

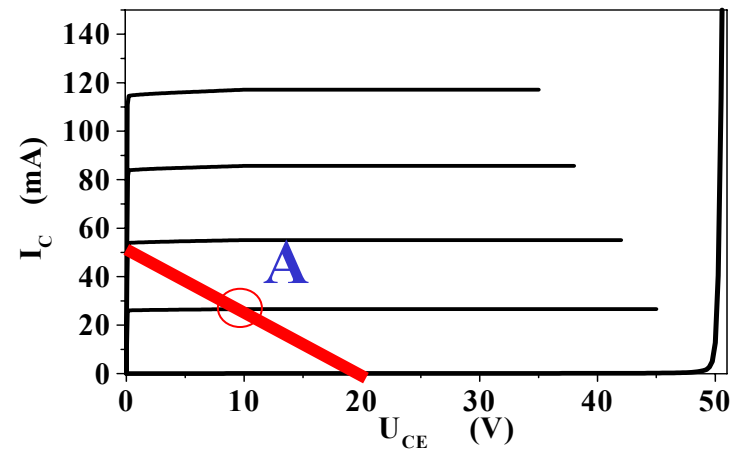
Bipolární tranzistor

zesilovač malého signálu

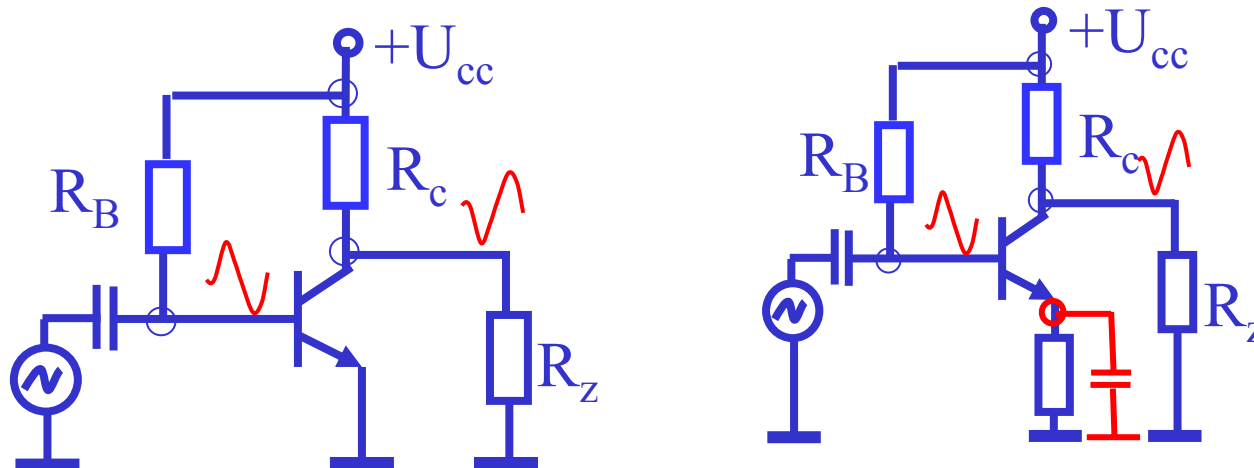
7. přednáška

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu

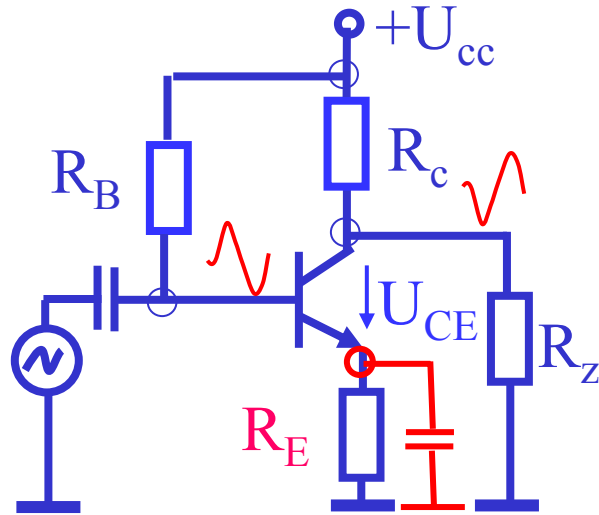
1. nastavení ss pracovního bodu



2. přivedení zesilovaného signálu



Bipolární tranzistor – nastavení ss pracovního bodu



Zadáno: zesilovač ve třídě A

**$U_{cc} = 12\text{ V}, R_E = 220, R_C = 1\text{ k}\Omega,$
 $h_{21E} = 100, R_z = 100k$**

$$U_{CE} = U_{cc} / 2 = 6 \text{ V}$$

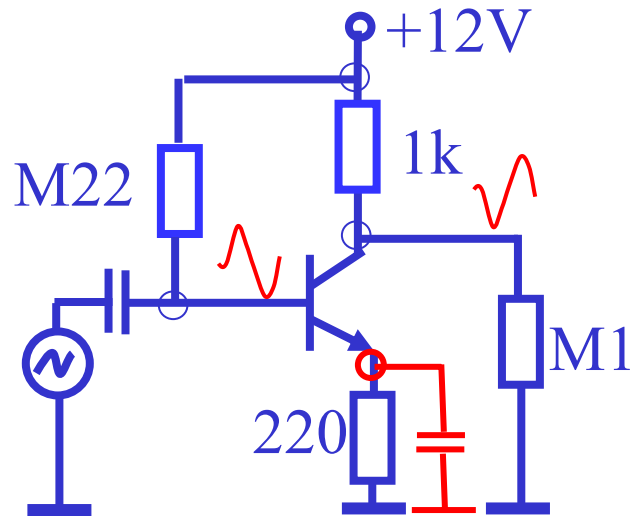
$$I_C = (U_{CC} - U_{CE}) / (R_C + R_E) = (12 - 6) / (1000 + 220) \approx 5 \text{ mA}$$

$$\mathbf{U_{BE} = R_E \cdot I_c = 220 \times 0,005 = 1,1 \text{ V}}$$

$$R_B = [(U_{cc} - U_{BE} - U_{RE}) \cdot h_{21e}] / I_C$$

$$= [(12 - 0,7 - 1,1) \cdot 100] / 0.005 = 204\,000 \, \Omega \Rightarrow \mathbf{M22}$$

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu

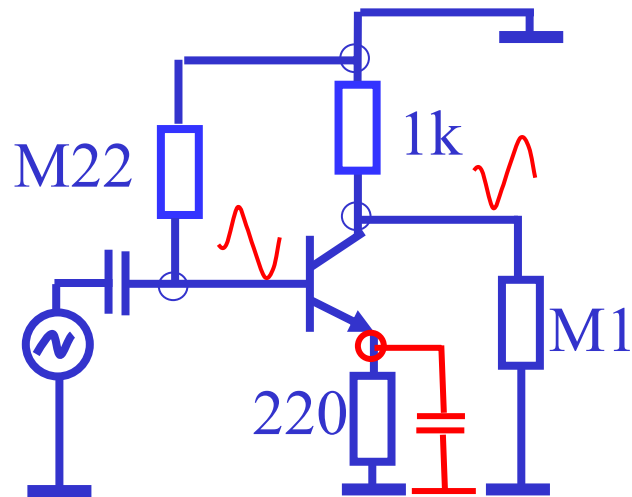


Jak to vidí střídavý signál na vstupu?

SS zdroj napětí se pro střídavý signál chová jako zkrat.

SS zdroj proudu se pro střídavý signál chová jako rozpojený obvod.

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu



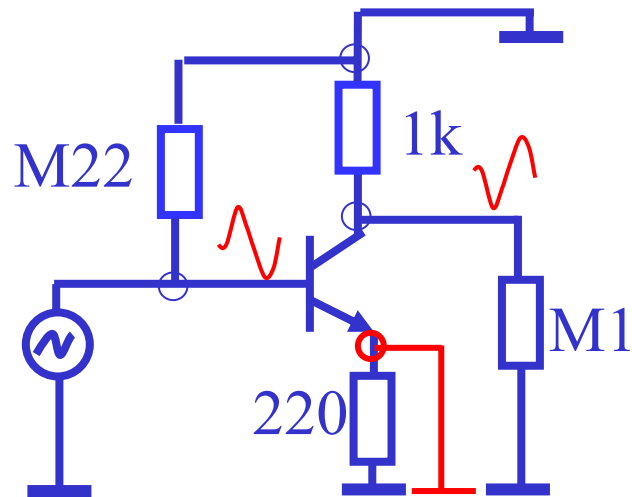
Jak to vidí střídavý signál na vstupu?

SS zdroj napětí se pro střídavý signál chová jako zkrat.

SS zdroj proudu se pro střídavý signál chová jako rozpojený obvod.

Kapacitor se pro uvažovanou frekvenci střídavého signálu chová jako zkrat.

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu



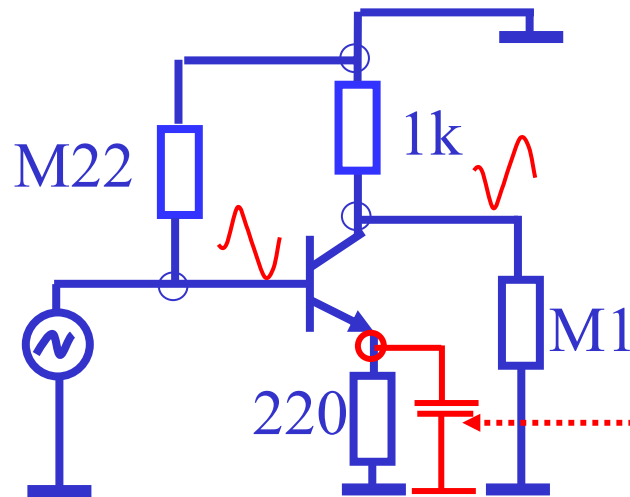
Jak to vidí střídavý signál na vstupu?

SS zdroj napětí se pro střídavý signál chová jako zkrat.

SS zdroj proudu se pro střídavý signál chová jako rozpojený obvod.

Kapacitor se pro uvažovanou frekvenci střídavého signálu chová jako zkrat.

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu

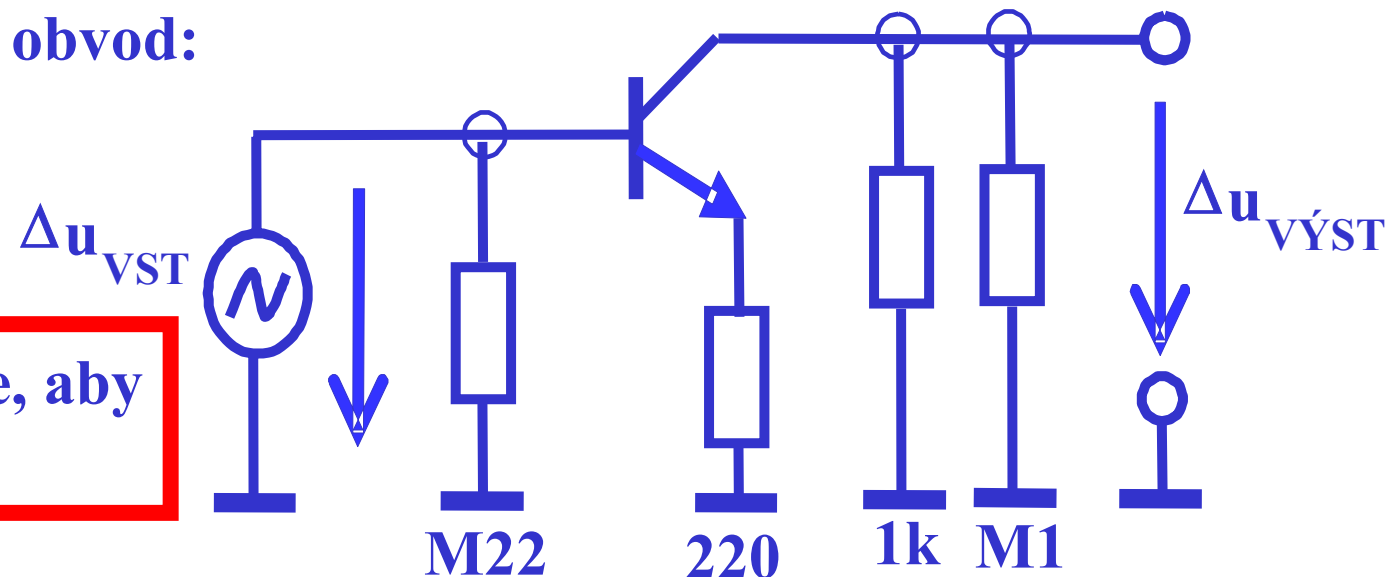


Jak to vidí střídavý signál na vstupu?

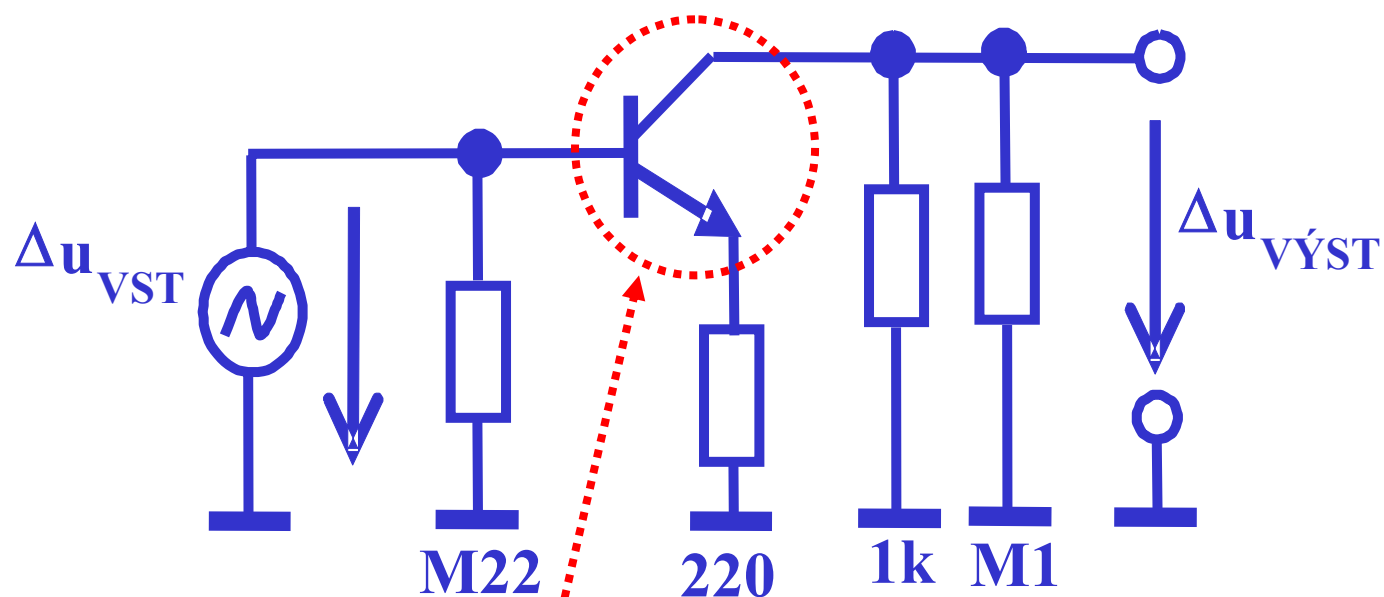
kapacitor zatím neuvažujeme

Náhradní obvod:

Potřebujeme, aby byl lineární!

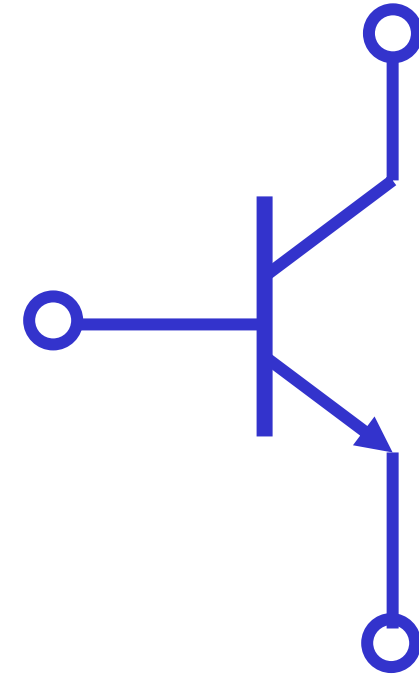
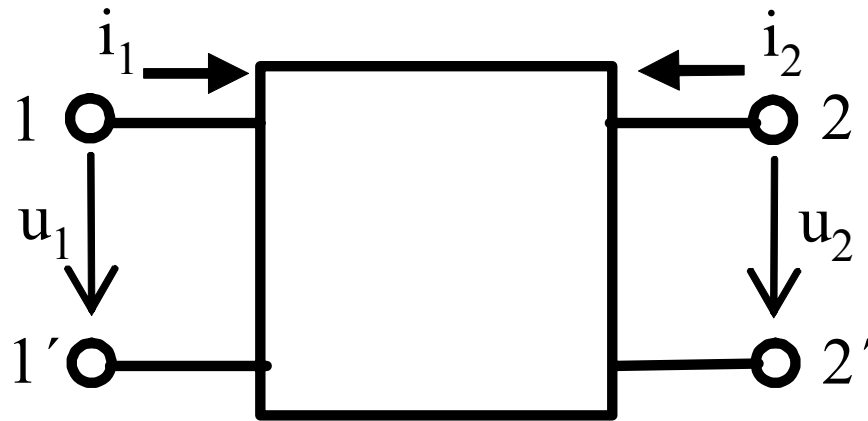


Bipolární tranzistor – náhradní obvod



Tranzistor je nutné nahradit lineárním obvodem, tzv. náhradním lineárním obvodem (NLO).

Bipolární tranzistor – NLO



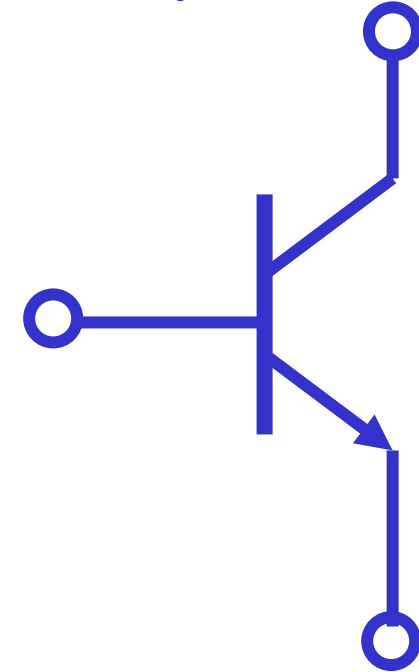
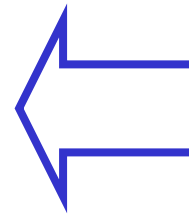
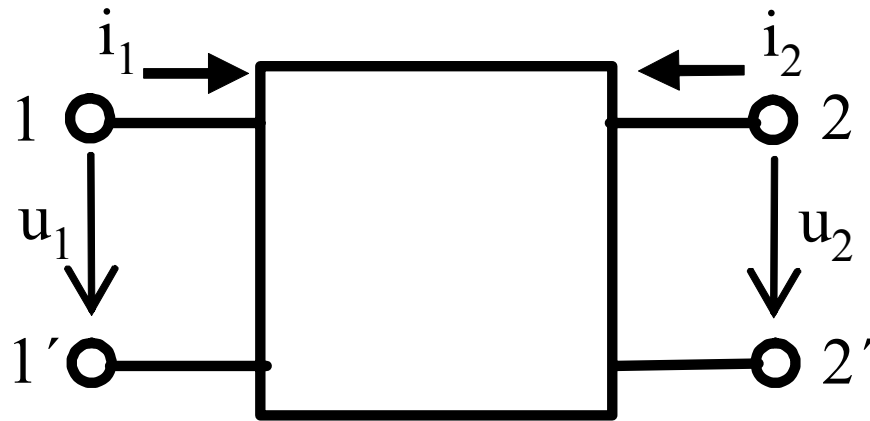
$$u_1 = h_1(i_1, u_2)$$

$$i_2 = h_2(i_1, u_2)$$

Hybridní (smíšené) parametry \underline{h}
výhodné pro popis BJT v nf oblasti

- vstup BJT pracuje obvykle naprázdno
- výstup BJT pracuje obvykle nakrátko
- dobře měřitelné na nízkých kmitočtech

Bipolární tranzistor – NLO pro změny obvodových veličin

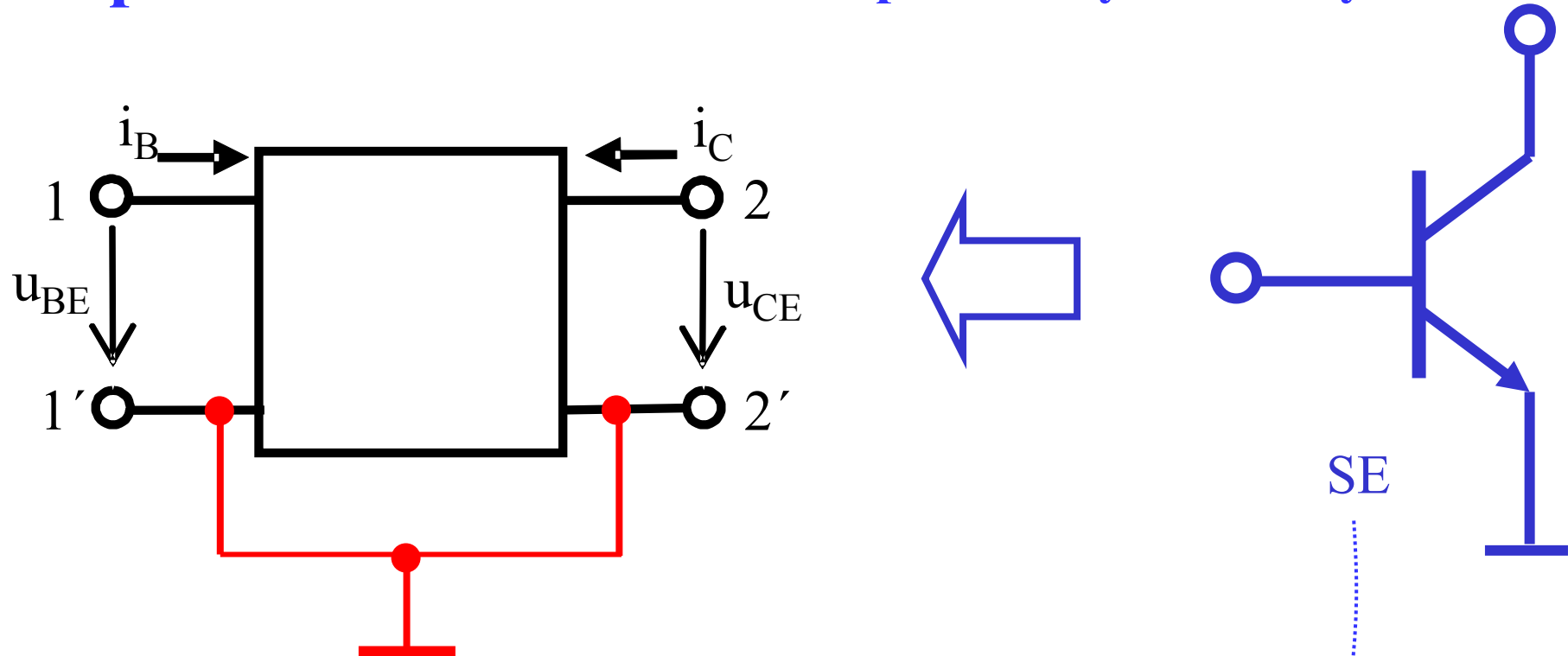


Hybridní charakteristické rovnice

$$\Delta u_1 = h_{11} \Delta i_1 + h_{12} \Delta u_2 \quad (1)$$

$$\Delta i_2 = h_{21} \Delta i_1 + h_{22} \Delta u_2 \quad (2)$$

Bipolární tranzistor – NLO pro změny obvodových veličin



Hybridní charakteristické rovnice

$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1)$$

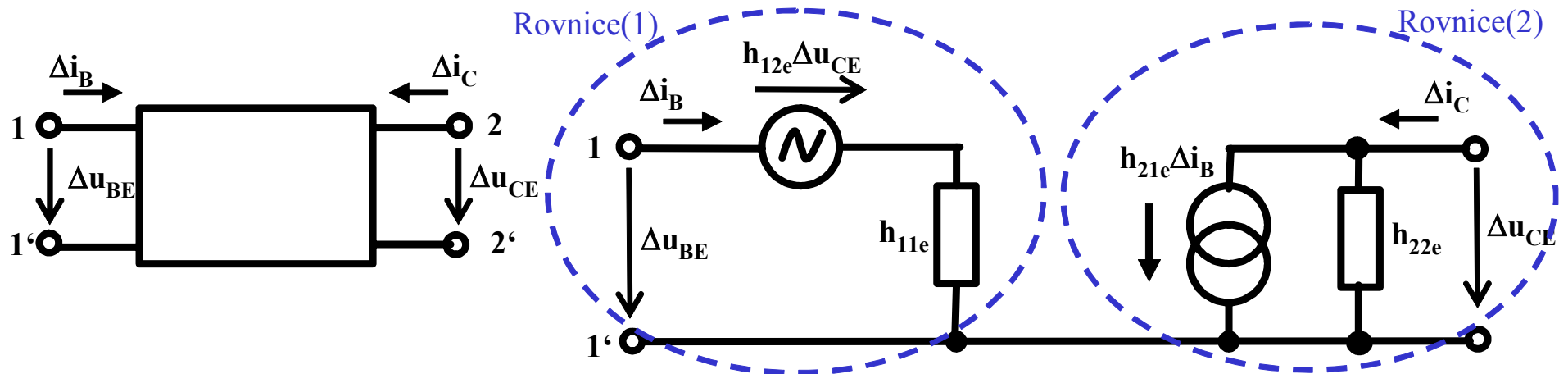
$$\Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

Bipolární tranzistor – NLO pro změny obvodových veličin

Hybridní charakteristické rovnice

$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1)$$

$$\Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

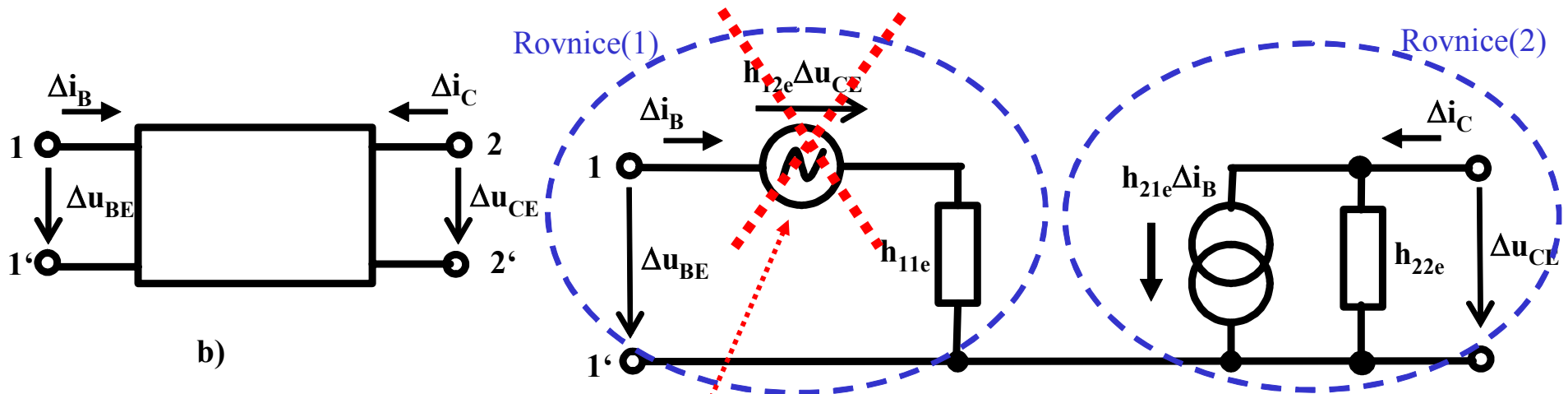


Bipolární tranzistor – NLO pro změny obvodových veličin

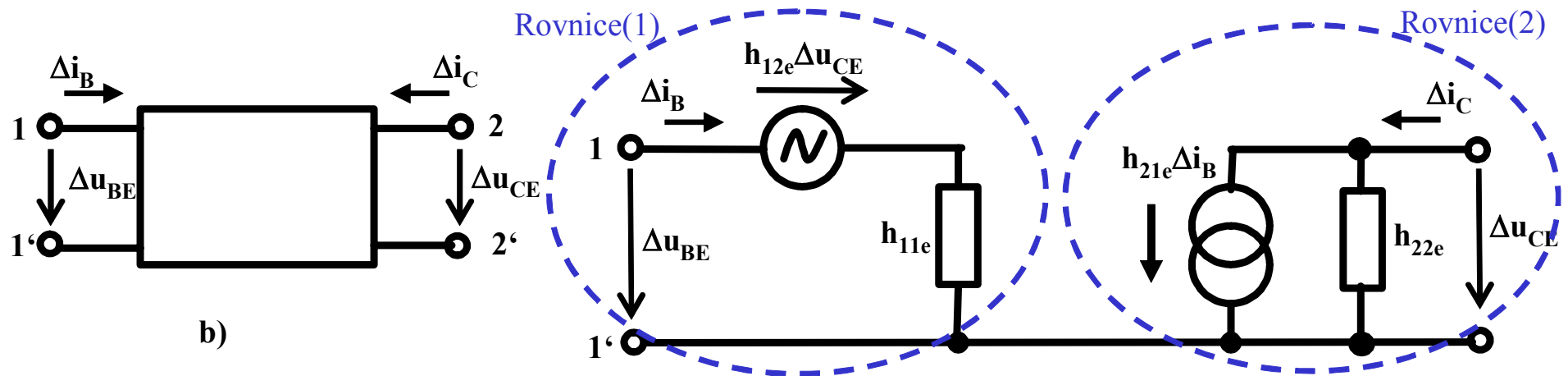
Hybridní charakteristické rovnice

$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1)$$

$$\Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$



Bipolární tranzistor – parametry NLO



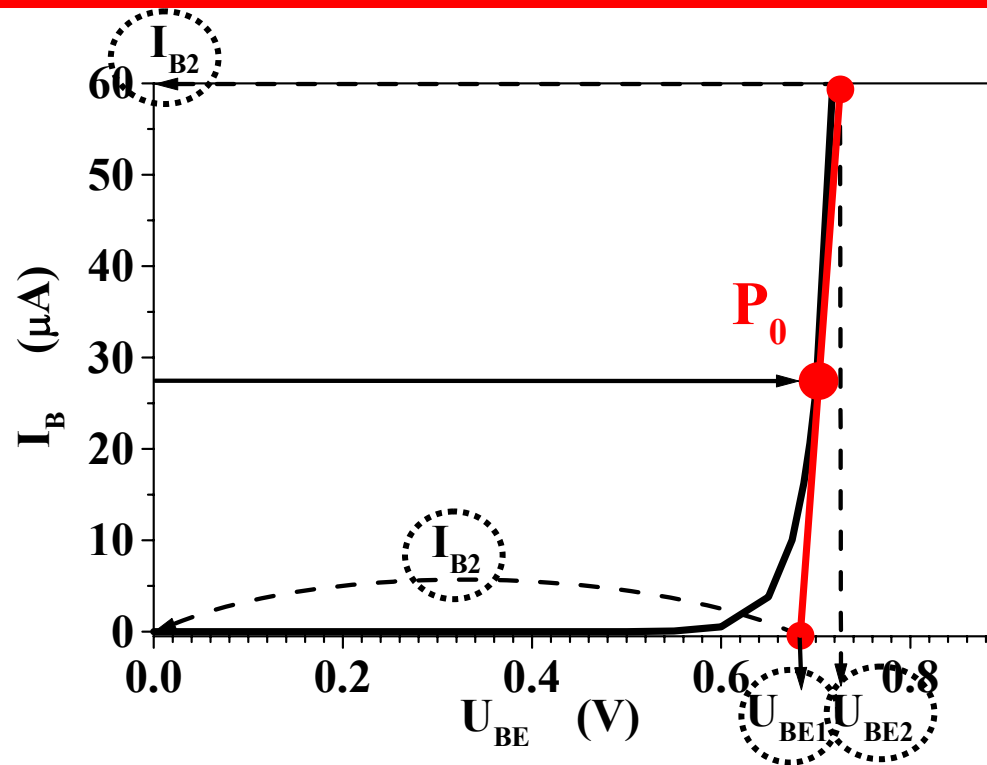
$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1) \quad \Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

$$h_{11e} = \left(\frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right)_{\Delta u_{CE}=0}^{P_0}$$

Vstupní diferenciální odpor při výstupu nakrátko ($\Delta u_{CE} = 0$), tj. při konstantním výstupním napětí. Má rozměr odporu (Ω).

Bipolární tranzistor – parametry NLO

Vstupní diferenciální odpor při výstupu nakrátko ($\Delta u_{CE} = 0$), tj. při konstantním výstupním napětí. Má rozměr odporu (Ω).



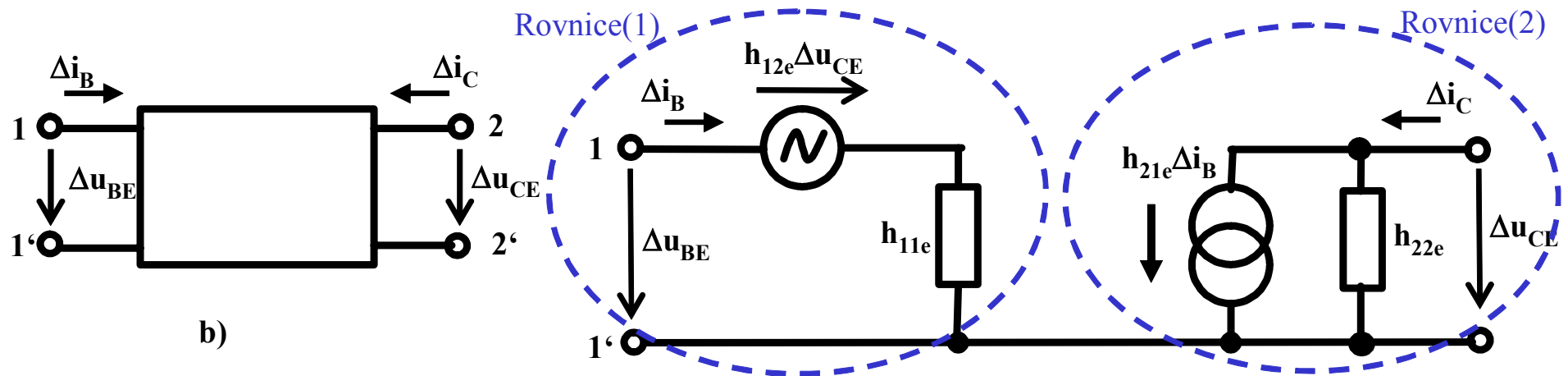
$$h_{11e} = \left(\frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right)_{P_0}^{\Delta u_{CE}=0} = \frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{I_{B1} - I_{B2}} = \frac{0,68 - 0,72}{0 - 60 \cdot 10^{-6}} = 666 \Omega$$

Bipolární tranzistor – parametry NLO

$$h_{11e} \sim 1000 \Omega$$

$$h_{11e} = \left(\frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right)_{P_0}^{\Delta u_{CE}=0} = \frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{I_{B1} - I_{B2}} = \frac{0,68 - 0,72}{0 - 60 \cdot 10^{-6}} = 666 \Omega$$

Bipolární tranzistor – parametry NLO



$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1) \quad \Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

$$h_{12e} = \left(\frac{\Delta u_{BE}}{\Delta u_{CE}} \right)_{\Delta i_B = 0}^{P_0}$$

Zpětný diferenciální přenos napětí při vstupu naprázdno ($\Delta i_B = 0$), tj. při konstantním vstupním proudu. Je bezrozměrný. $\sim 10^{-4}$

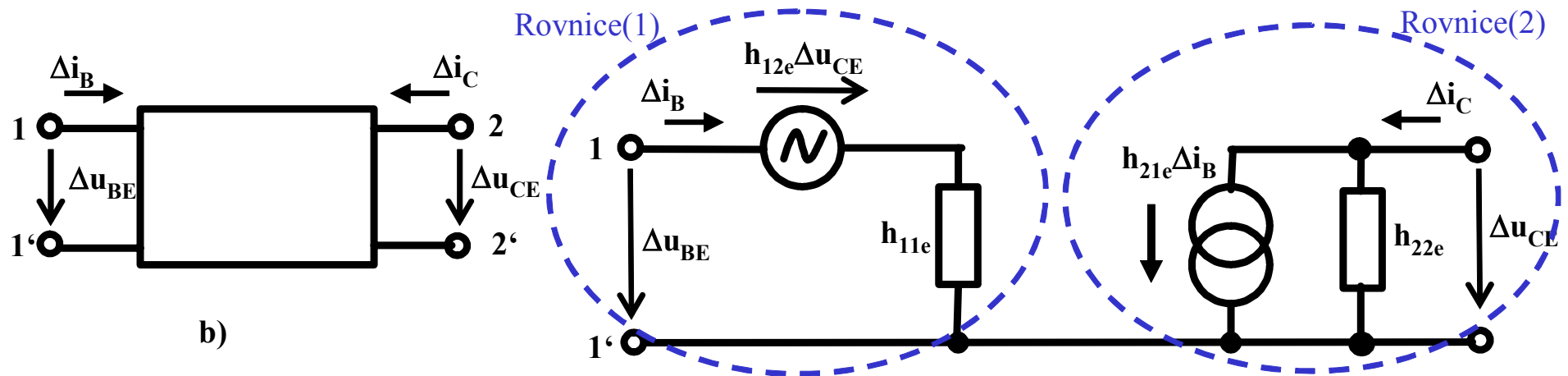
Bipolární tranzistor – parametry NLO

Zpětný diferenciální přenos napětí při vstupu naprázdno ($\Delta i_B = 0$), tj. při konstantním vstupním proudu. Je bezrozměrný. $\sim 10^{-4}$

**Nabývá příliš malých hodnot v řádu 10^{-4}
a není možné jej odečíst v měřítku
dostupných charakteristik.**

**Pro všechny námi odvozené vzorce ho můžeme
v náhradních obvodech zanedbat.**

Bipolární tranzistor – parametry NLO



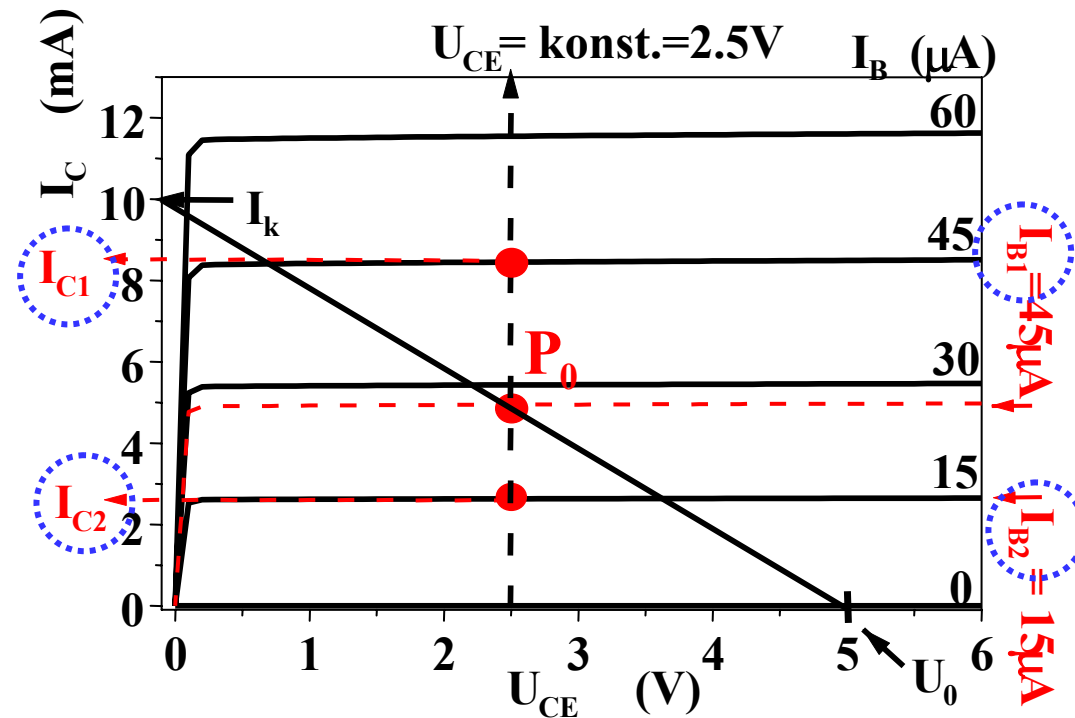
$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1) \quad \Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

$$h_{21e} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right)_{\Delta u_{CE}=0, P_0}$$

Proudový diferenciální přenos při výstupu nakrátko (konst. výst. napětí). Obvykle se nazývá **proudový zesilovací činitel**. Bezrozměrný.

Bipolární tranzistor – parametry NLO

Proudový diferenciální přenos při výstupu nakrátko (konst. výst. napětí). Obvykle se nazývá **proudový zesilovací činitel**. Bezrozměrný.



$$h_{21e} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right)_{P_0}^{\Delta u_{CE}=0} = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{I_{B1} - I_{B2}} = \frac{(8,5 - 2,6) \cdot 10^{-3}}{(45 - 15) \cdot 10^{-6}} = 197.$$

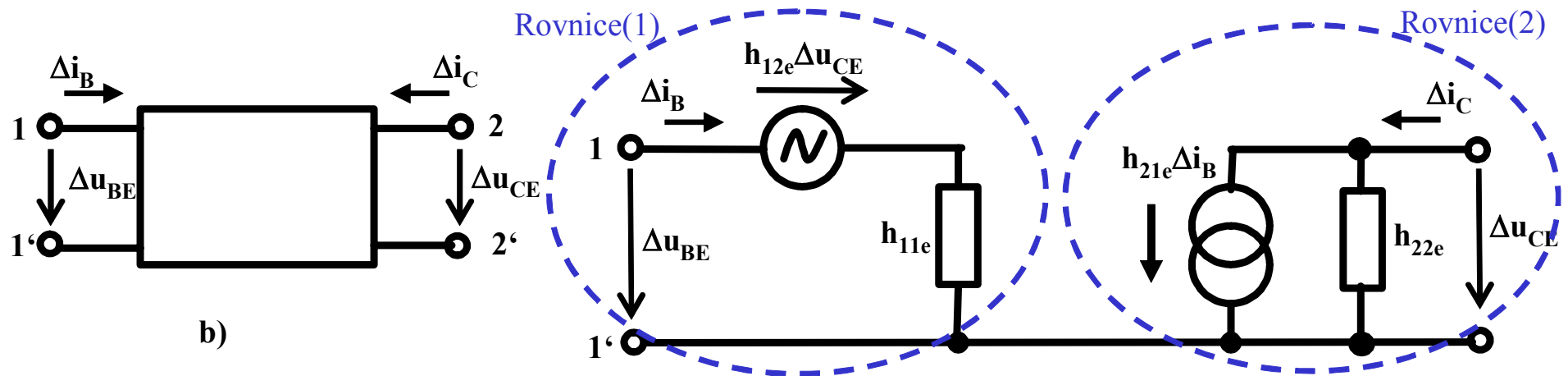
Bipolární tranzistor – parametry NLO

Proudový diferenciální přenos při výstupu nakrátko (konst. výst. napětí). Obvykle se nazývá **proudový zesilovací činitel**. Bezrozměrný.

$$h_{21e} \sim 100$$

$$h_{21e} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right)_{P_0}^{\Delta u_{CE}=0} = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{I_{B1} - I_{B2}} = \frac{(8,5 - 2,6) \cdot 10^{-3}}{(45 - 15) \cdot 10^{-6}} = 197.$$

Bipolární tranzistor – parametry NLO



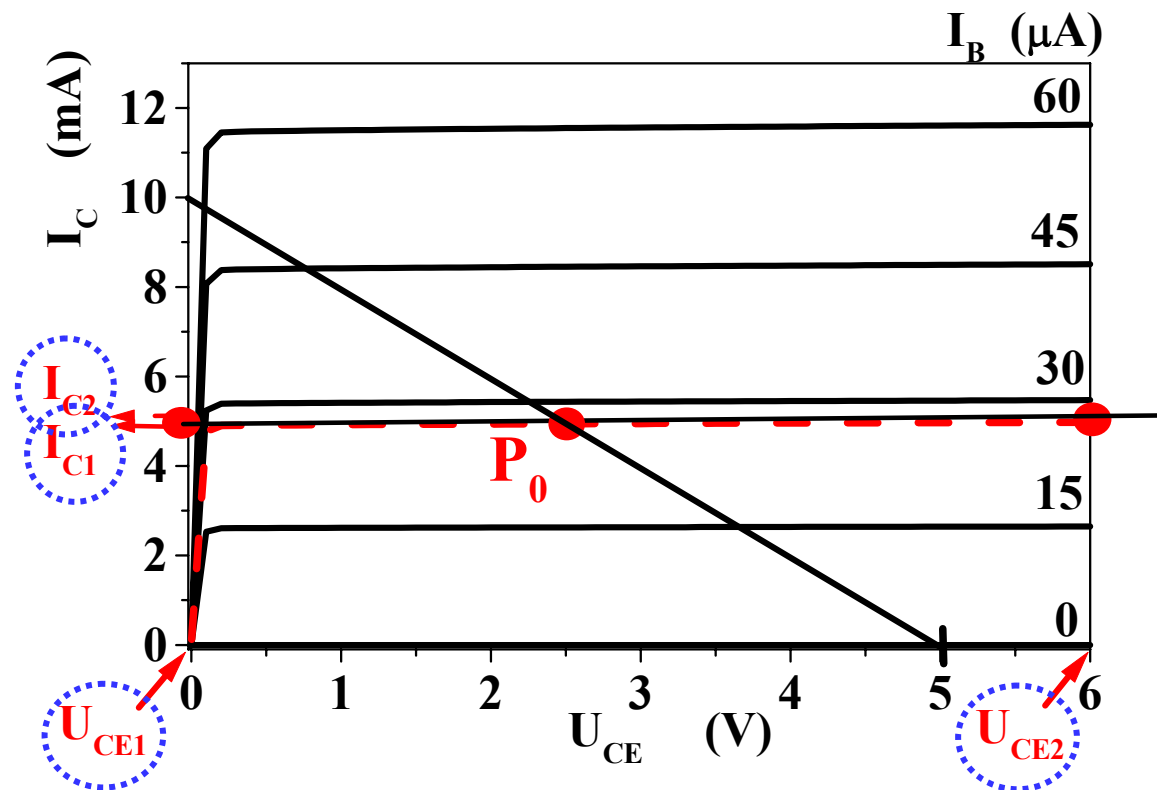
$$\Delta u_{BE} = h_{11e} \Delta i_B + h_{12e} \Delta u_{CE} \quad (1) \quad \Delta i_C = h_{21e} \Delta i_B + h_{22e} \Delta u_{CE} \quad (2)$$

$$h_{22e} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}} \right)_{P_0}^{\Delta i_B = 0}$$

Výstupní diferenciální vodivost při vstupu naprázdno ($\Delta i_B = 0$), tj. při konstantním vstupním proudu. Má rozměr vodivosti (S).

Bipolární tranzistor – parametry NLO

Výstupní diferenciální vodivost při vstupu naprázdno ($\Delta i_B = 0$), tj. při konstantním vstupním proudu. Má rozměr vodivosti (S).



$$h_{22} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}} \right)_{P_0}^{\Delta i_B = 0} = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{U_{CE1} - U_{CE2}} = \frac{4,9 - 5.2}{0 - 6} = 50 \mu S$$

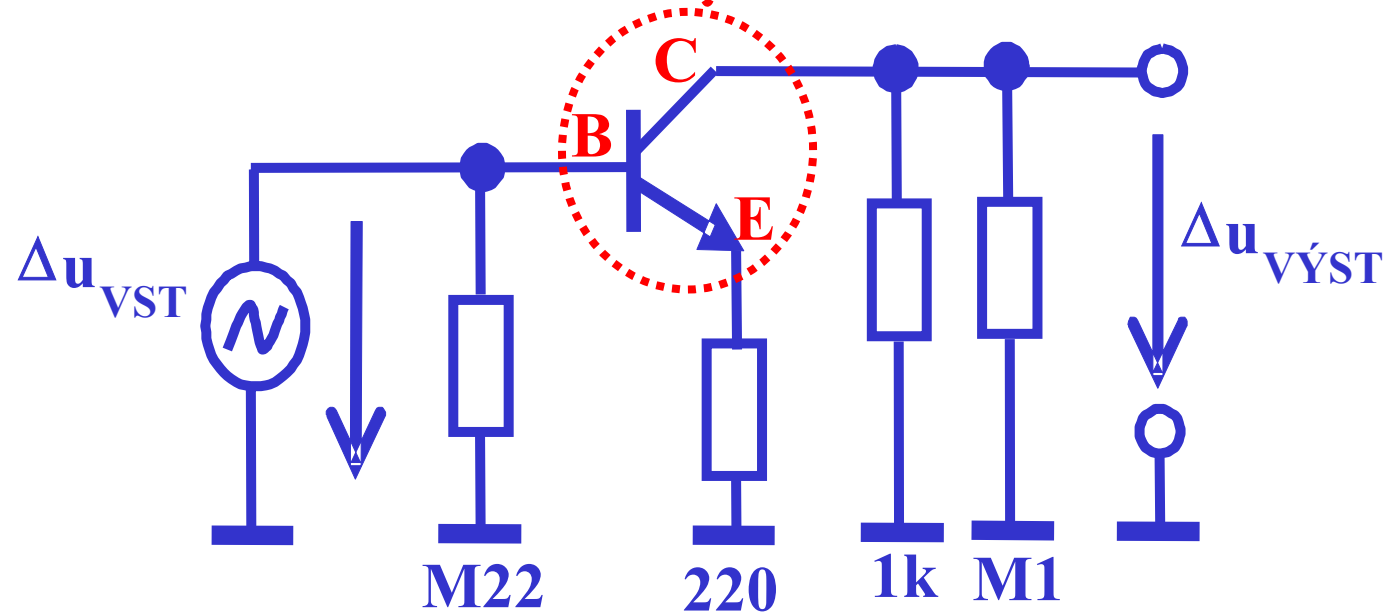
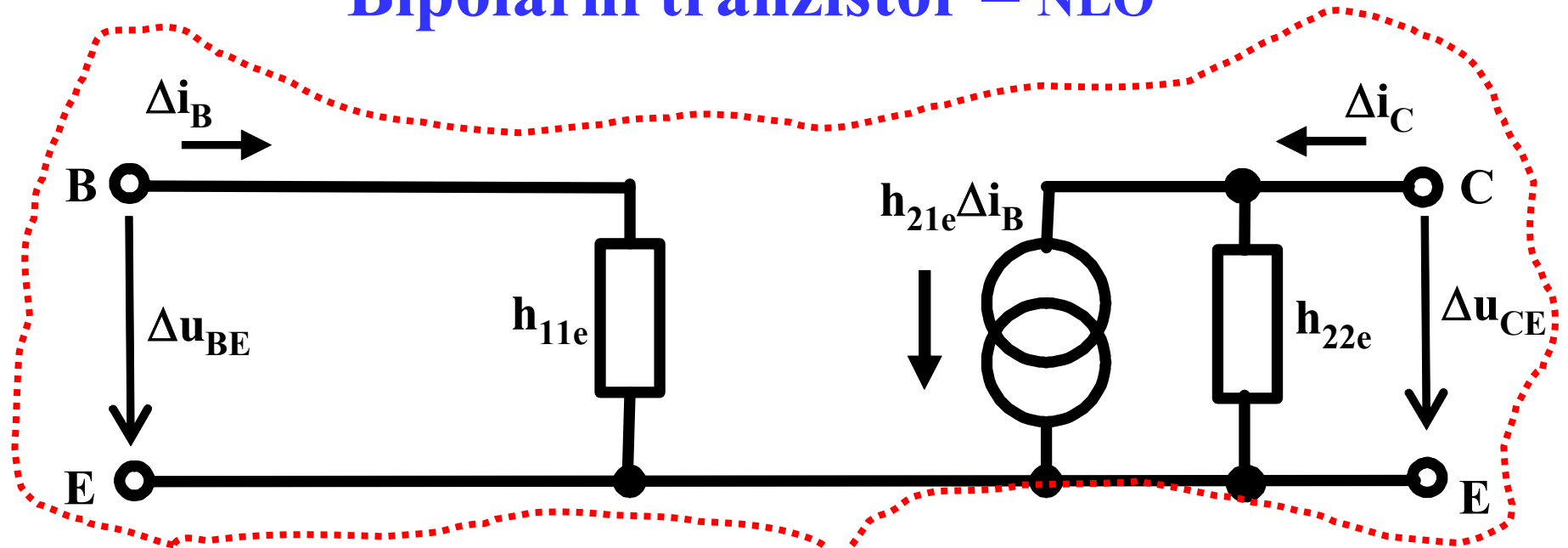
Bipolární tranzistor – parametry NLO

Výstupní diferenciální vodivost při vstupu naprázdno ($\Delta i_B = 0$), tj. při konstantním vstupním proudu. Má rozměr vodivosti (S).

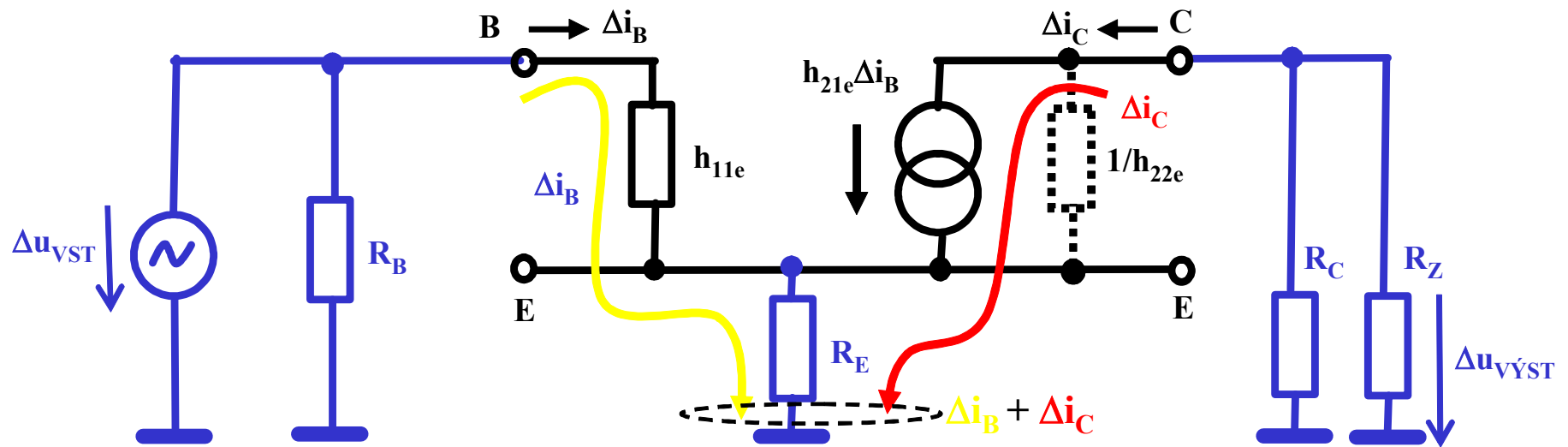
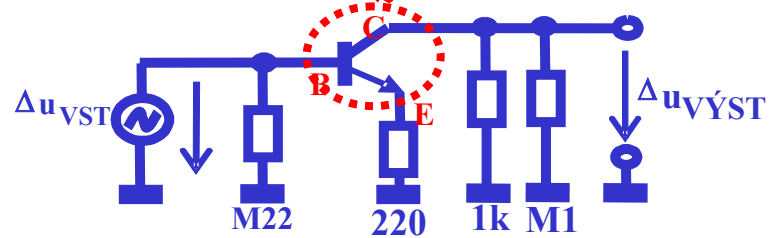
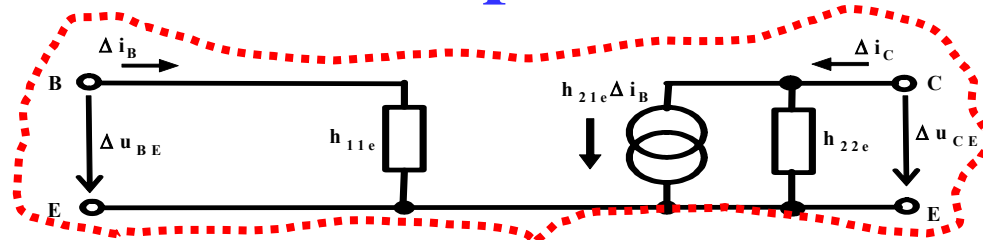
$$1/h_{22e} \sim 10 \div 50 \text{ k}\Omega$$

$$h_{22} = \left(\frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}} \right)_{P_0}^{\Delta i_B = 0} = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{U_{CE1} - U_{CE2}} = \frac{4,9 - 5,2}{0 - 6} = 50 \mu S$$

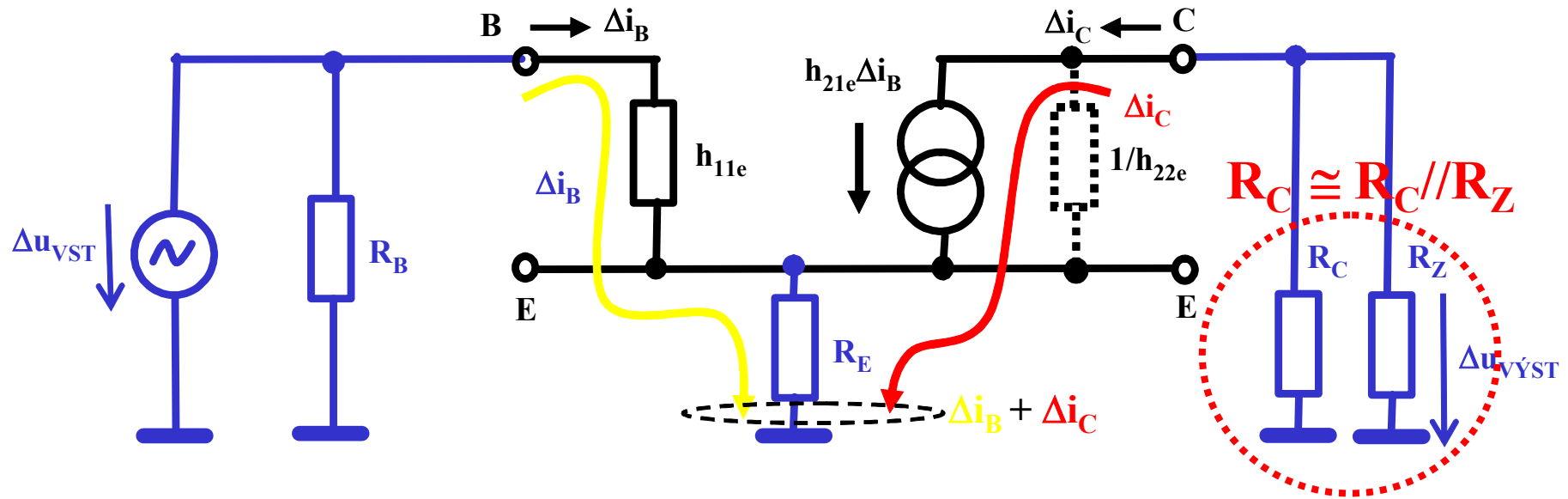
Bipolární tranzistor – NLO



Bipolární tranzistor – NLO



Bipolární tranzistor – NLO



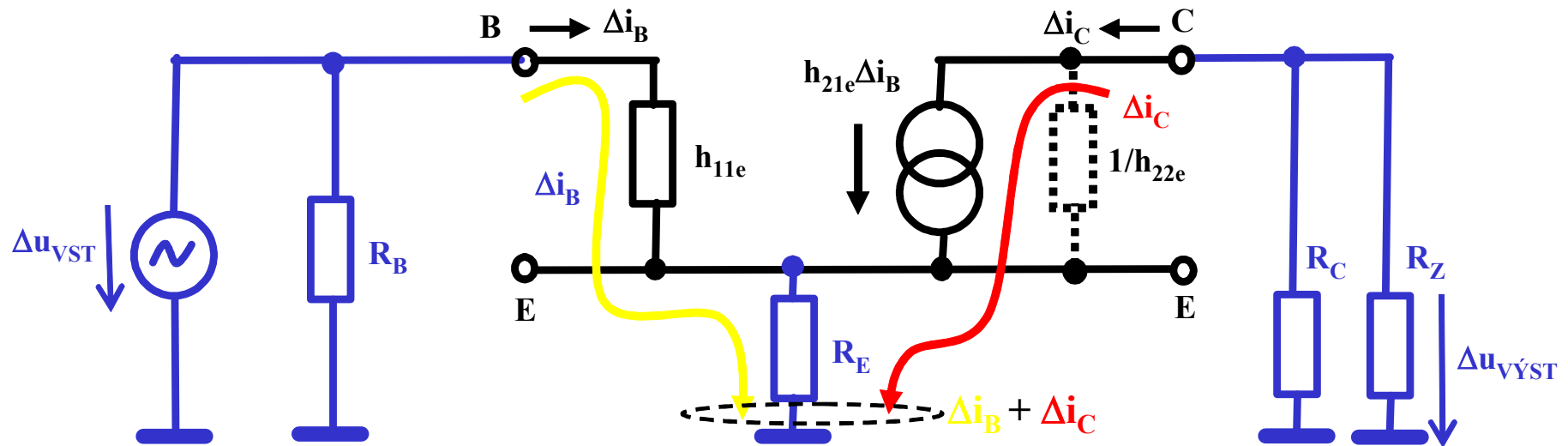
$$\Delta u_{VYST} = -h_{21e} \cdot \cancel{\Delta i_B} \cdot R_C$$

$h_{11e} \cdot \Delta i_B$	$\Delta i_B + h_{21e} \cdot \Delta i_B$	h_{11e}	$1 + h_{21e}$	\times
----------------------------	-----------------------------------------	-----------	---------------	----------

$$A_u = \frac{\Delta u_{VYST}}{\Delta u_{VST}} = -\frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e} + R_E \cdot (h_{21e} + 1)}, \quad \text{pro } h_{11e} \ll R_E \cdot (h_{21e} + 1): \quad A_u = \frac{\Delta u_{VYST}}{\Delta u_{VST}} = -\frac{R_C}{R_E}$$

$$R_{VST} = \Delta u_{VST} / \Delta i_B = h_{11e} + R_E (1 + h_{21e}) \quad // \quad R_B$$

Bipolární tranzistor – NLO



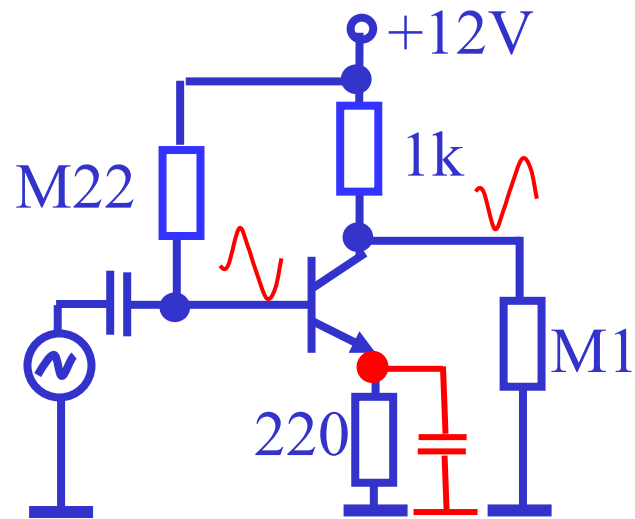
$$A_u = \frac{\Delta u_{VYST}}{\Delta u_{VST}} = - \frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e} + R_E \cdot (h_{21e} + 1)}, \quad \text{pro } h_{11e} \ll R_E \cdot (h_{21e} + 1): A_u = \frac{\Delta u_{VYST}}{\Delta u_{VST}} = - \frac{R_C}{R_E}$$

pro $h_{11e} \gg R_E \cdot (h_{21e} + 1)$ a $R_E = 0$:

$$A_u = \frac{\Delta u_{VYST}}{\Delta u_{VST}} = - \frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e}} \quad A_u = - \frac{\frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}}{\frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B}} \cdot R_C = - y_{21e} \cdot R_C$$

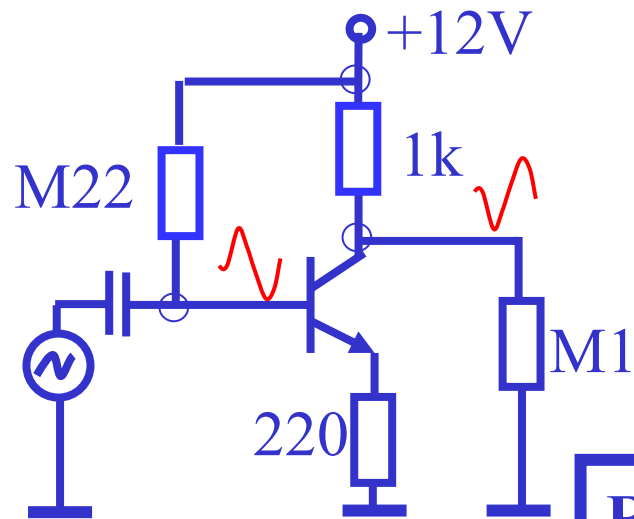
strmost (mA/V)
 ↙

Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu



$$A_u = -\frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e}} = -y_{21e} \cdot R_C$$

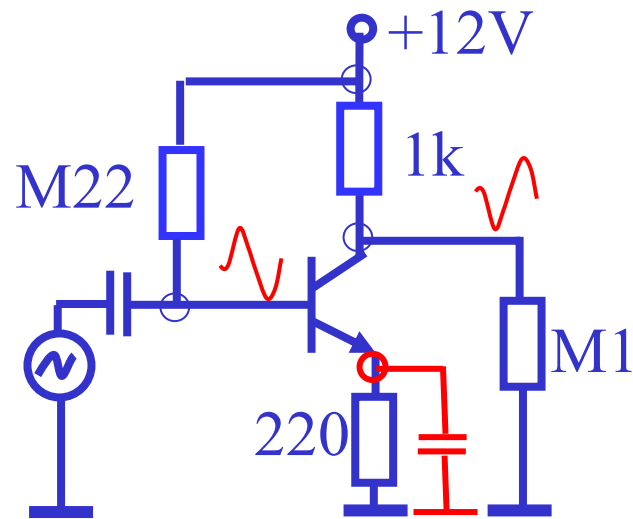
$$R_{VST} = \Delta u_{VST} / \Delta i_B = h_{11e} // R_B$$



$$A_u = -\frac{R_C}{R_E}$$

$$R_{VST} = \Delta u_{VST} / \Delta i_B = [h_{11e} + R_E (1 + h_{21e})] // R_B$$

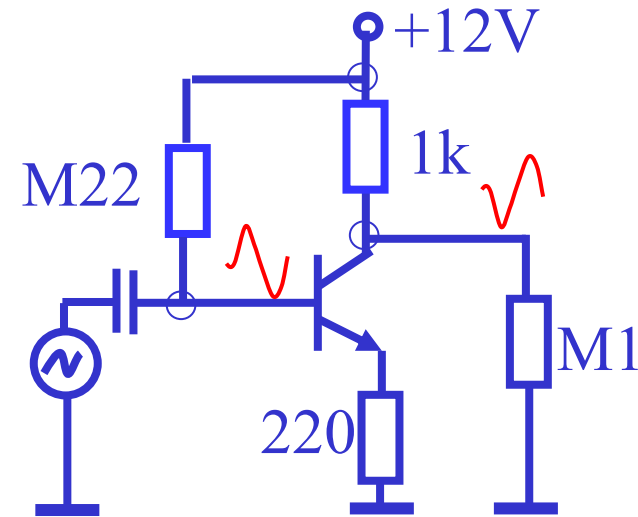
Bipolární tranzistor – zesilovač malého signálu



$$A_u = -\frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e}} = -y_{21e} \cdot R_C$$

velké zesílení (stovky)

ale závislé na parametrech
tranzistoru v daném prac. bodě

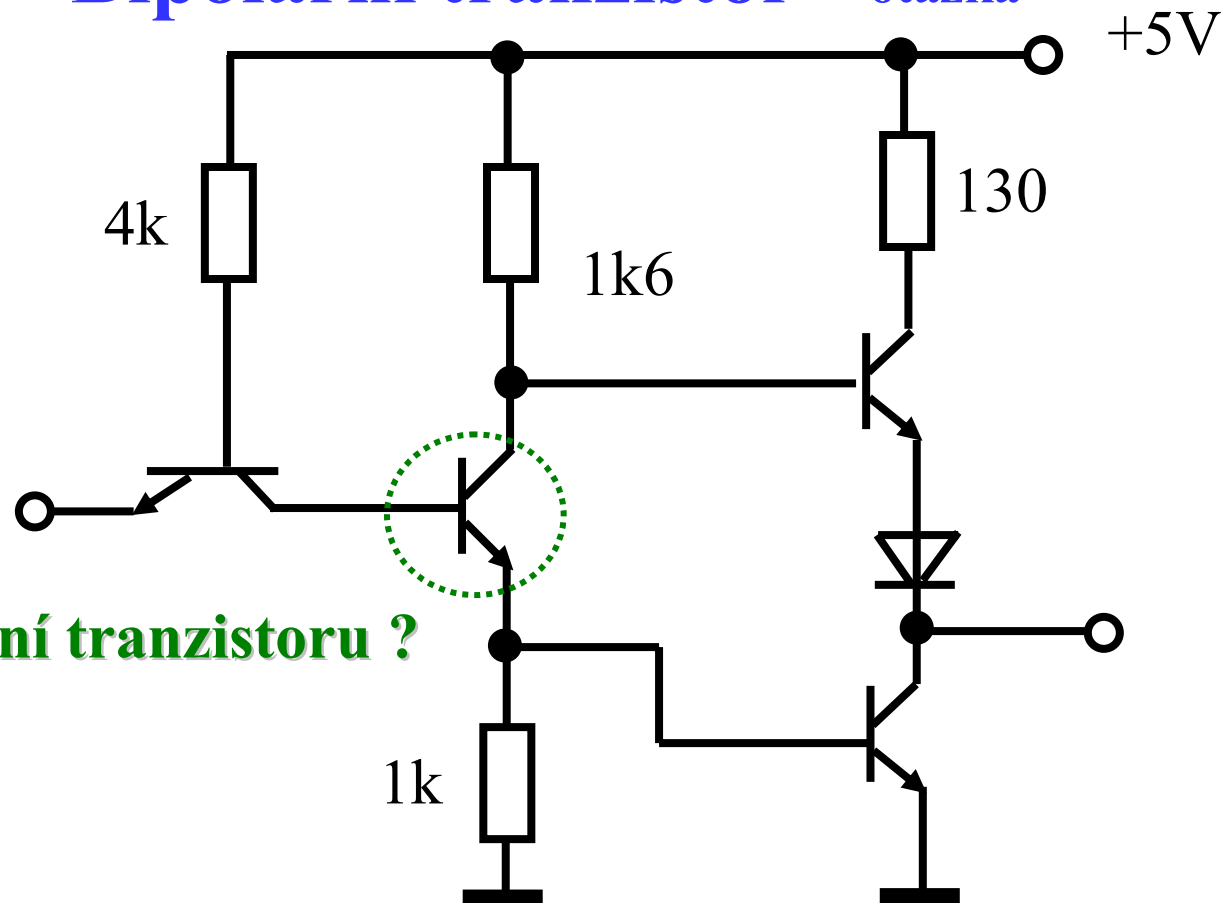


$$A_u = -\frac{R_C}{R_E}$$

malé zesílení (jednotky)
(záporná zpětná vazba)

nezávislé na parametrech
tranzistoru v daném prac. bodě

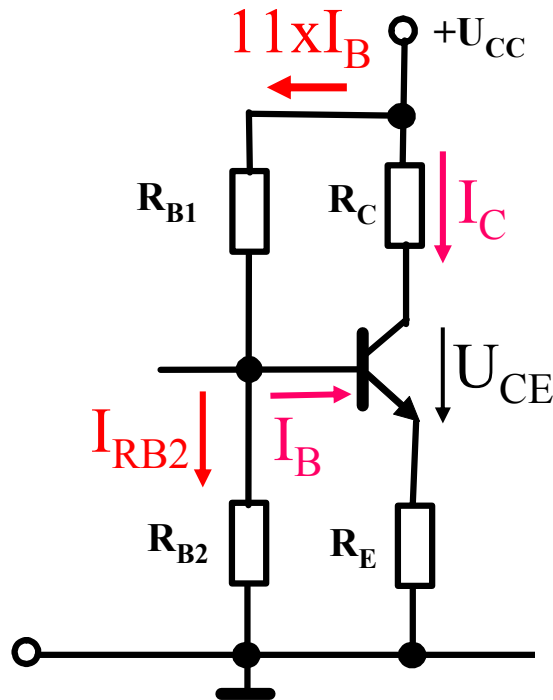
Bipolární tranzistor - otázka



Jaké je zesílení tranzistoru ?

$$A_u = -\frac{R_C}{R_E} = -1.6$$

Bipolární tranzistor – nastavení pracovního bodu



Příklad: zesilovač malého signálu ve třídě A
 $U_{CC}=12\text{V}$, $R_C = 1\text{k}$, $R_E = 220$, $h_{21e} = 100$

$$U_{CE} = U_{CC} / 2 = 6 \text{ V}$$

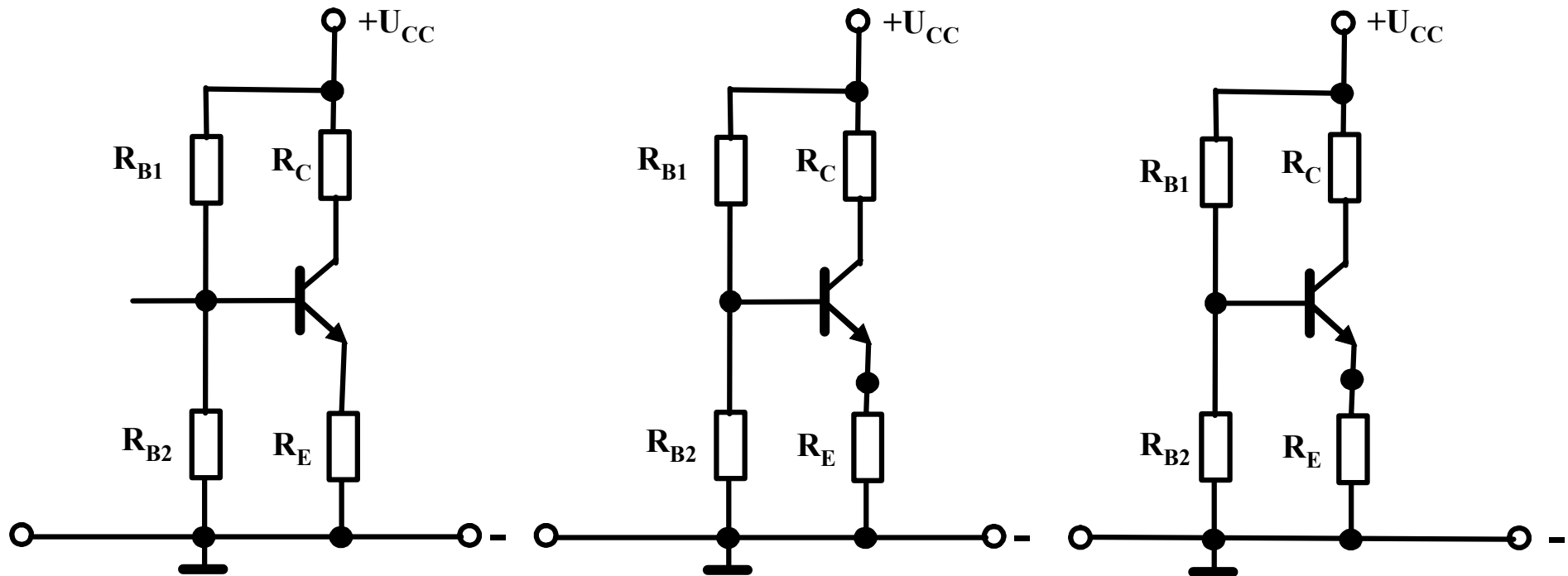
$$I_C = (U_{CC} - U_{CE}) / (R_C + R_E) = 6 / 1220 \approx 5 \text{ mA}$$
$$I_B = I_C / h_{21e} = 0.005 / 100 = 50 \mu\text{A}$$
$$U_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

Napět'ový dělič R_{B1} - R_{B2} musí být tvrdý \Rightarrow stabilní pracovní bod:
Podmínka: $I_{RB2} \gg I_B \Leftrightarrow I_{RB2} \geq 10 I_B$, volíme $I_{RB2} = 500 \mu\text{A}$

$$R_{B2} = U_{RB2} / I_{RB2} = (U_{BE} + R_E \cdot I_E) / I_{RB2} = (0.7 + 220 \times 0.005) / 5 \cdot 10^{-5} = 36 \text{ k}\Omega$$

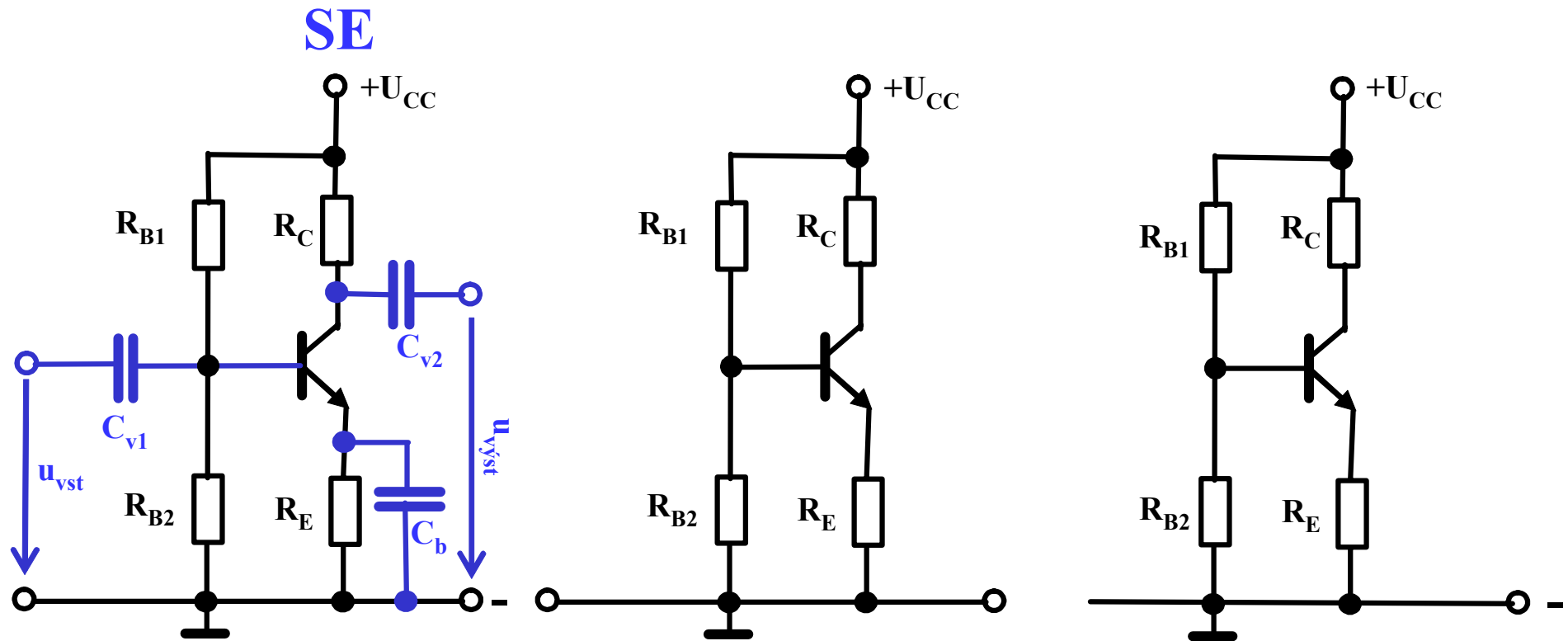
$$R_{B1} = U_{RB1} / (11 \cdot I_B) = (U_{CC} - U_{BE} - R_E \cdot I_E) / 11 \cdot I_B = (12 - 0.7 - 1.1) / 550 \cdot 10^{-6} \approx 19 \text{ k}\Omega$$

Bipolární tranzistor



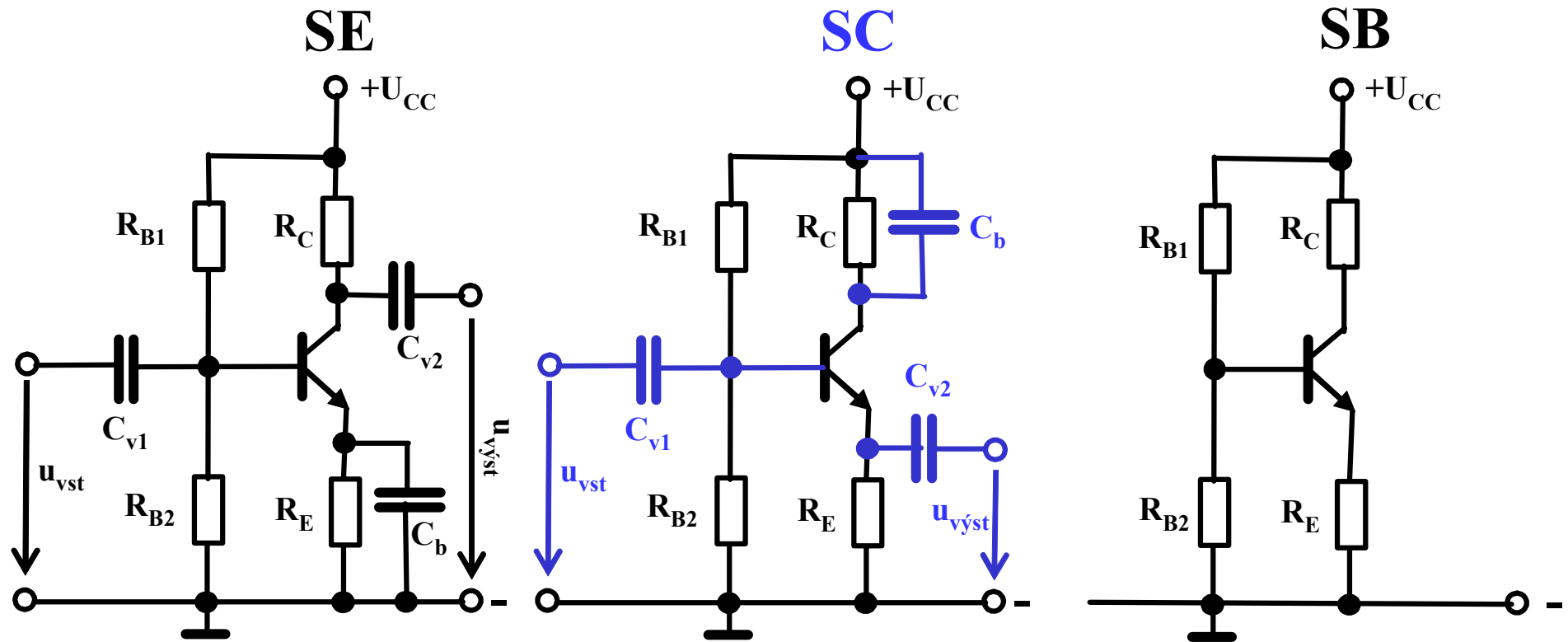
SS pracovní bod nastaven shodně ve třídě A pro všechna zapojení.

Bipolární tranzistor



Vstup do báze, výstup z kolektrou
⇒ zapojení se společným emitorem

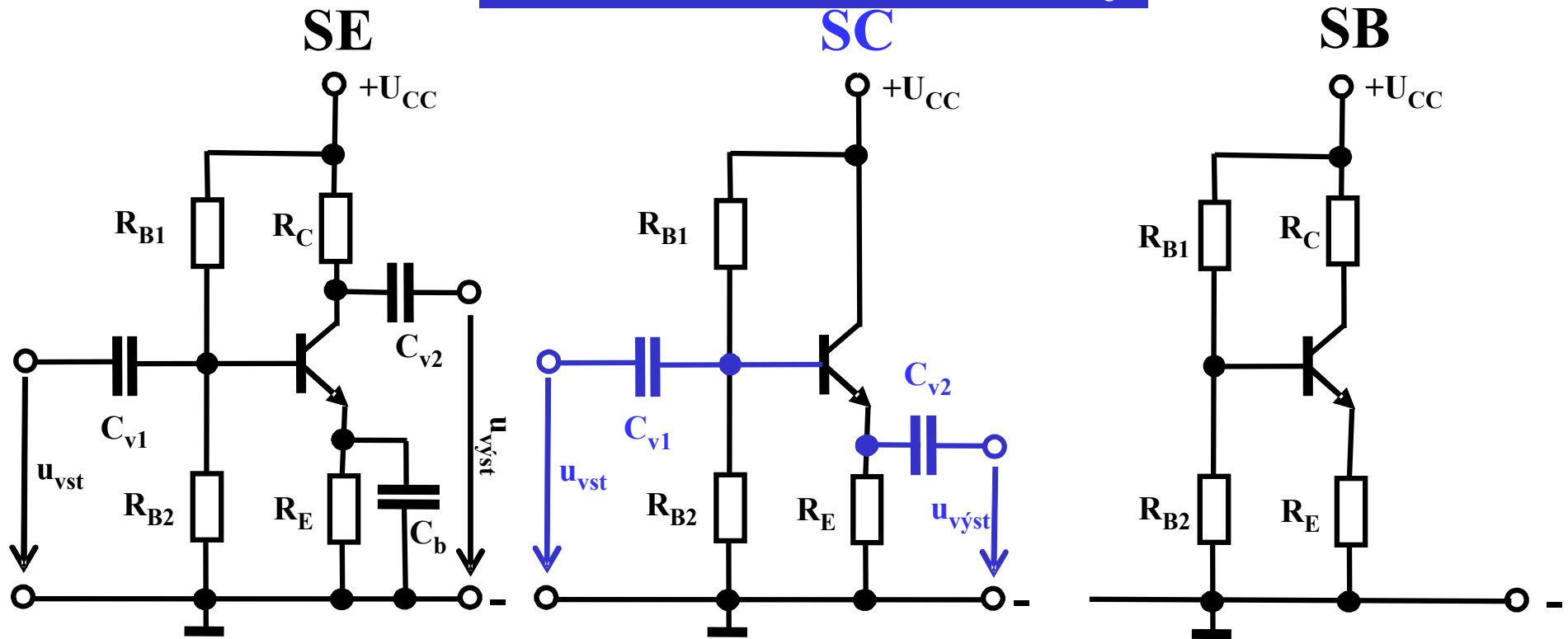
Bipolární tranzistor



Vstup do báze, výstup z emitoru
 \Rightarrow zapojení se společným kolektorem

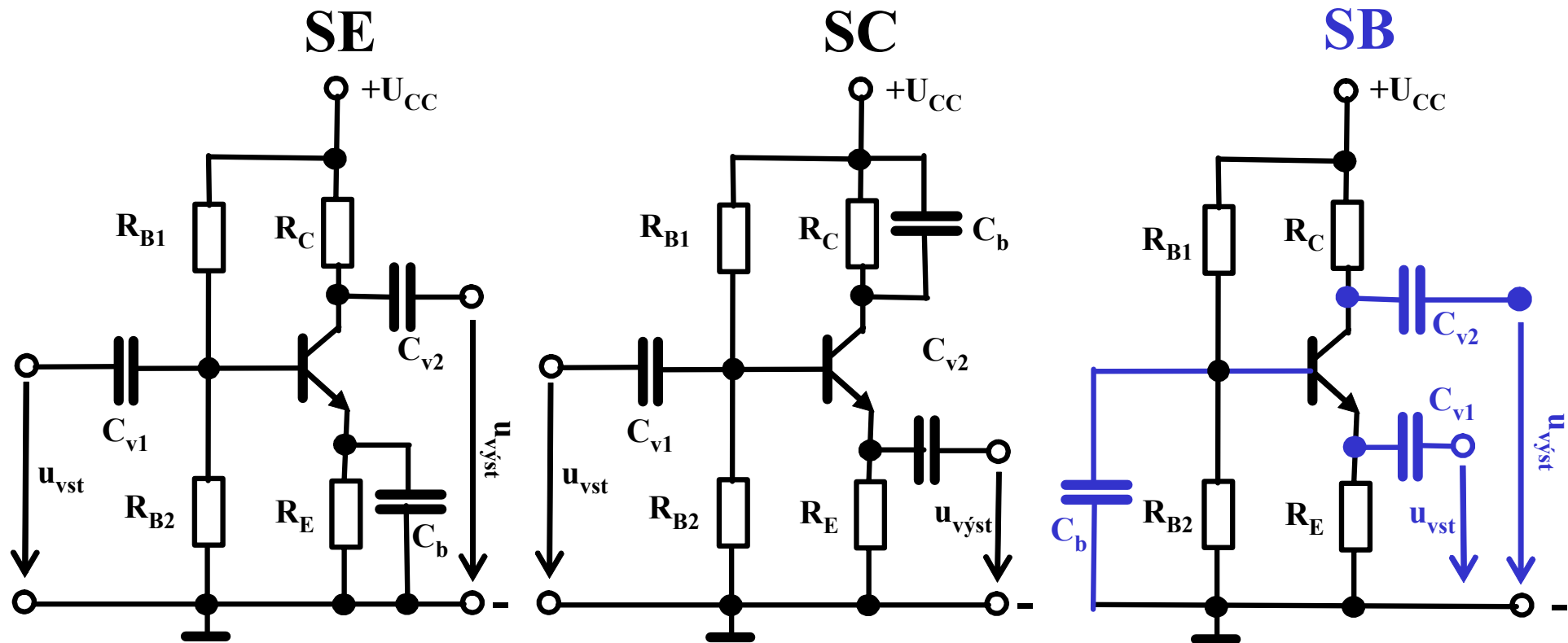
Bipolární tranzistor

typická konfigurace je bez C_b



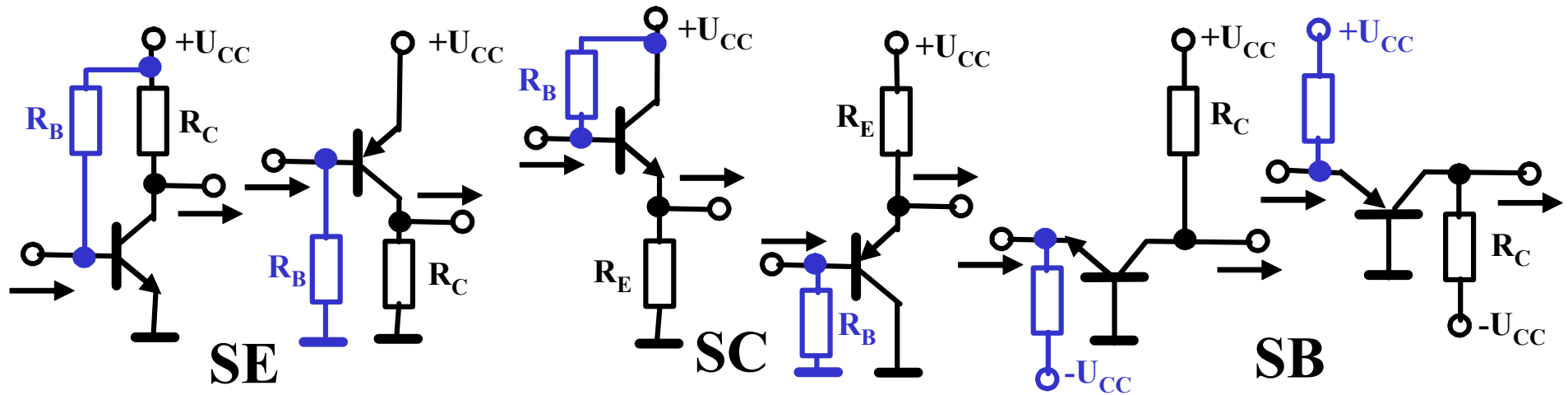
Vstup do báze, výstup z emitoru
 \Rightarrow zapojení se společným kolektorem

Bipolární tranzistor



Vstup do emitoru, výstup z kolektoru
⇒ zapojení se společnou bází

Bipolární tranzistor



$$A_u = -\frac{h_{21e} \cdot R_C}{h_{11e}} = -y_{21e} \cdot R_C$$

$$A_u < 1$$

$$A_u = \frac{h_{21b} \cdot R_C}{h_{11b}} = y_{21b} \cdot R_C$$

$$R_{VST} = h_{11e} // R_B$$

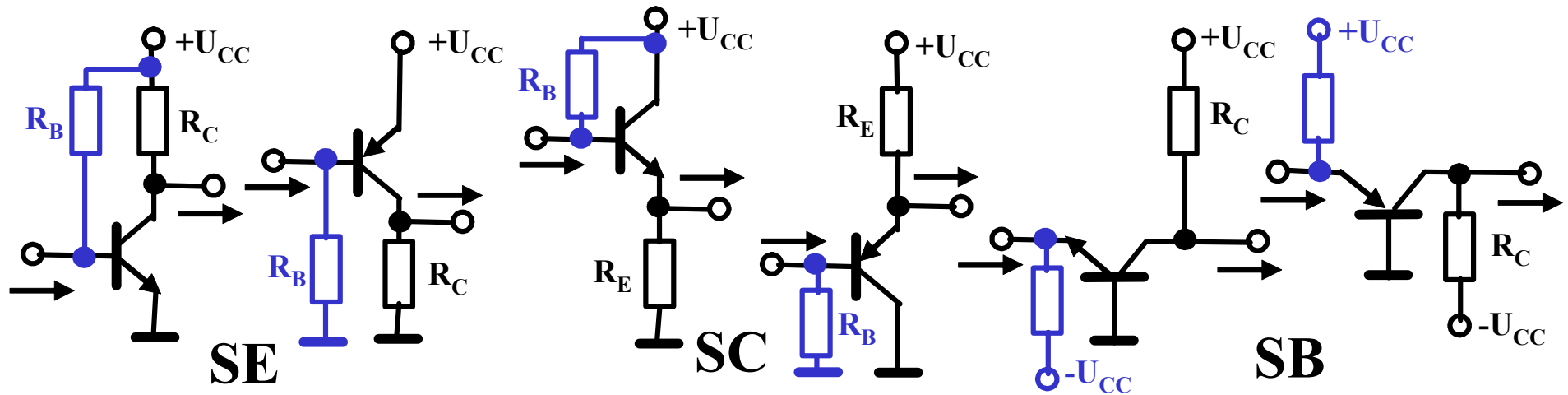
$$R_{VST} = [h_{11e} + R_E(1 + h_{21e})] // R_B$$

Invertor

Sledovač

Zesilovač SB

Bipolární tranzistor



Invertor

Velké A_u



Velké A_i



Střední R_{VST}

Střední R_{VYST}

Sledovač



Velké A_i



Velký R_{VST}



Malý R_{VYST}



Zesilovač

Velké A_u



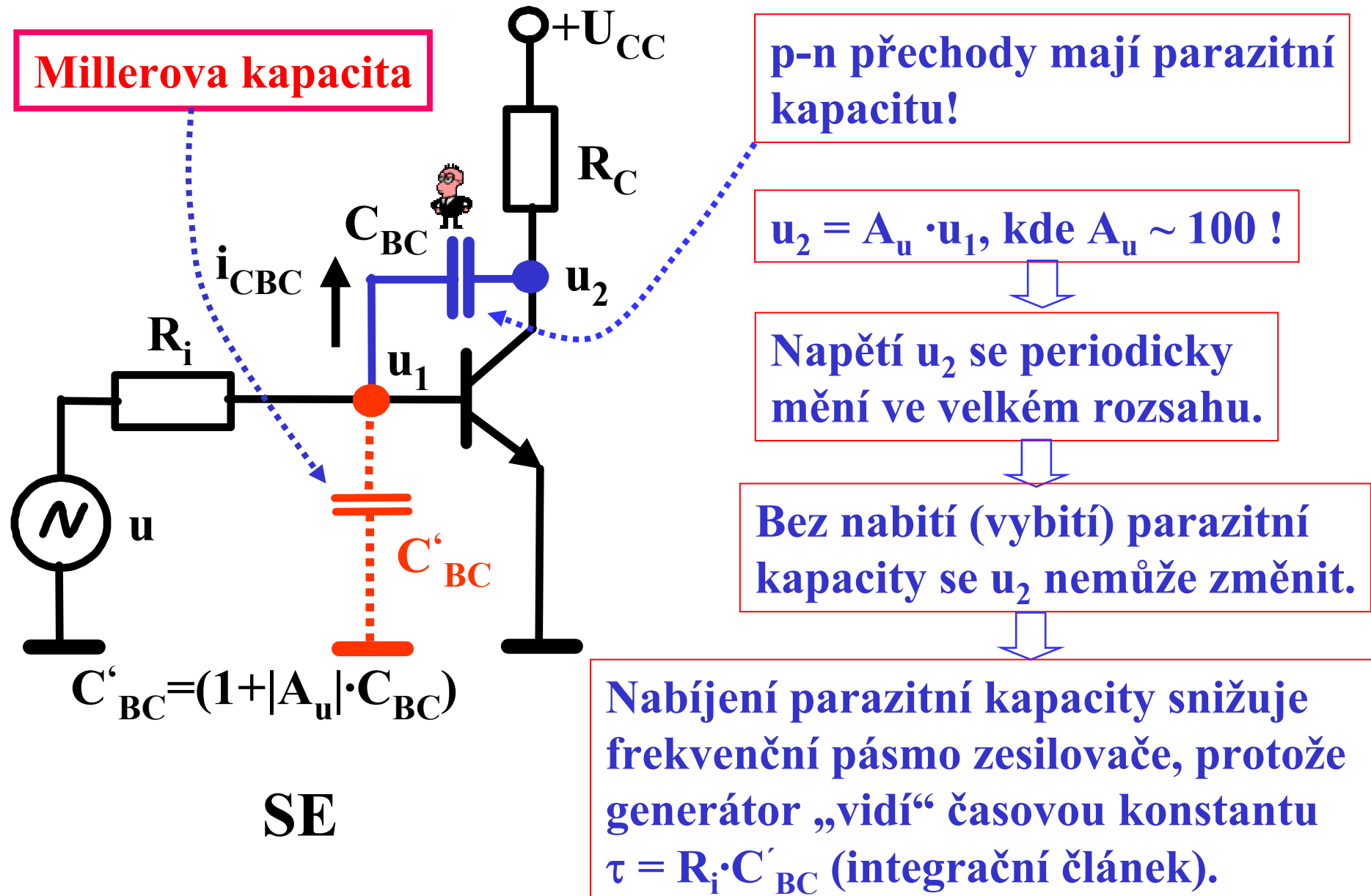
Malý R_{VST}



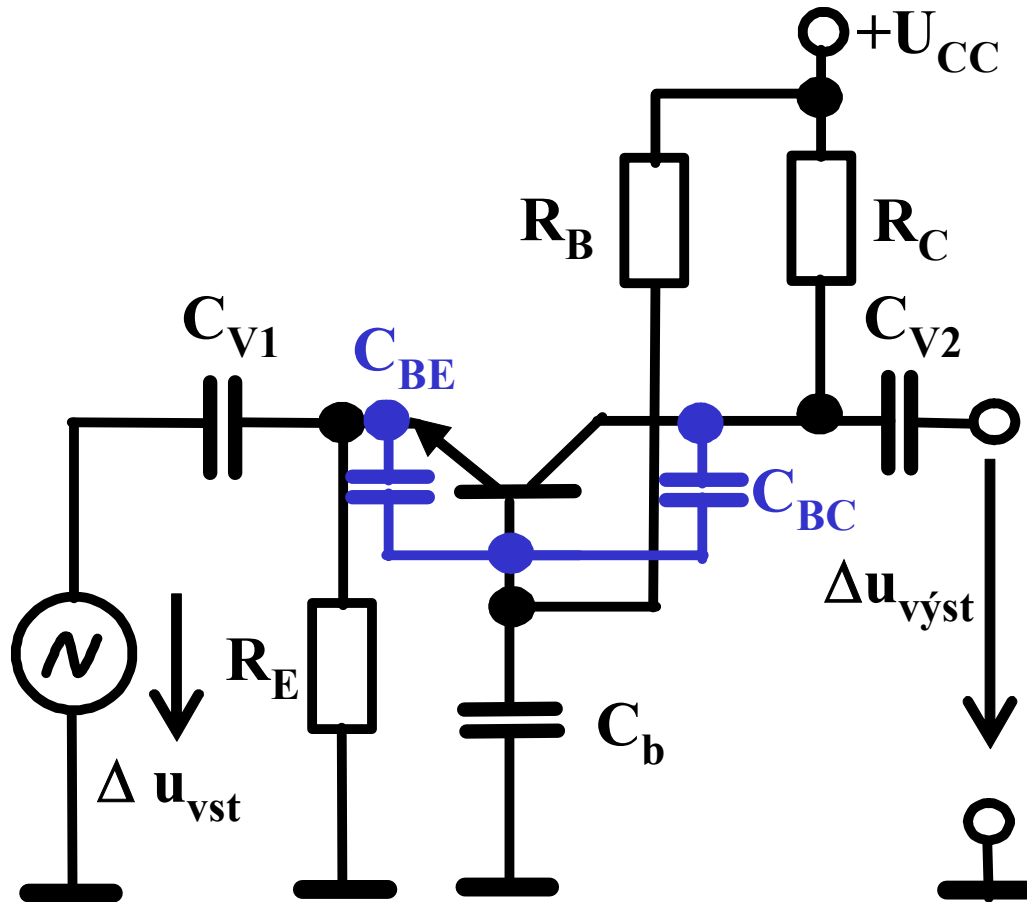
Velký R_{VYST}



Bipolární tranzistor – šířka frekvenčního pásma

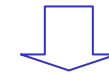


Bipolární tranzistor – šířka frekvenčního pásma



SB

Parazitní kapacita C_{BC}
je od vstupu oddělena –
„generátor ji nevidí“
 \Rightarrow neprojevuje se jako
Millerova kapacita.

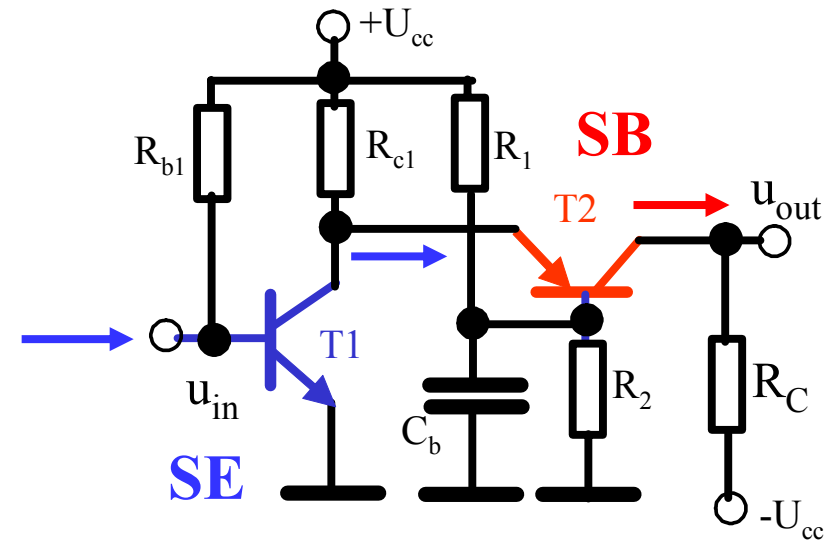
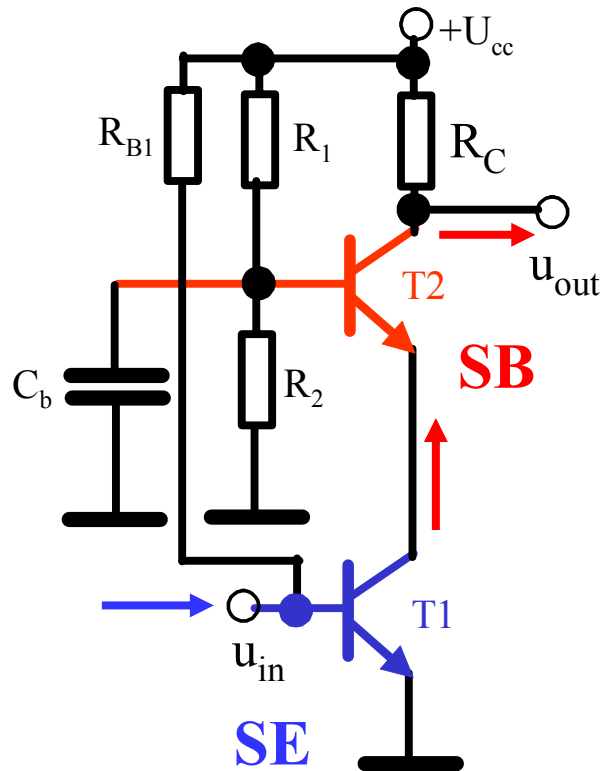


Generátor „vidí“ jen malou
kapacitu C_{BE} .

\Rightarrow SB má nejvyšší mezní
kmitočet (1 až 2 řády navíc).



Bipolární tranzistor – kaskódové zapojení



U_{CET1} se může měnit jen v min. rozsahu daném $i_{CT1} \cdot h_{11bT2}$ ($\approx 50\Omega$).
 C_{BCT1} se nechová jako Millerova kapacita. Parazitní kapacita C_{BCT2} je od vstupu oddělena \Rightarrow „generátor ji nevidí.“ \Rightarrow velký f_{max} .

$$A_u = -(h_{21e}/h_{11e}) \cdot R_C \text{ shodně jako u SE, mezní kmitočet výrazně vyšší.}$$