

Cvičení 10: Bipolární tranzistor (BJT)

– charakteristiky a zesilovač

C10.1 Charakteristiky BJT

Porovnání NPN a PNP bipolárního tranzistoru (BJT), schematická značka, struktura
Vstupní a výstupní charakteristiky BJT, mezní parametry
Teplotní závislosti (S10.1 a S10.2)

C10.2 Modely BJT a jejich užití pro určení klidového pracovního bodu

Stavy BJT a jejich jednoduché náhradní obvody
Využití jednoduchých náhradních obvodů pro určení pracovního bodu P_0
(CP10.1, CP10.2, CP10.3 – režimy aktivní, nevodivý, saturace)

C10.3 Převodní charakteristiky BJT

C10.4 Nastavení pracovního bodu

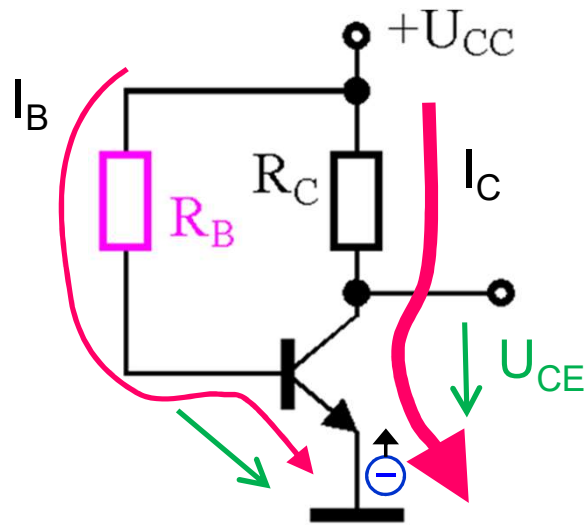
Poloha pracovního bodu, varianty obvodových nastavení, vliv teploty (LTSpice/Excel)

C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

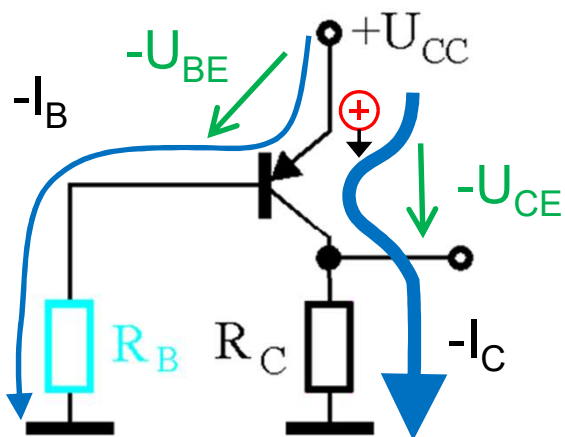
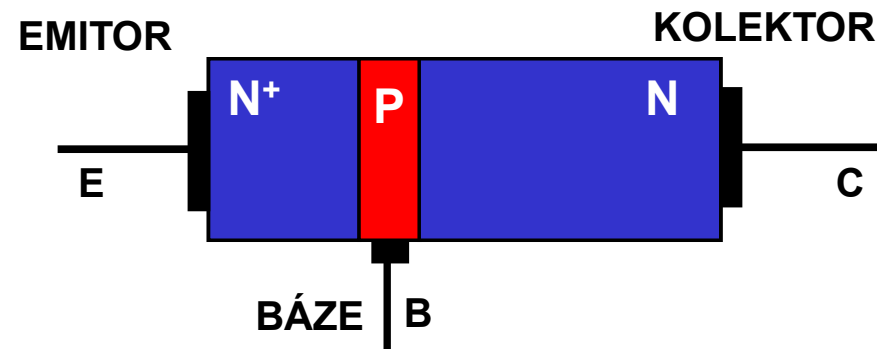
Měření vstupní a převodní charakteristiky M10.1

C10.1 Charakteristiky BJT

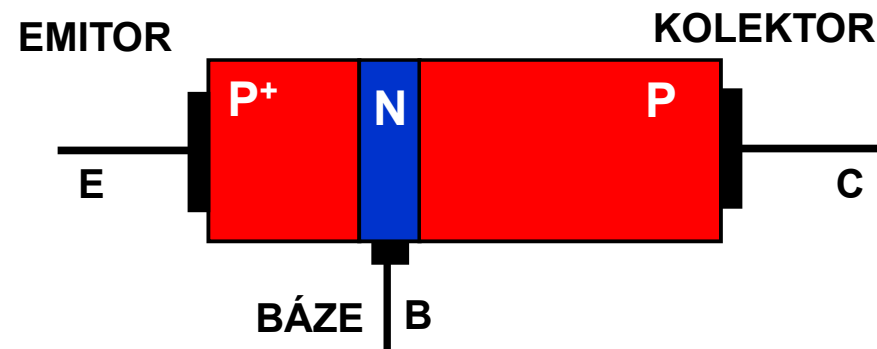
BJT – porovnání NPN a PNP (představa):



NPN

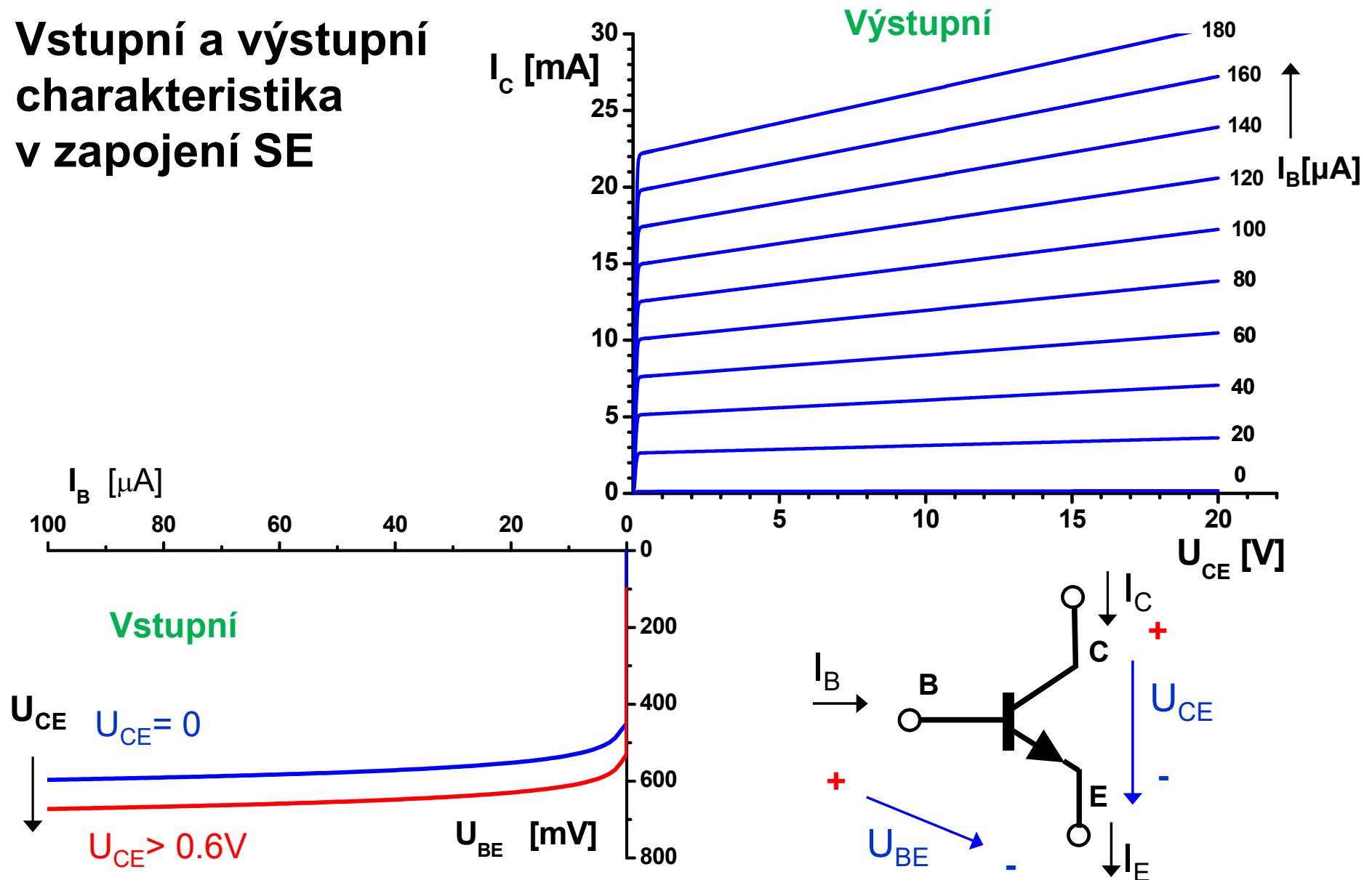


PNP



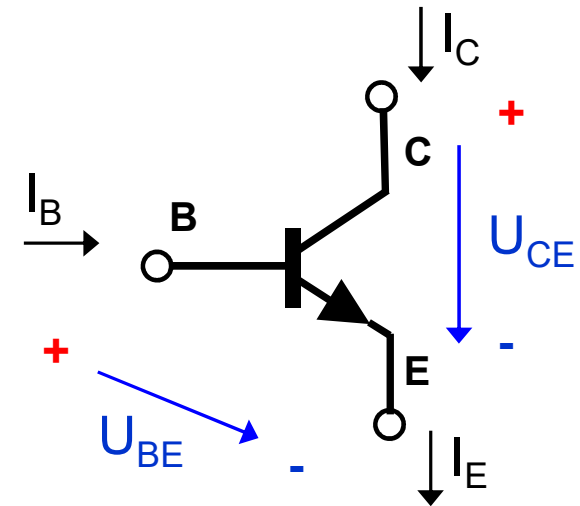
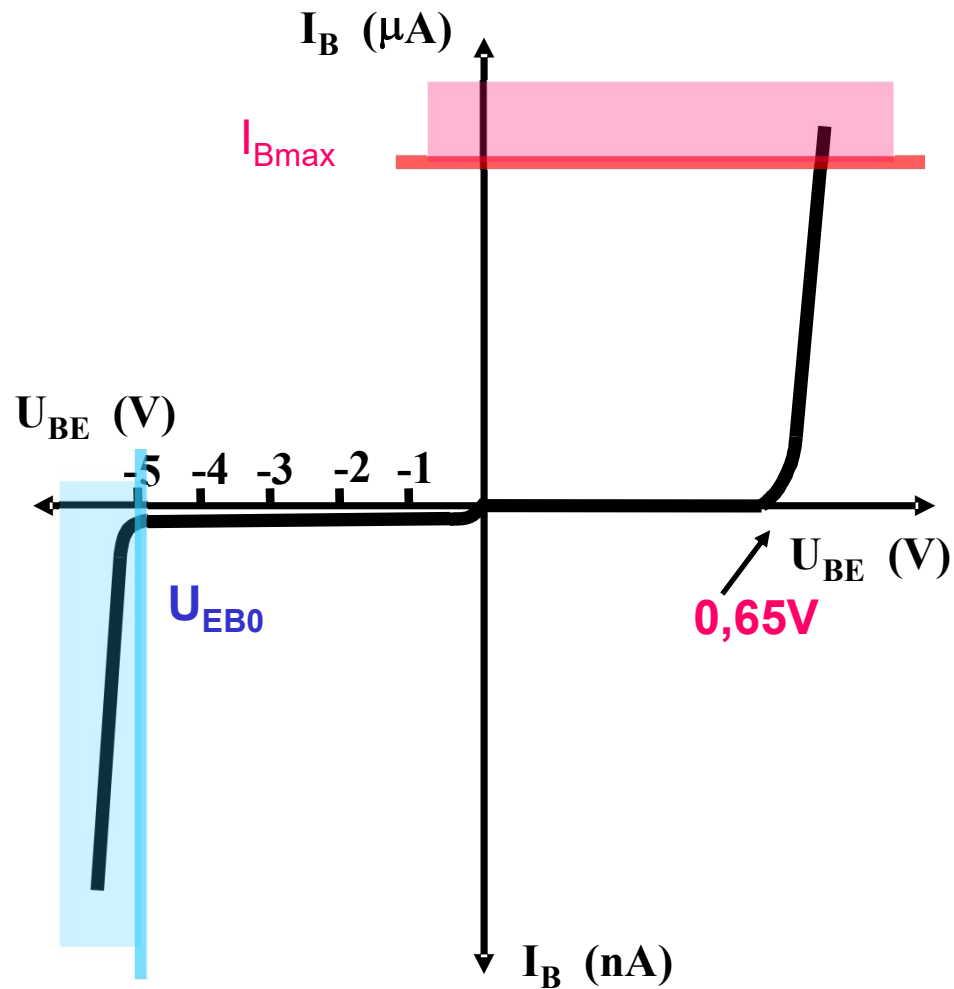
C10.1 Charakteristiky BJT

Vstupní a výstupní charakteristika v zapojení SE



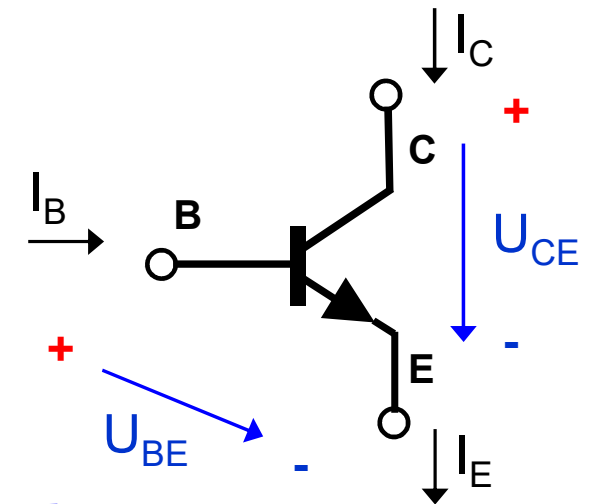
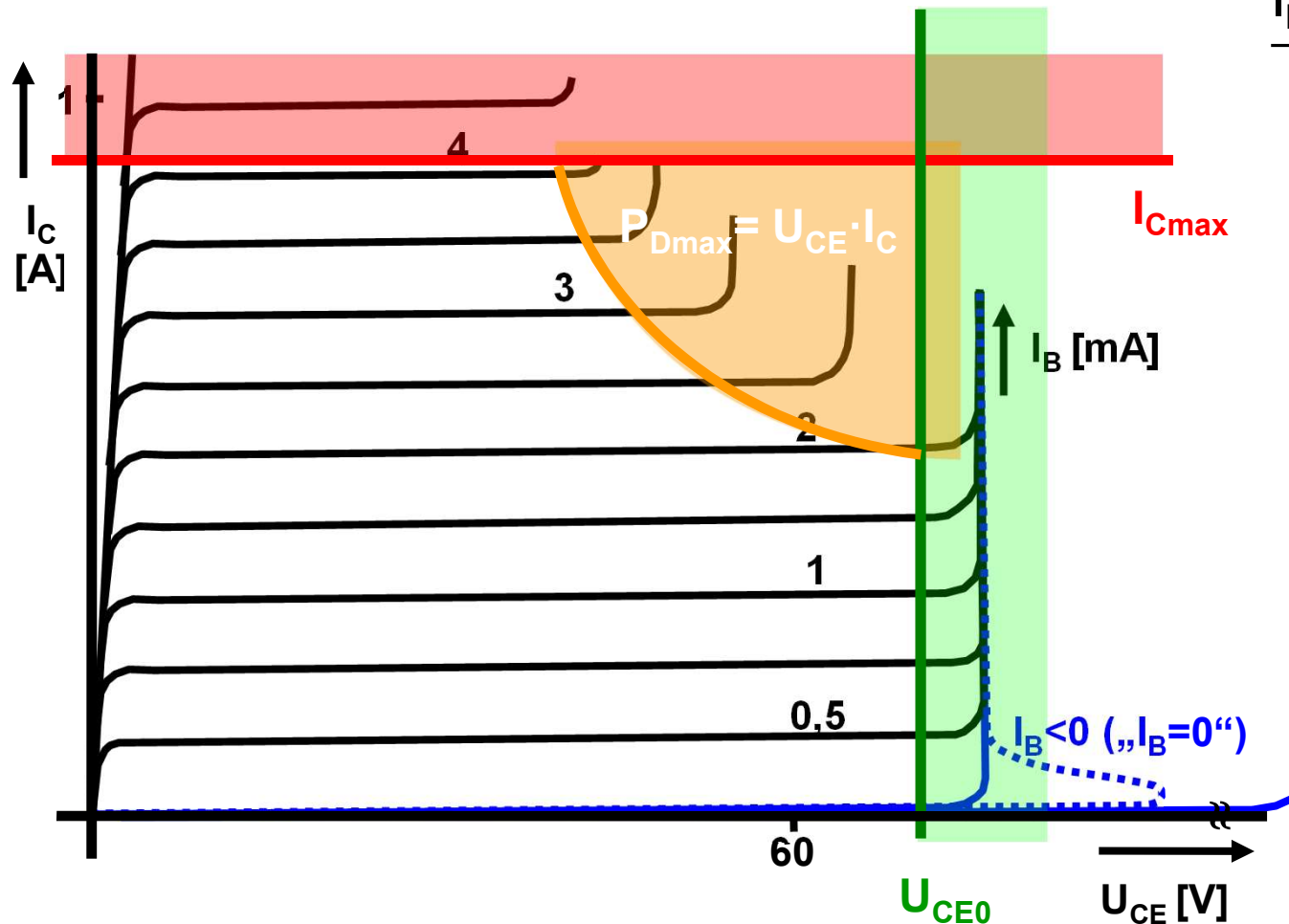
C10.1 Charakteristiky BJT

BJT mezní parametry – vstupní charakteristika



C10.1 Charakteristiky BJT

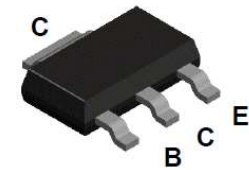
BJT mezní parametry – výstupní charakteristika



C10.1 Charakteristiky BJT



BCP56



SOT-223

NPN General Purpose Amplifier

These devices are designed for general purpose medium power amplifiers and switches requiring collector currents to 1A. Sourced from Process 39.

Absolute Maximum Ratings*

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | BCP56 | Units |
|----------------|--|-------------|------------------|
| V_{CEO} | Collector-Emitter Voltage | 80 | V |
| V_{CBO} | Collector-Base Voltage | 100 | V |
| V_{EBO} | Emitter-Base Voltage | 5 | V |
| I_C | Collector Current - Continuous | 1.2 | A |
| T_J, T_{stg} | Operating and Storage Junction Temperature Range | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

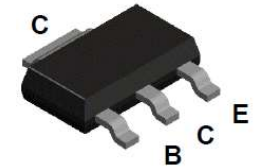
$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

| Symbol | Characteristic | Max | Units |
|-----------------|---|--------|---------------------------------|
| | | BCP56 | |
| P_D | Total Device Dissipation Derate above 25°C | 1 8 | W $\text{mW}/^\circ\text{C}$ |
| $R_{\theta JA}$ | Thermal Resistance, Junction to Ambient | 125 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ |

C10.1 Charakteristiky BJT



BCP56



SOT-223

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min | Max | Units |
|--------|-----------|-----------------|-----|-----|-------|
|--------|-----------|-----------------|-----|-----|-------|

OFF CHARACTERISTICS

| | | | | | |
|------------|-------------------------------------|--|-----|-----------|---------------------|
| BV_{CEO} | Collector-Emitter Breakdown Voltage | $I_C = 10 \text{ mA}$ | 80 | | V |
| BV_{CBO} | Collector-Base Breakdown Voltage | $I_C = 100 \mu\text{A}$ | 100 | | V |
| BV_{EBO} | Emitter-Base Breakdown Voltage | $I_E = 10 \mu\text{A}$ | 5 | | V |
| I_{CBO} | Collector Cutoff Current | $V_{CB} = 30 \text{ V}$ $V_{CB} = 30 \text{ V}, T_j = +125^\circ\text{C}$ | | 100 10 | nA μA |
| I_{EBO} | Emitter Cutoff Current | $V_{EB} = 5 \text{ V}$ | | 10 | μA |

ON CHARACTERISTICS*

| | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|--|----------------|-----|---|
| h_{FE} | DC Current Gain | $I_C = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}$ $I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}$ | 25 40 25 | 250 | - |
| $V_{CE(sat)}$ | Collector-Emitter Saturation Voltage | $I_C = 500 \text{ mA}, I_B = 50 \text{ mA}$ | | 0.5 | V |
| $V_{BE(on)}$ | Base-Emitter On Voltage | $I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}$ | | 1 | V |

C10.1 Charakteristiky BJT

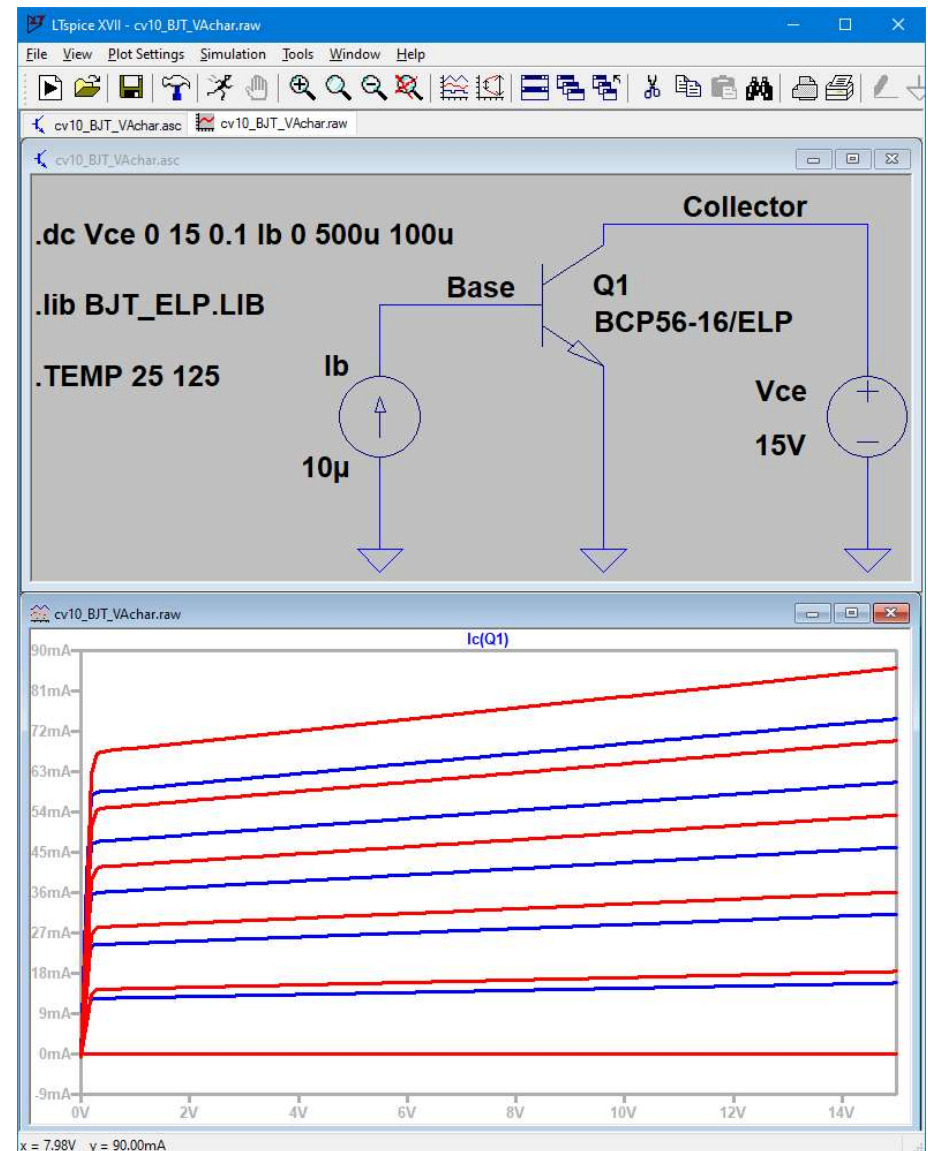
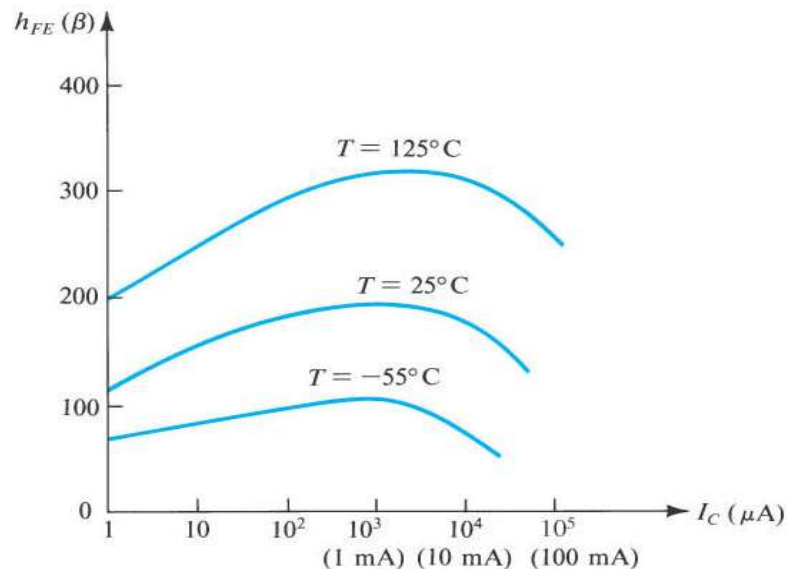
S10.1: Teplotní závislost výstupních VA charakteristik BJT

cv10_BJT_VAchar.asc

Simulace jsou prováděny
při **25** a **125** °C.

Výsledky simulací přeneste
do Excelu.

Všimněte si *nárůstu*
výstupního proudu I_C s teplotou



C10.1 Charakteristiky BJT

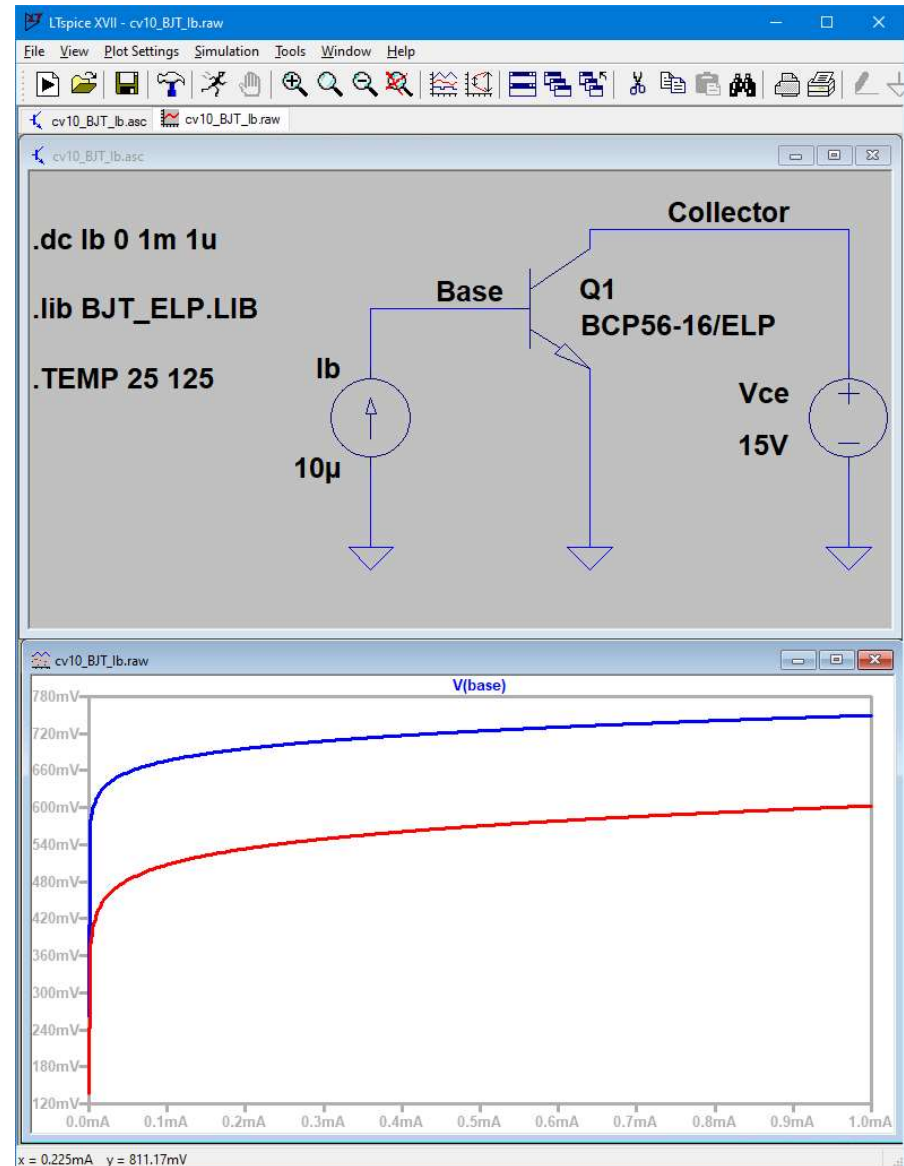
S10.2: Teplotní závislost vstupních VA charakteristik BJT

cv10_BJT_lb.asc

Simulace jsou prováděny
při **25** a **125** °C.

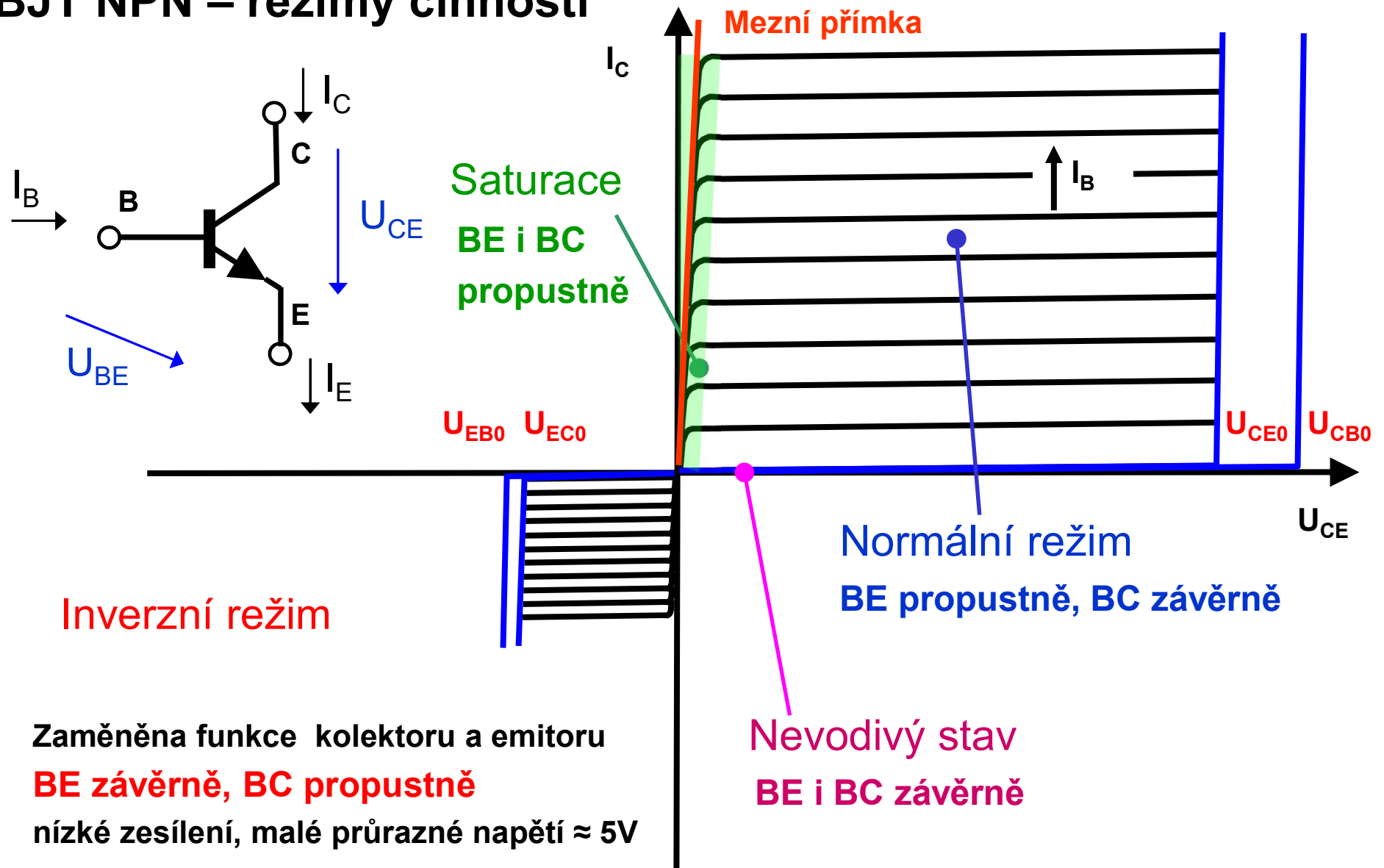
Výsledky simulací přeneste
do Excelu.

Všimněte si **poklesu**
vstupního napětí U_{BE} s teplotou



C10.2 Modely BJT

BJT NPN – režimy činnosti



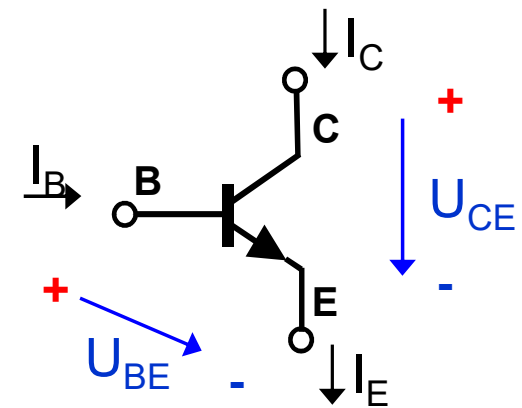
C10.2 Modely BJT

Režimy činnosti BJT – nevodivý

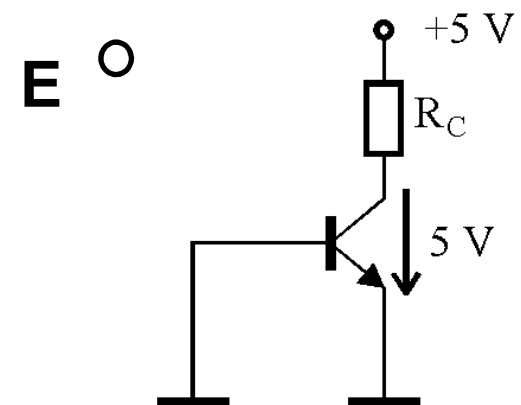
| Polarizace přechodu B-E | | Polarizace přechodu B-C | | Režim |
|----------------------------|----------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| Z | $U_{BE} < U_P$ | Z | $U_{BC} \leq 0$ | Nevodivý |
| P | $U_{BE} > 0$ | Z | $U_{BC} < 0$ | Normální aktivní |
|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

Přechod C-B je polarizován závěrně,
teče jen malý závěrný proud přechodu C-B.
Nazývá se **ZBYTKOVÝ** proud.

TRANZISTOR JE ZAVŘENÝ.



nevodivý
B O O C



C10.2 Modely BJT

Režimy činnosti BJT – normální aktivní

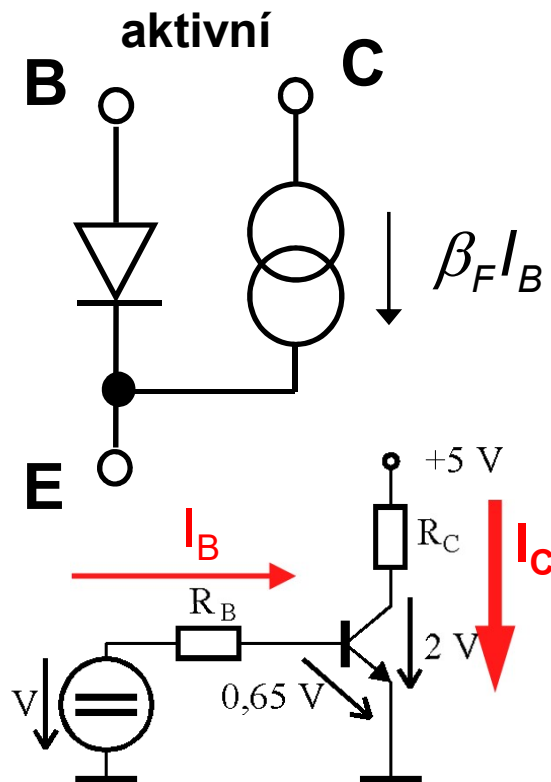
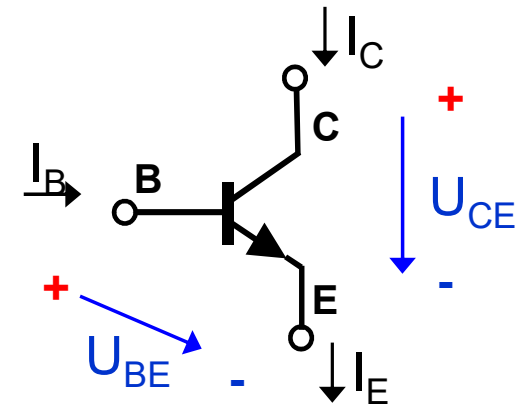
| Polarizace přechodu B-E | | Polarizace přechodu B-C | | Režim |
|----------------------------|----------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|
| Z | $U_{BE} < U_P$ | Z | $U_{BC} \leq 0$ | Nevodivý |
| P | $U_{BE} > 0$ | Z | $U_{BC} < 0$ | Normální aktivní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

Přechod **B-E** je polarizován propustně, teče proud I_B
= injekce elektronů z E do B a děr z B do E

Přechod **B-C** je polarizován závěrně,
= extrakce injikovaných elektronů z B
=> průtok velkého proudu I_C

Proudem I_B řídíme proud I_C

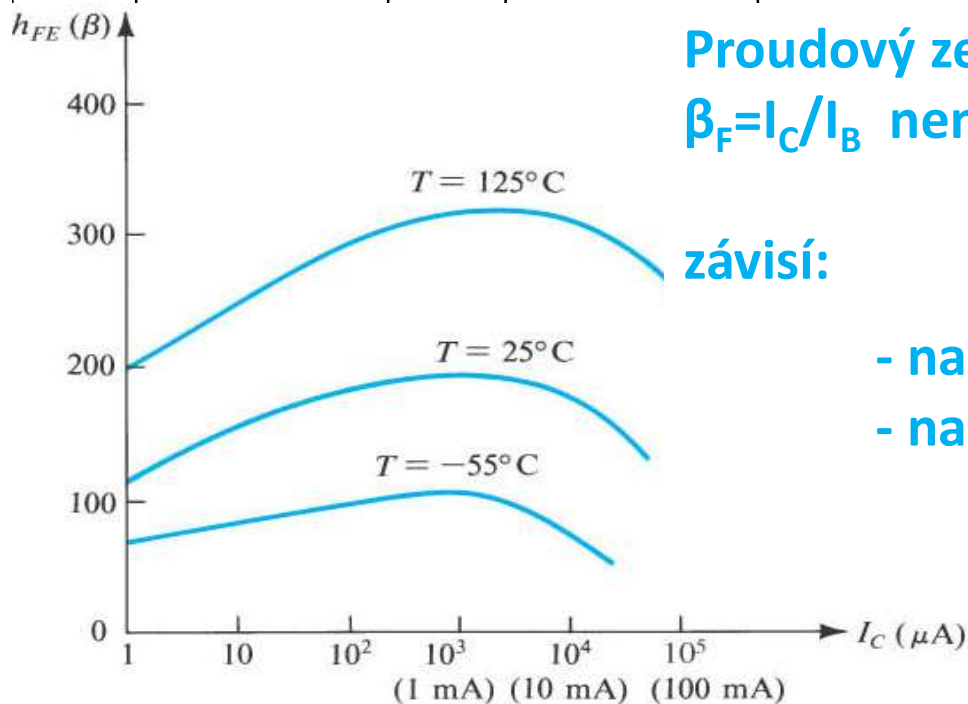
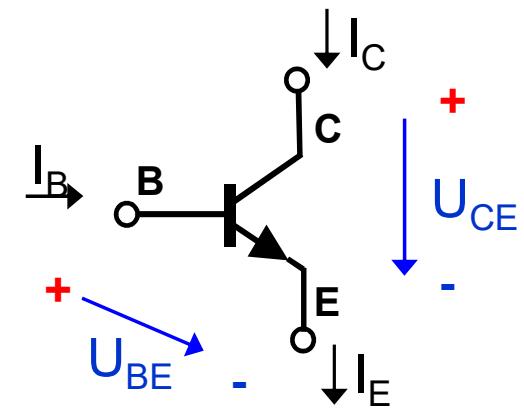
Proudový zesilovací činitel $\beta_F = I_C / I_B \approx 100$



C10.2 Modely BJT

Režimy činnosti BJT – normální aktivní

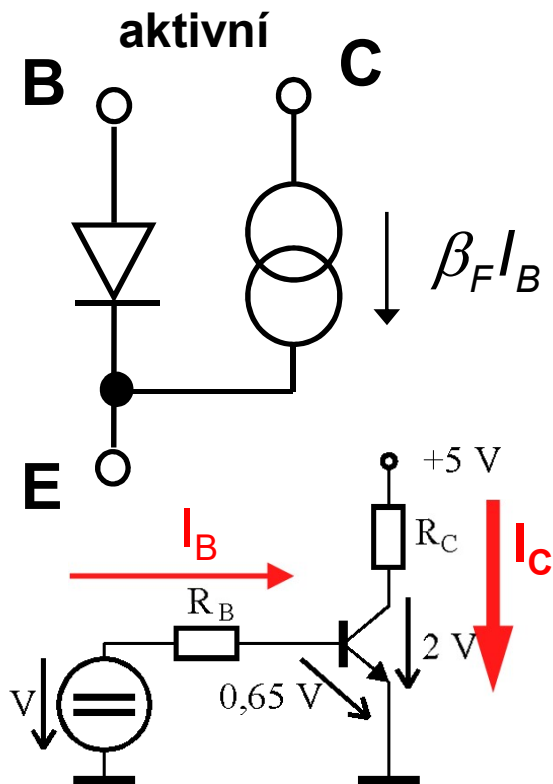
| Polarizace přechodu B-E | | Polarizace přechodu B-C | | Režim |
|-------------------------|----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Z | $U_{BE} < U_P$ | Z | $U_{BC} \leq 0$ | Nevodivý |
| P | $U_{BE} > 0$ | Z | $U_{BC} < 0$ | Normální aktivní |



Proudový zesilovací činitel
 $\beta_F = I_C / I_B$ není konstanta,

závisí:

- na proudu I_C
- na teplotě



C10.2 Modely BJT

Režimy činnosti BJT – inverzní aktivní

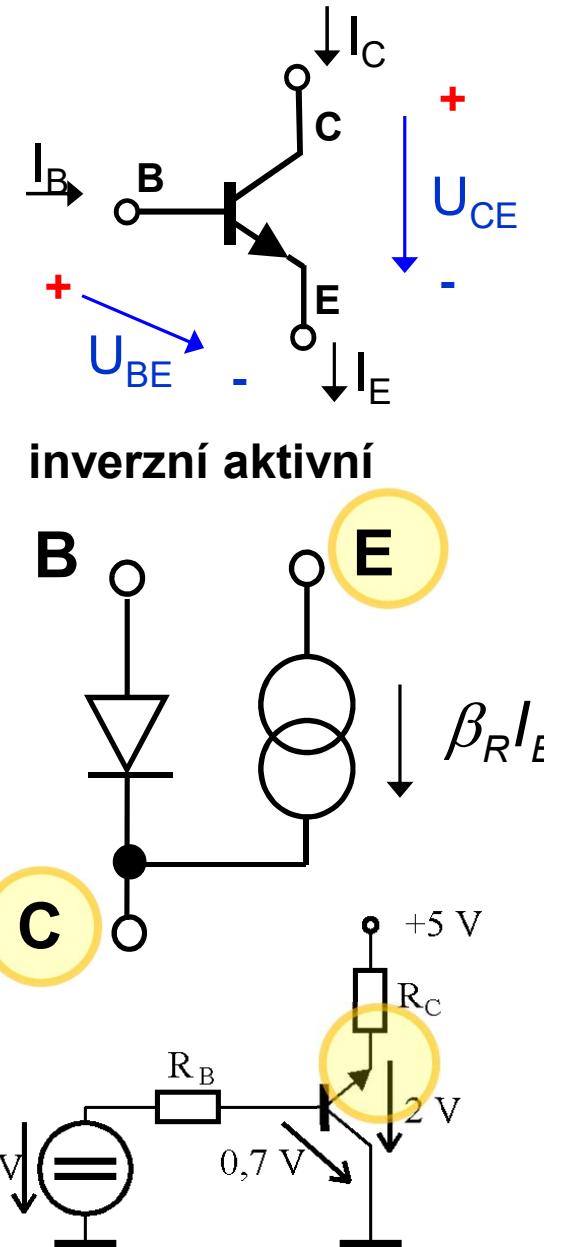
| Polarizace přechodu B-E | | Polarizace přechodu B-C | | Režim |
|-------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Z | $U_{BE} < U_P$ | Z | $U_{BC} \leq 0$ | Nevodivý |
| P | $U_{BE} > 0$ | Z | $U_{BC} < 0$ | Normální aktivní |
| Z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

Emitor je zaměněn za kolektor a naopak.

- malé proudové zesílení ($\beta_R < 1$)
- malé U_{BRCE0} (6 V).

Využití minimální, ale existuje:

Vstupní tranzistor logických hradel TTL



C10.2 Modely BJT

Režimy činnosti BJT – saturace

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

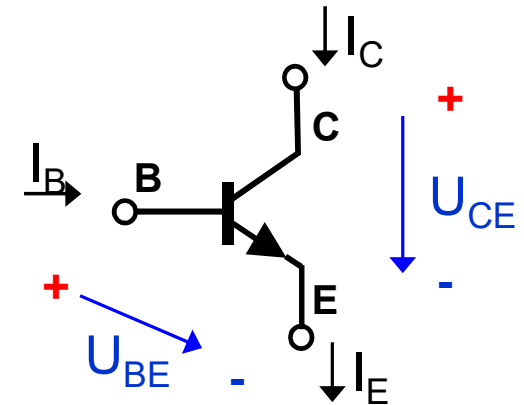
Saturace nastane, pokud:

$$I_B > \frac{I_{C\text{MAX}}}{\beta_F} \quad \text{kde} \quad I_{C\text{MAX}} = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

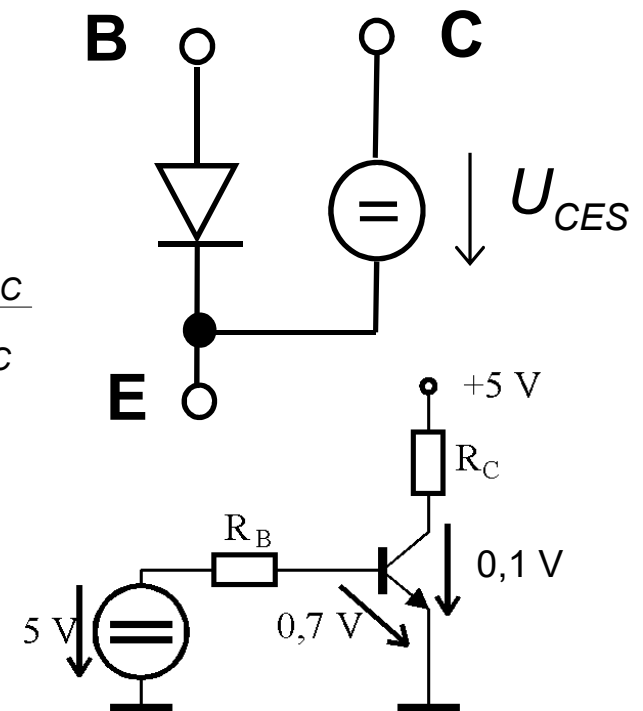
Oba přechody polarizovány v propustném směru
 $\Rightarrow U_{CE} = U_{CES} \rightarrow 0,1 \text{ V}$.

Proudové zesílení významně klesá.

Pro stejný I_C potřebujeme větší I_B !!!



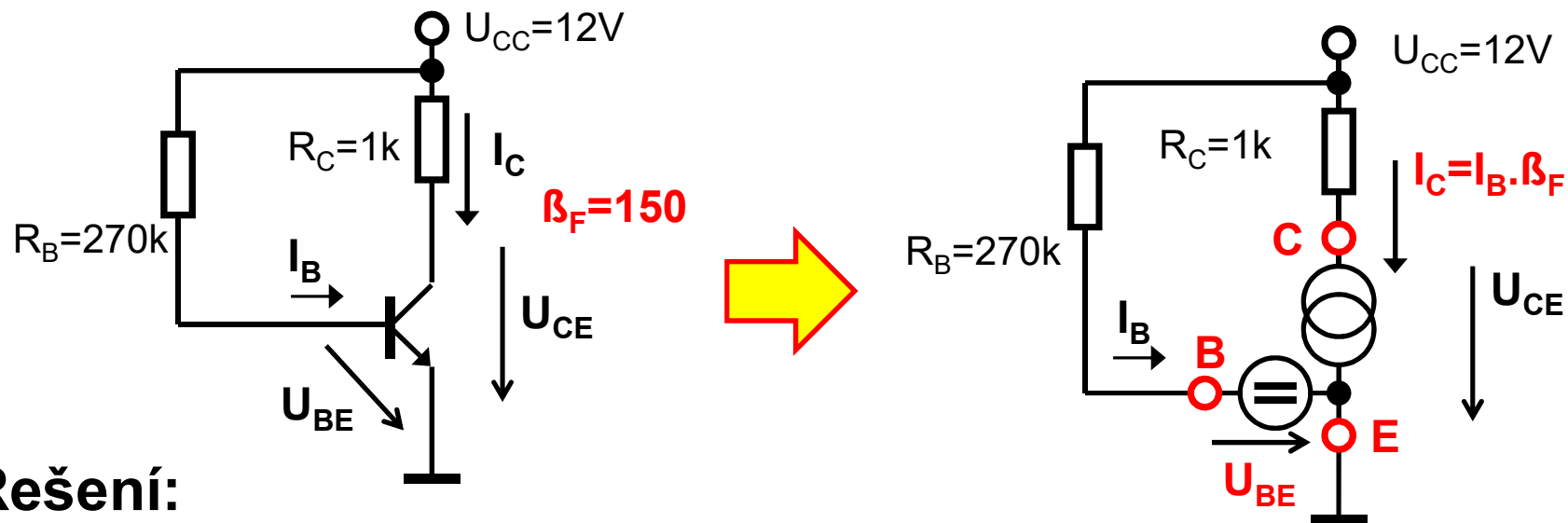
saturace



C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.1: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP_0} , I_{CP_0} a U_{CEP_0}



Řešení:

Odhad stavu činnosti BJT

- vyloučit lze nevodivý stav a inverzní režim
- **předpokládáme aktivní režim**
- **pokud nebude řešení dávat smysl, bude BJT v saturaci**

Náhrada tranzistoru jednoduchým modelem pro vybraný stav činnosti

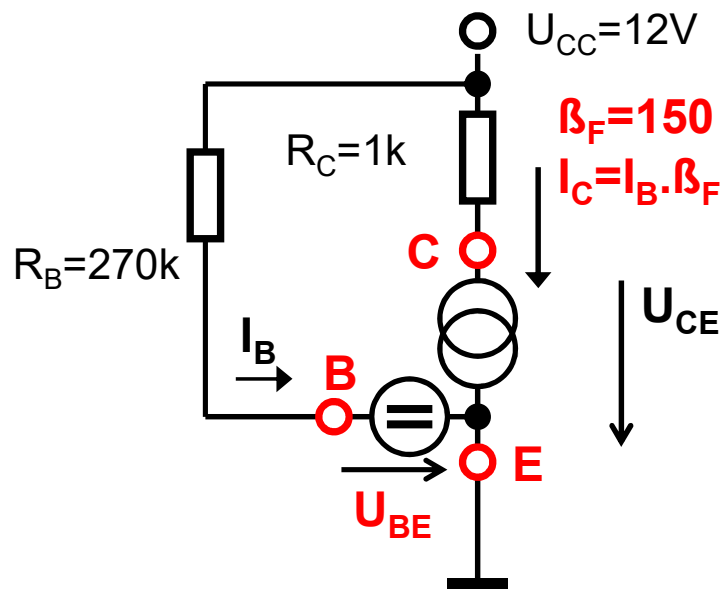
- parametry modelu $U_{BE} = 0,6-0,7 \text{ V}$, $\beta_F = 150$

C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.1: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP_0} , I_{CP_0} a U_{CEP_0}

Řešení:



$$-U_{CC} + R_B \cdot I_B + U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0,65}{270 \cdot 10^3} = 42 \text{ } [\mu A]$$

$$I_C = \beta_F \cdot I_B = 6,3 \text{ } [mA]$$

$$-U_{CC} + R_C \cdot I_C + U_{CE} = 0$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C$$

$$U_{CE} = 12 - 1000 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{CE} = 5,7 \text{ } [V]$$

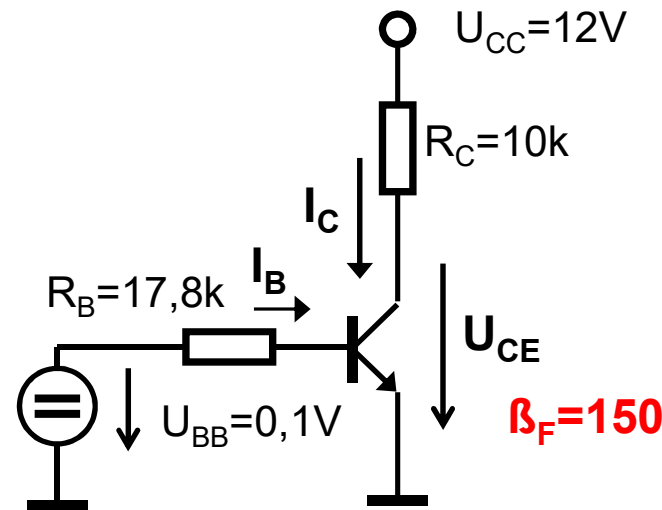
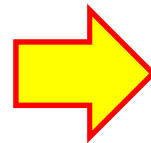
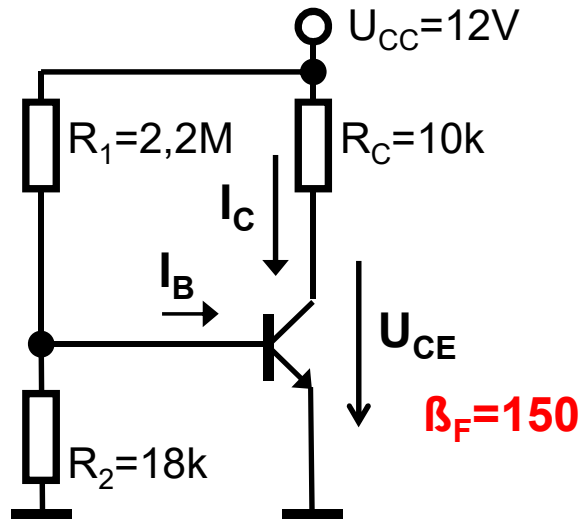
P_0 : $I_B = 42 \mu A$, $I_C = 6,3 \text{ } mA$, $U_{CE} = 5,7 \text{ } V$

Tranzistor je v aktivní oblasti – předpoklady platí

C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.2: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP_0} , I_{CP_0} a U_{CEP_0}



Řešení:

Náhrada děliče v bázi tranzistoru
zdrojem napětí U_{BB} s vnitřním odporem R_B
dle Théveninova teorému

$$U_{BB} = U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,1 \text{ [V]}$$

$$R_B = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 17,8 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

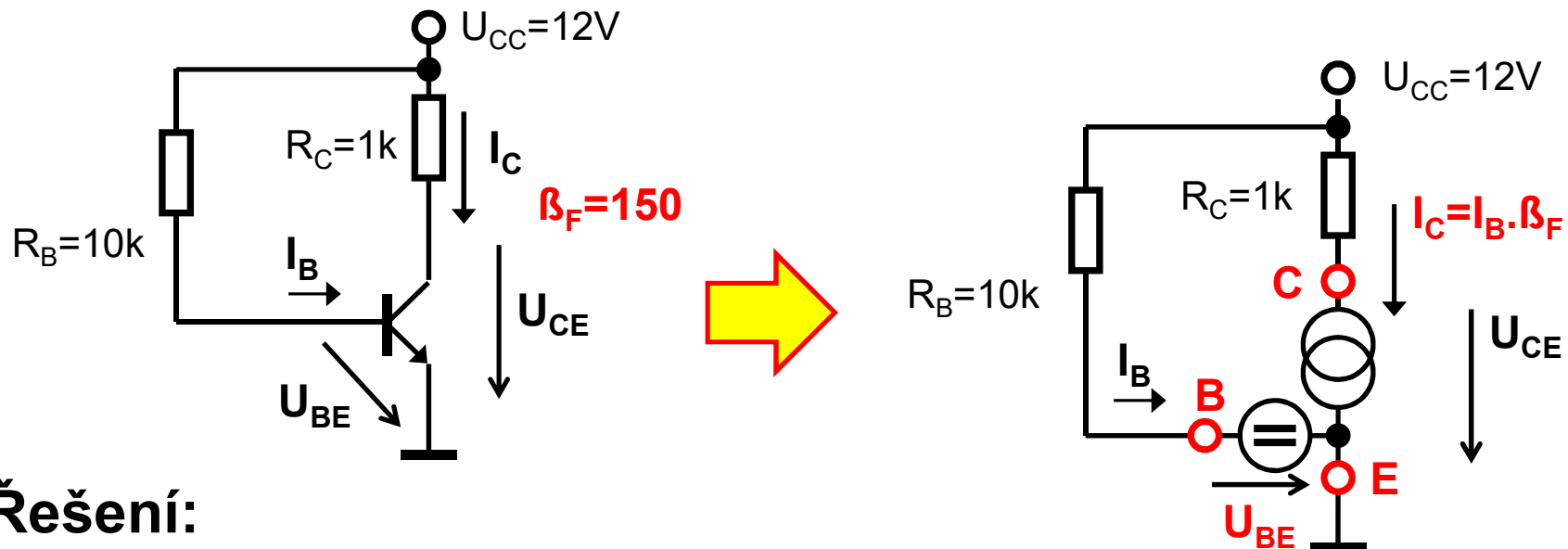
Vzhledem k velikosti napětí U_{BB} ($=0,1V$) bude tranzistor v nevodivém stavu.

$P_0 : I_B \rightarrow 0, I_C \rightarrow 0, U_{CE} \rightarrow 12V$

C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.3: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP_0} , I_{CP_0} a U_{CEP_0}



Řešení:

Odhad stavu činnosti BJT

- vyloučit lze nevodivý stav a inverzní režim
- **předpokládáme aktivní režim**
- pokud nebude řešení v aktivním režimu dávat smysl, bude BJT v saturaci

Náhrada tranzistoru jednoduchým modelem pro vybraný stav činnosti

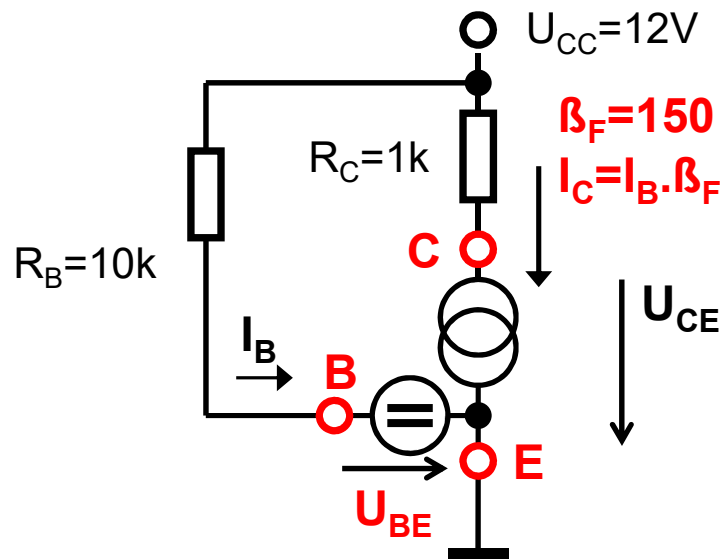
- parametry modelu $U_{BE} = 0,6-0,7 \text{ V}$, $\beta_F = 150$

C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.3: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP0} , I_{CP0} a U_{CEP0}

Řešení:



$$-U_{CC} + R_B \cdot I_B + U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0,65}{10 \cdot 10^3} = 1,1 \text{ [mA]}$$

$$I_C = \beta_F \cdot I_B = 170 \text{ [mA]}$$

$$-U_{CC} + R_C \cdot I_C + U_{CE} = 0$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C$$

$$U_{CE} = 12 - 1000 \cdot 0,17$$

$$U_{CE} = -158 \text{ [V] !!!!!}$$

Záporné napětí U_{CE} i jeho absolutní hodnota nedává smysl,
není možné použít náhradní obvod pro aktivní režim.

Použijeme náhradní obvod tranzistoru pro režim saturace.

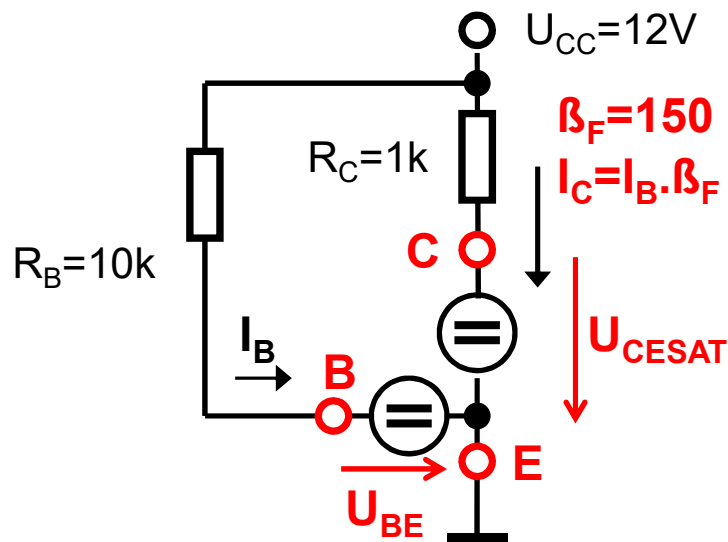
C10.2 Modely BJT

Příklad CP10.3: Analýza polohy pracovního bodu P_0

Je zadán obvod, známe proudový zesilovací činitel křemíkového tranzistoru, úkolem je určit polohu klidového pracovního bodu P_0 , tj. I_{BP_0} , I_{CP_0} a U_{CEP_0}

Řešení:

Použijeme náhradní obvod tranzistoru pro **režim saturace**: $U_{BE} = 0,7V$ a $U_{CESAT} = 0,1V$



$$-U_{CC} + R_B \cdot I_B + U_{BE} = 0$$
$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0,7}{10 \cdot 10^3} = 1,1 \text{ [mA]}$$

$$-U_{CC} + R_C \cdot I_C + U_{CESAT} = 0$$
$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CESAT}}{R_C} = \frac{12 - 0,1}{1 \cdot 10^3} = 12 \text{ [mA]}$$

$P_0 : I_B = 1,1 \text{ mA}, I_C = 12 \text{ mA}, U_{CE} = 0,1 \text{ V}$

Tranzistor je v režimu saturace

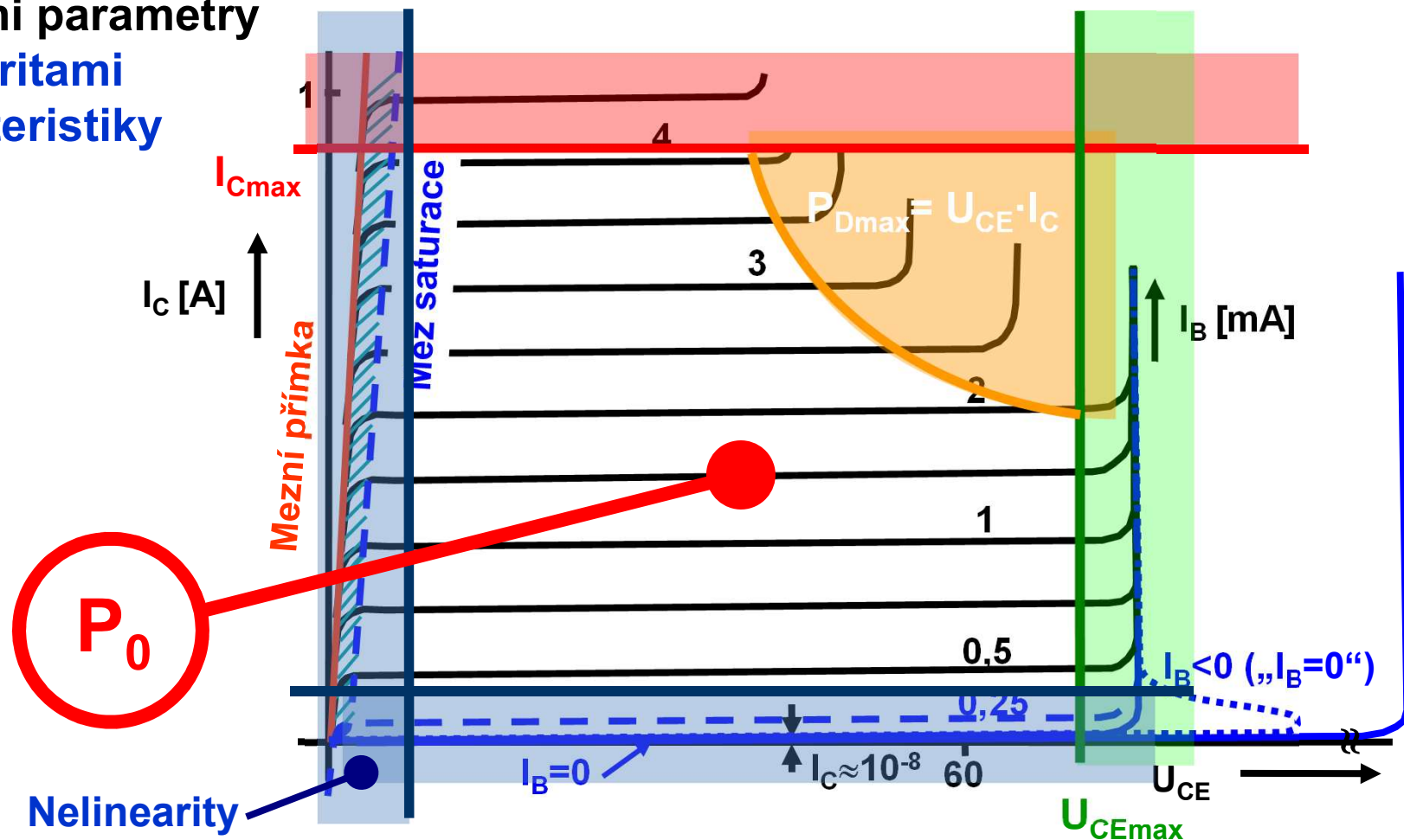
C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Volba polohy klidového pracovního bodu P_0

Zesilovač – normální aktivní režim

Omezení:

1. mezními parametry
2. nelinearitami charakteristiky

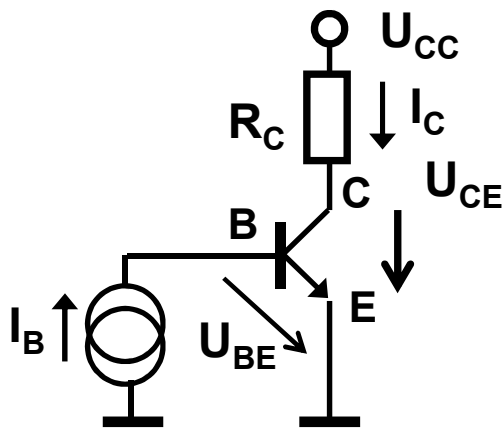


C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Minimální hodnota R_C dána max. ztrátovým výkonem tranzistoru.

Zesilovač – normální aktivní režim

BJT užit jako zdroj proudu řízený proudem

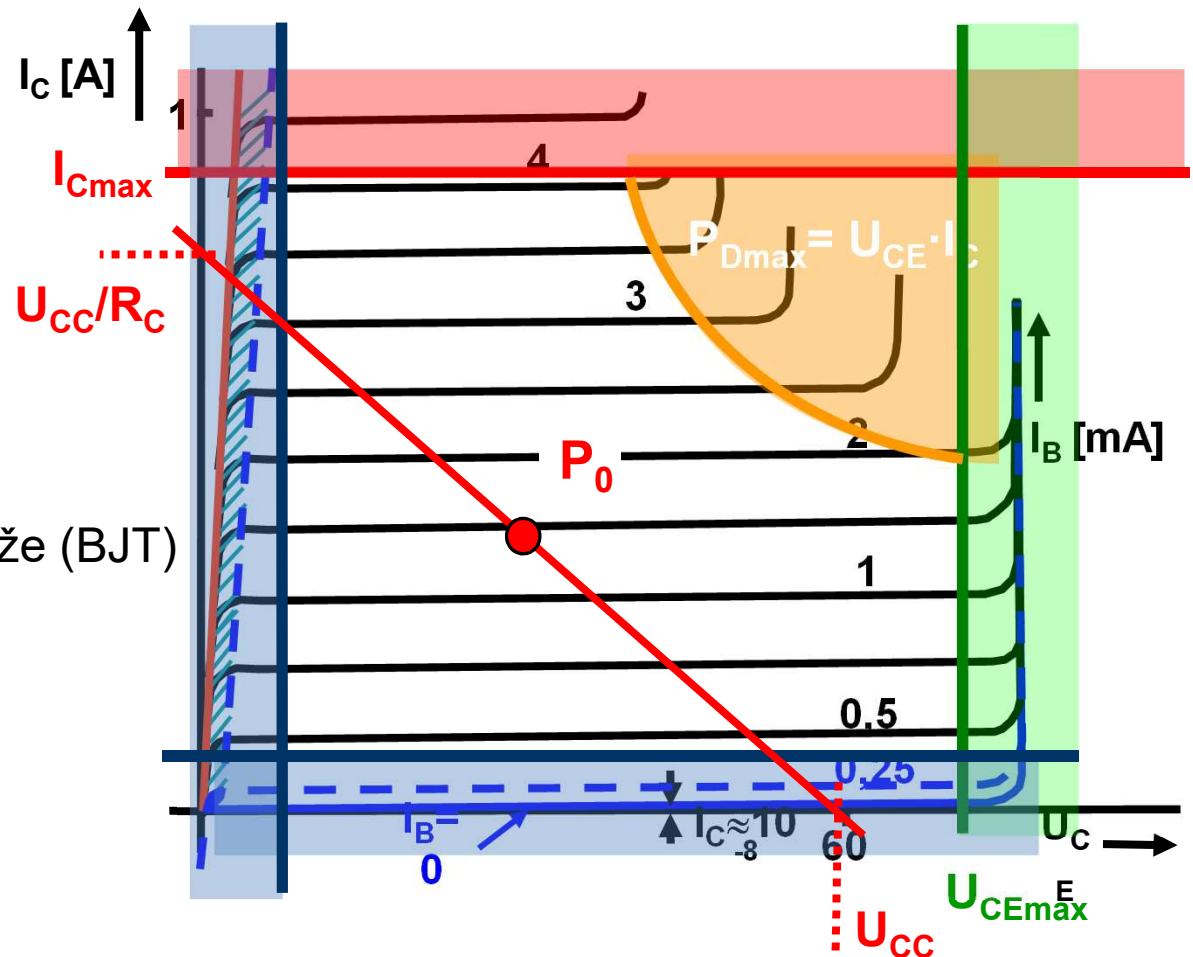


Zdroj dodává max. výkon do zátěže (BJT)

je-li $U_{CE} = U_{CC}/2$

$$P_{MAX} > U_{CEP0} \cdot I_{CP0} = \frac{U_{CC}}{2} \cdot \frac{U_{CC}}{2 \cdot R_C}$$

$$R_{Cmin} > \frac{U_{CC}^2}{4 \cdot P_{MAX}}$$

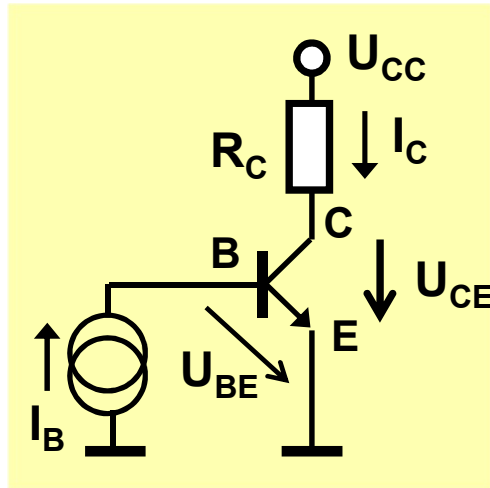


C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

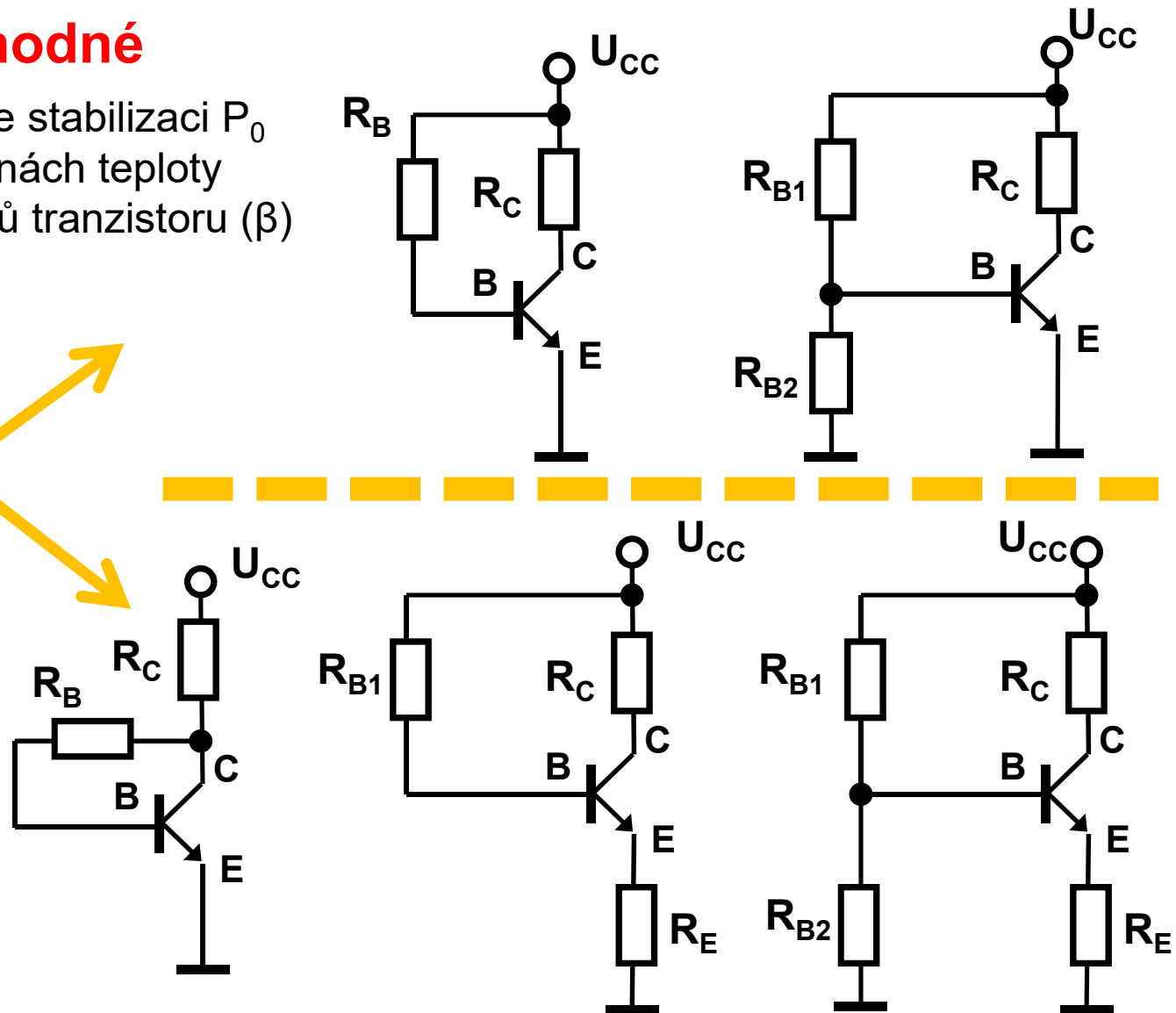
Obvody pro nastavení pracovního bodu P_0

Nevhodné

nezajišťuje stabilizaci P_0
při změnách teploty
či parametrů tranzistoru (β)

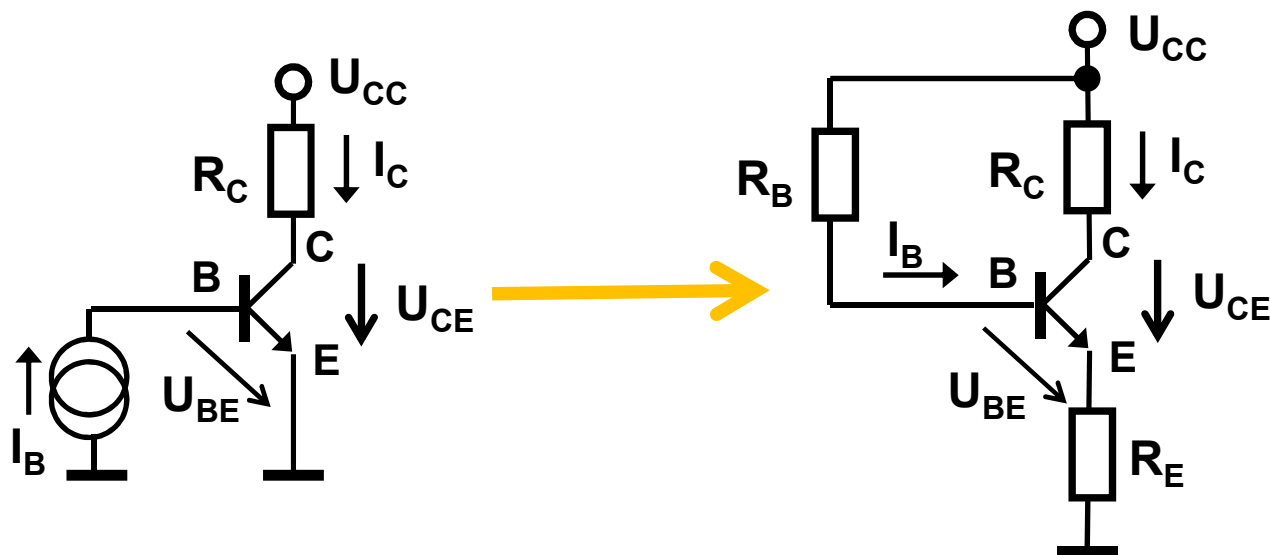


Vhodné



C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Obvody pro nastavení pracovního bodu P_0



$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C + R_E}$$
$$I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$
$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F}$$
$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - R_E \cdot I_C}{R_B}$$

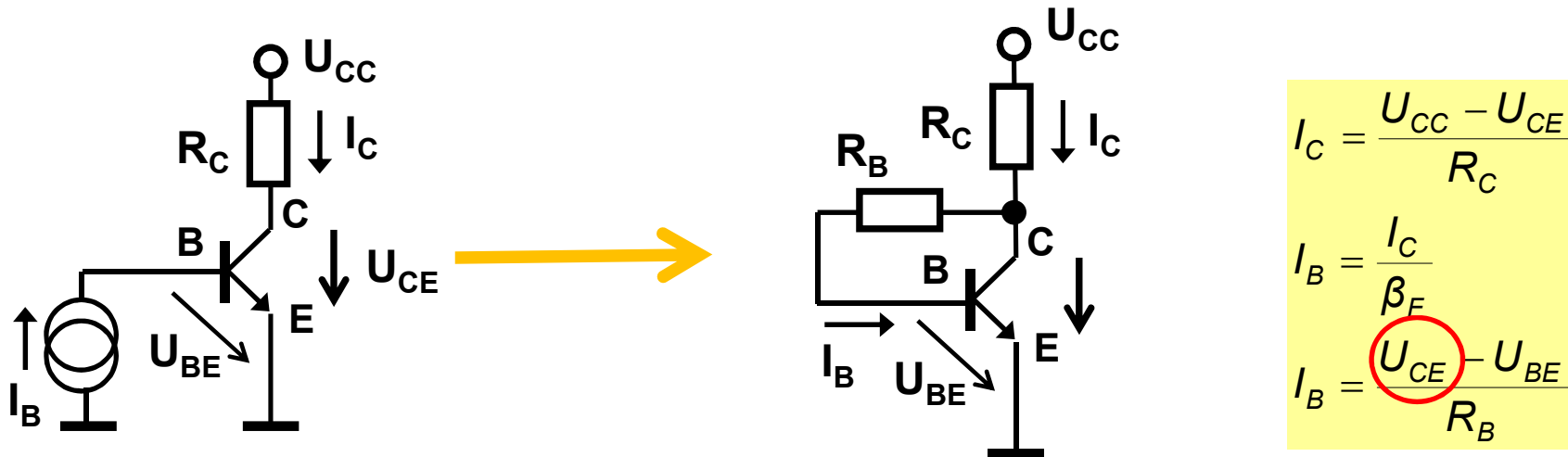
Vhodné

- Vzrůst teploty → vzrůst I_C
- Vzrůst I_C = vzrůst $-R_E \cdot I_C$ → pokles I_B
- Pokles I_B → pokles I_C

Regulace není ideální, nedostatečný vliv členu „ $-R_E \cdot I_C$ “

C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Obvody pro nastavení pracovního bodu P_0



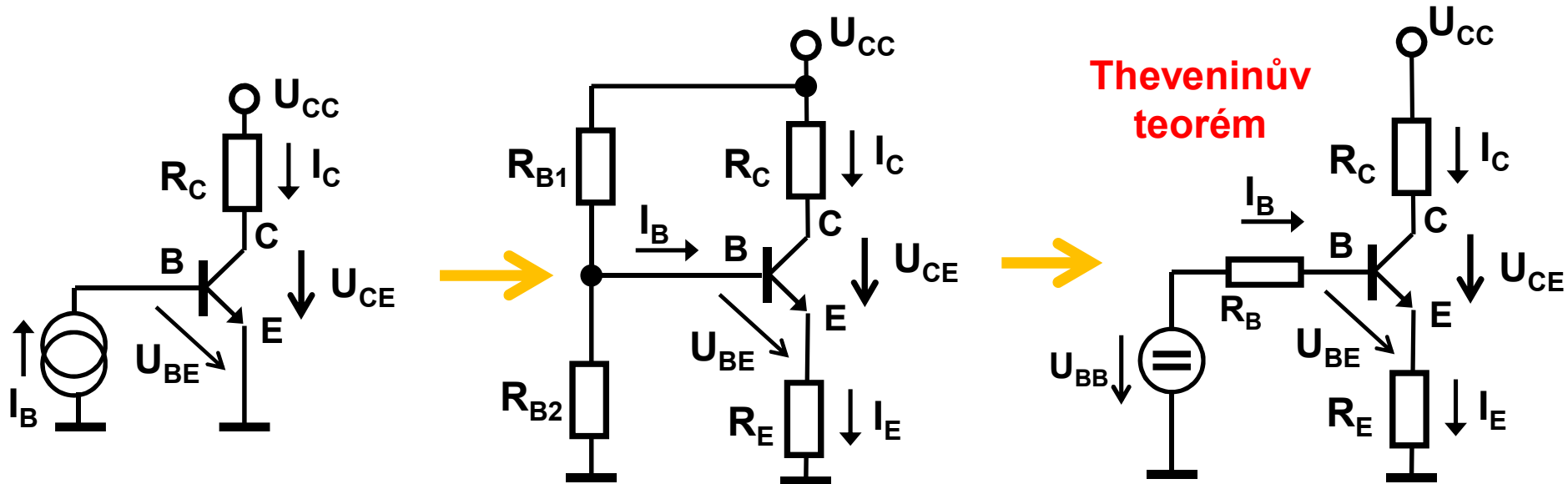
Vhodné

- Vzrůst teploty → vzrůst I_C
- Vzrůst I_C = vzrůst $R_C \cdot I_C$ → pokles U_{CE}
- Pokles U_{CE} → pokles I_B
- Pokles I_B → pokles I_C

Vhodný obvod pro teplotní stabilizaci pracovního bodu

C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Obvody pro nastavení pracovního bodu P_0



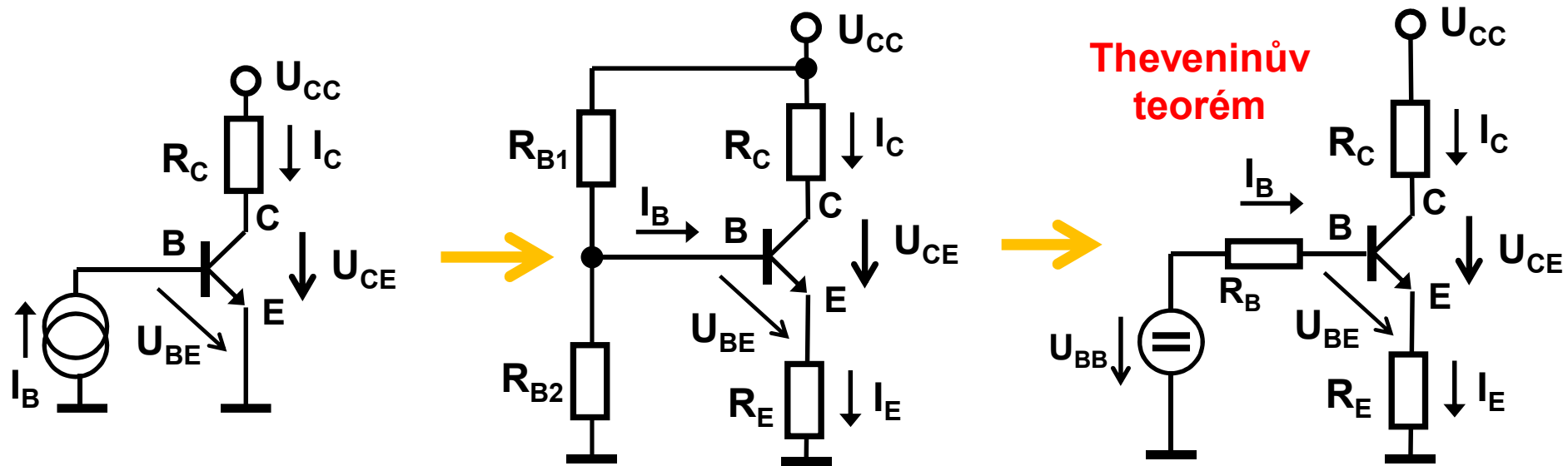
$$U_{BB} = U_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$
$$R_B = R_{B1} \parallel R_{B2} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C + R_E}$$
$$I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$
$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F}$$
$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE} - R_E \cdot I_C}{R_B}$$

Pokračování na dalším snímku

C10.4 Nastavení pracovního bodu P_0

Obvody pro nastavení pracovního bodu P_0



Theveninův
teorém

$$-U_{BB} + R_B \cdot I_B + U_{BE} + R_E \cdot I_E = 0, \quad I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C, \quad I_B = \frac{I_C}{\beta_F}, \quad I_C \approx I_E = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_F}}$$

Pracovní bod je stabilizován pokud platí

$$U_{BB} \gg U_{BE} \quad R_E \gg \frac{R_B}{\beta} \quad \rightarrow \quad I_C \approx I_E = \frac{U_{BB}}{R_E}$$

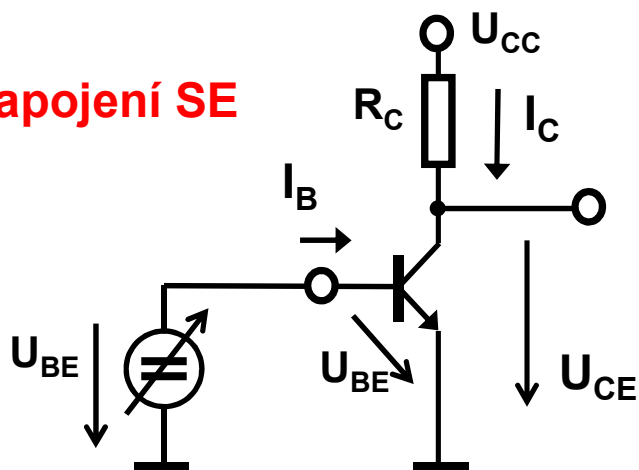
Teplotně závislé parametry

Typická volba $U_{BB} \approx 0.3 U_{CC}$ $I_{R1R2} \approx 0.1 I_E$

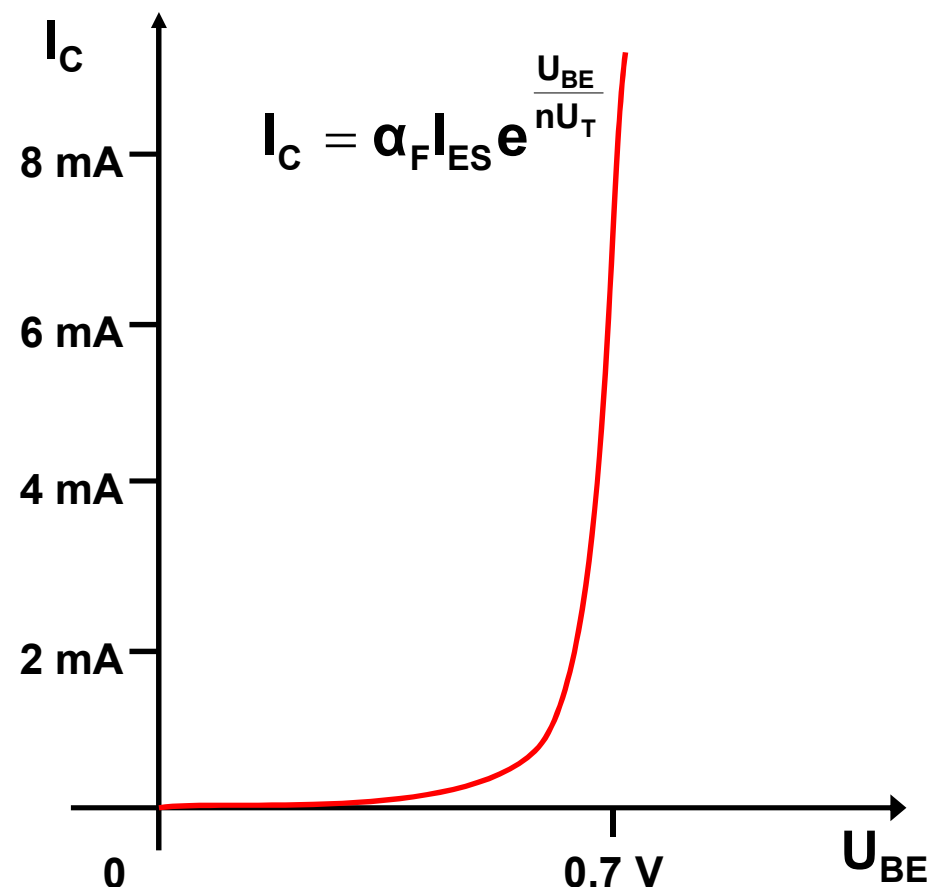
Vhodný obvod pro teplotní stabilizaci pracovního bodu

C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

Zapojení SE



Převodní charakteristika $I_C = f(U_{BE})$



Kolektorový proud:

$$I_C = \alpha_F I_{ES} e^{\frac{U_{BE}}{n U_T}}$$

kde

I_{ES} = saturační proud přechodu BE

$U_T = kT/e = 26 \text{ mV}$ (@ $T=300\text{K}$)

n = emisní koeficient typicky ~ 1
pro nízkou a vysokou injekci ~ 2

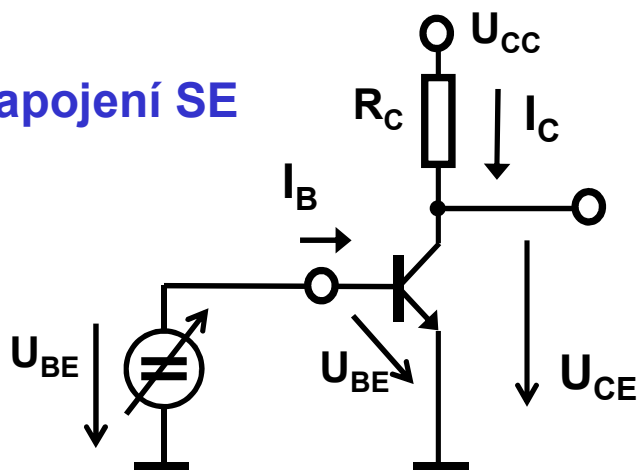
Transconductance

= směrnice převodní charakteristiky

$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} = \frac{1}{n \cdot U_T} \cdot \alpha_F \cdot I_{ES} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{n \cdot U_T}} = \frac{1}{n \cdot U_T} \cdot I_C$$

C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

Zapojení SE



$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C = U_{CC} - R_C \cdot I_{ES} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{n \cdot U_T}}$$

Střídavé napěťové zesílení zapojení SE: (pro normální aktivní režim)

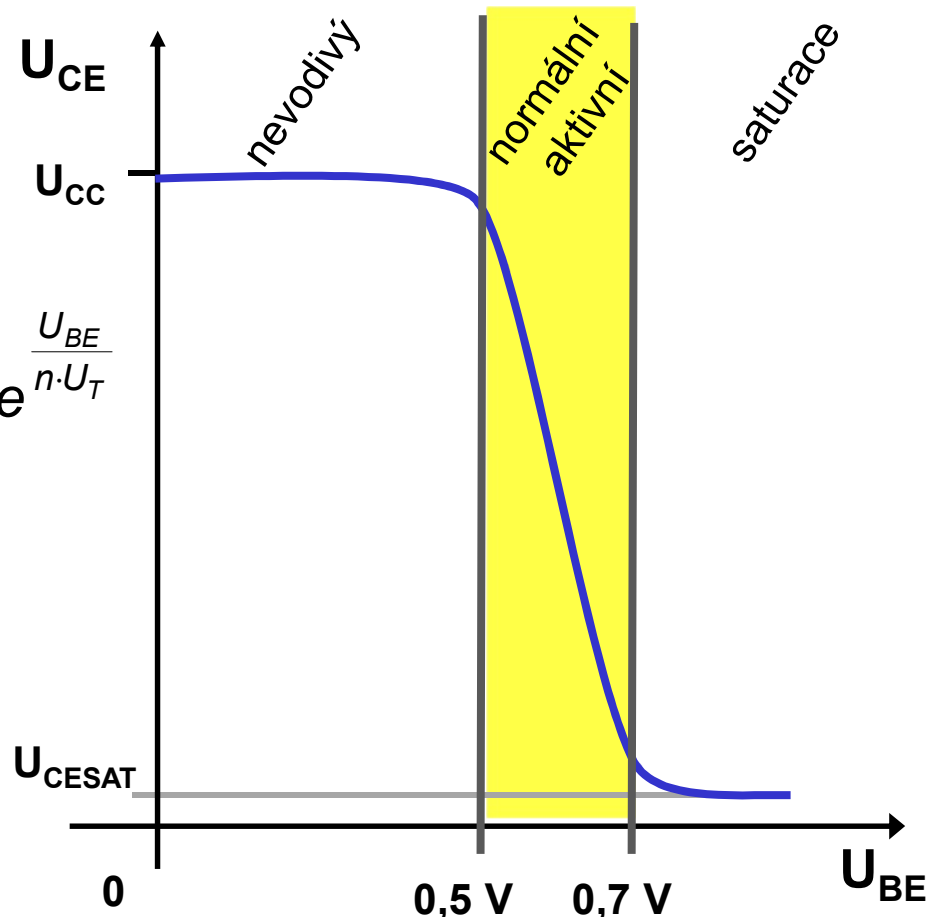
$$A_U = \frac{\partial U_{CE}}{\partial U_{BE}} = -\frac{I_C}{n \cdot U_T} \cdot R_C = -g_m \cdot R_C$$

pro $U_T = kT/e = 26 \text{ mV}$ (@ $T=300\text{K}$)

n = emisní koeficient typicky ~ 1

$$A_U \approx -40 \cdot I_{CP0} \cdot R_C$$

Převodní charakteristika $U_{CE}=f(U_{BE})$

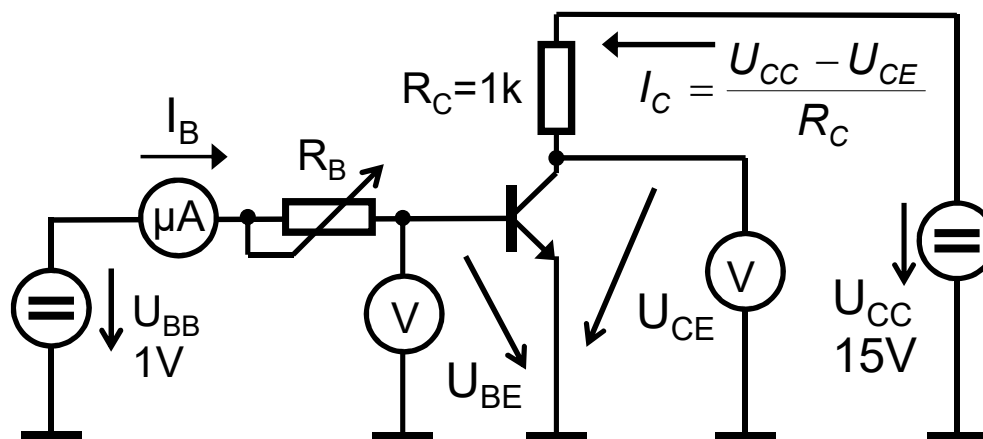


kde I_{CP0} je kolektorový proud tranzistoru
v jeho pracovním bodě

C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

M10.1: Měření vstupní a převodní charakteristiky BJT

Zapojení pro měření vstupní a převodní charakteristiky



Vstupní charakteristika $U_{BE}=f(I_B)$:

1. Pomocí R_B nastavujte proud I_B
2. Kontrolujte, že $U_{CE} > 0,1 \text{ V}$
3. Odečítejte I_B , U_{BE}

Převodní charakteristika $U_{CE}=f(U_{BE})$:

1. Pomocí R_B nastavujte proud I_B
2. Odečítejte I_B , U_{BE} , U_{CE}

C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

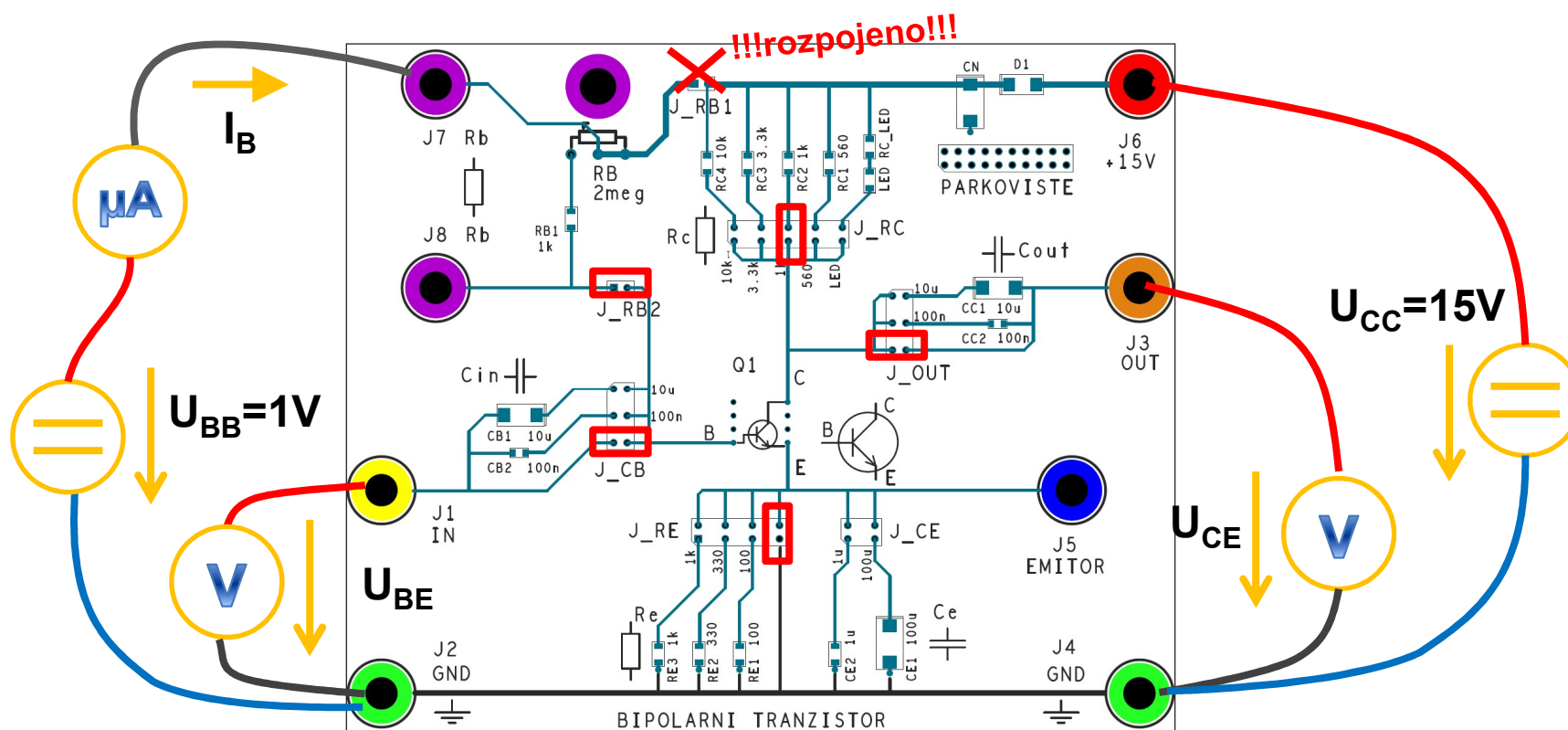
M10.1: Měření vstupní a převodní charakteristiky BJT

Vstupní charakteristika $U_{BE}=f(I_B)$:

1. Pomocí R_B nastavujte proud I_B
2. Kontrolujte, že $U_{CE} > 0,1 \text{ V}$
3. Odečítejte I_B , U_{BE}

Převodní charakteristika $U_{CE}=f(U_{BE})$:

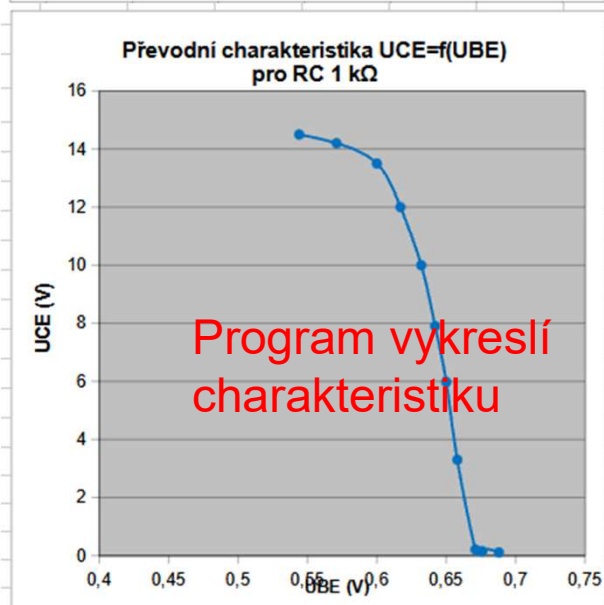
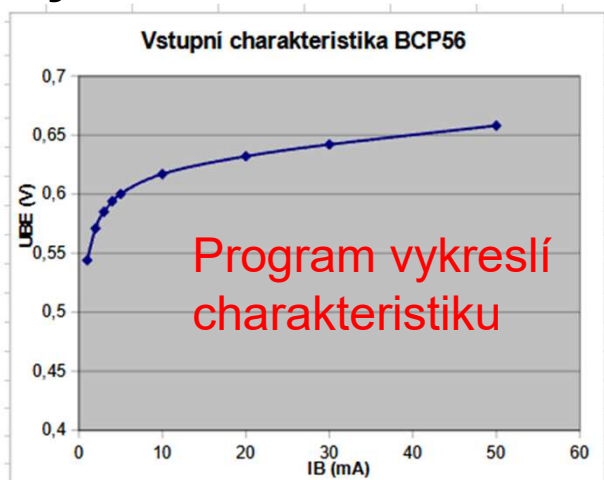
1. Pomocí R_B nastavujte proud I_B
2. Odečítejte I_B , U_{BE} , U_{CE}



C10.5 Vstupní a převodní charakteristika BJT

M10.1: Měření vstupní a převodní charakteristiky BJT

Vyhodnocení měření – Excel karta Měření vstup. a přev. ch.



| | $U_{CE} \text{ (V)}$ | $>0,1\text{V}$ |
|--|--------------------------------------|-----------------------|
| doporučené $I_B \text{ (}\mu\text{A)}$ | naměřené $I_B \text{ (}\mu\text{A)}$ | $U_{BE1} \text{ (V)}$ |
| 1 | 1 | 0,544 |
| 2 | 2 | 0,571 |
| 3 | 3 | 0,585 |
| 4 | 4 | 0,594 |
| 5 | 5 | 0,6 |
| 10 | 10 | 0,617 |
| 20 | 20 | 0,632 |
| 30 | 30 | 0,642 |
| 50 | 50 | 0,658 |

Doplnit naměřené hodnoty I_B a U_{BE}

| | | | | |
|--|--------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | $U_{CC} \text{ (V)}$ | 15 | | |
| | $R_C (\Omega) = 1\text{k}\Omega$ | | | |
| doporučené $I_B \text{ (}\mu\text{A)}$ | naměřené $I_B \text{ (}\mu\text{A)}$ | $U_{BE} \text{ (V)}$ | $U_{CE} \text{ (V)}$ | $I_C \text{ (mA)}$ |
| 1 | 1 | 0,544 | 14,5 | 0,5 |
| 2 | 2 | 0,571 | 14,2 | 0,8 |
| 5 | 5 | 0,6 | 13,5 | 1,5 |
| 10 | 10 | 0,617 | 12 | 3 |
| 20 | 20 | 0,632 | 10 | 5 |
| 30 | 30 | 0,642 | 7,9 | 7,1 |
| 40 | 40 | 0,65 | 5,98 | 9,02 |
| 50 | 50 | 0,658 | 3,3 | 11,7 |
| 70 | 70 | 0,671 | 0,21 | 14,79 |
| 100 | 100 | 0,676 | 0,15 | 14,85 |
| 150 | 150 | 0,688 | 0,11 | 14,89 |

Doplnit naměřené hodnoty I_B , U_{BE} a U_{CE}

Program vypočte hodnoty I_C