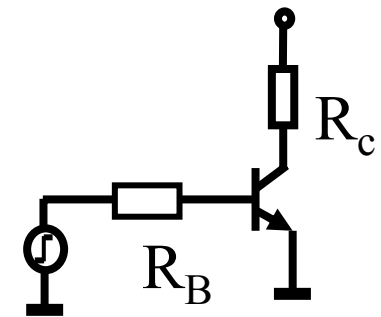
Zrychlené vypínání zvýšením rekombinační rychlosti  $R$  v bázi přidáním rekombinačních center v přidavném technolog. kroku.



↓

snížení doby života  $\tau$   
nadbytečných  
nosičů náboje

$$\tau = \frac{\Delta n}{R}$$



V praxi užívaná rekombinační centra:

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

... konec