

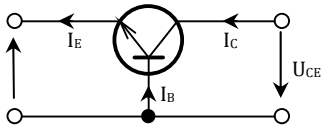
Bipolární tranzistor

- emitor menší plocha než kolektor !!!, báze je úzká
- emitor - N++ silně dotovaný
- kolektor - normálně dotovaný N

$I_E = I_C + I_B$ - základní rovnice tranzistoru

- difuzní délka < délka báze

Společná báze (SB):

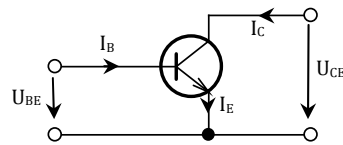


$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB_0}$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1 - \text{zesilovač \u010dinitel v SB}$$

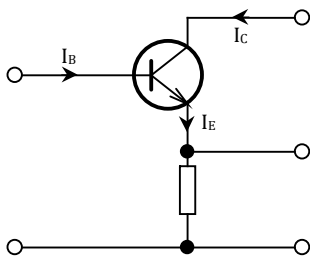
Společný emitor (SE):



$$\beta = \frac{I_C}{I_B} - \text{zesilovač \u010dinitel v SE} \gg 1(500)$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CE_0}$$

Společný kolektor (SK):



$$\gamma = \frac{I_E}{I_B}$$

SE:

$$\beta = f(\alpha)$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB_0}$$

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

$$I_C = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta} \quad | : I_C$$

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta} \quad | \cdot \alpha \beta$$

$$\beta = \alpha \beta + \alpha \Rightarrow \beta = \alpha(1 + \beta)$$

$$\beta(1 - \alpha) = \alpha \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

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

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

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

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

SB: $I_C = \alpha I_E + I_{CB_0}$

SE: $I_C = \beta I_B + I_{CE_0}$

zbytkové proudy kolektoru

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

SE:

$$I_C = \beta I_B + I_{CE_0}$$

SB:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB_0} = \alpha \cdot (I_C + I_B) + I_{CB_0}$$

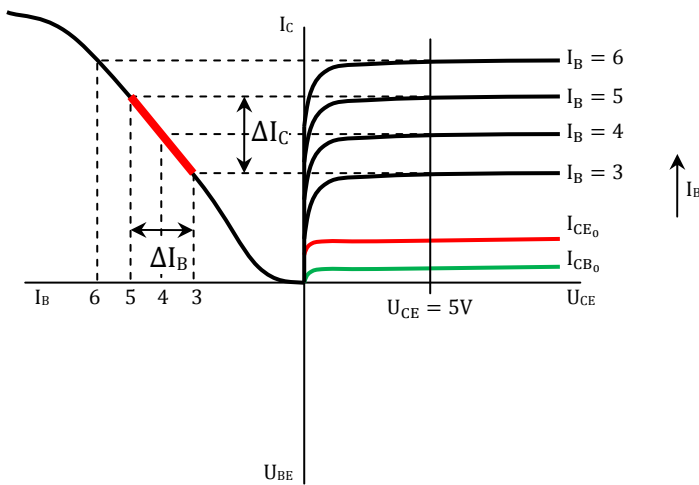
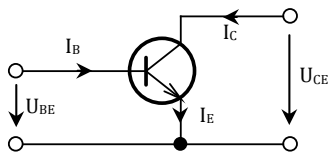
$$I_C = \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CB_0}$$

$$I_C \cdot (1 - \alpha) = \alpha I_B + I_{CB_0} \quad | : (1 - \alpha)$$

$$I_C = I_B \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} + \frac{I_{CB_0}}{1 - \alpha} = \beta I_B + \frac{I_{CB_0}}{1 - \alpha} = \beta I_B + \underbrace{I_{CB_0} \cdot (1 + \beta)}_{I_{CE_0}}$$

$$\frac{I_{CB_0}}{1 - \alpha} = \frac{I_{CB_0}}{1 - \frac{\beta}{1 + \beta}} = \frac{I_{CB_0}}{\frac{1 + \beta - \beta}{1 + \beta}} = \frac{I_{CB_0}}{\frac{1}{1 + \beta}} = I_{CB_0} \cdot (1 + \beta)$$

⇒ SE má βx větší zbytkový proud než SB



$$U = Z \cdot I$$

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= Z_{11} \cdot \Delta I_1 + Z_{12} \cdot \Delta I_2 \\ \Delta U_2 &= Z_{21} \cdot \Delta I_1 + Z_{22} \cdot \Delta I_2 \end{aligned}$$

Z impedanční

$$\begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}}_Z \cdot \begin{bmatrix} \Delta I_1 \\ \Delta I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= y_{11} \cdot \Delta U_1 + y_{12} \cdot \Delta U_2 \\ \Delta I_2 &= y_{21} \cdot \Delta U_1 + y_{22} \cdot \Delta U_2 \end{aligned}$$

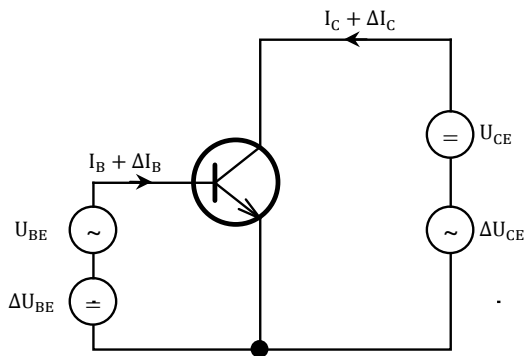
Y admitanční

$$\begin{bmatrix} \Delta I_1 \\ \Delta I_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}}_Y \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta u_1 &= h_{11} \cdot \Delta i_1 + h_{12} \cdot \Delta u_2 \\ \Delta i_2 &= h_{21} \cdot \Delta i_1 + h_{22} \cdot \Delta u_2 \end{aligned}$$

h hybridní (smíšené)

$$\begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta i_1 \\ \Delta u_2 \end{bmatrix}$$

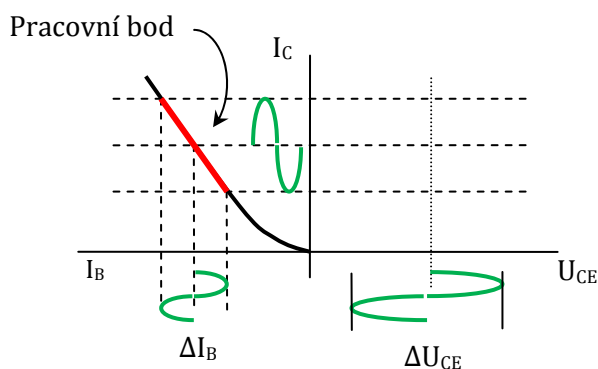


$$U_1 = U_{BE} + \Delta U_{BE}$$

$$U_2 = U_{CE} + \Delta U_{CE}$$

$$U_{BE} + \Delta U_{BE} = h_{11} \cdot (I_B + \Delta I_B) + h_{12} \cdot (U_{CE} + \Delta U_{CE})$$

$$I_C + \Delta I_C = h_{21} \cdot (I_B + \Delta I_B) + h_{22} \cdot (U_{CE} + \Delta U_{CE})$$



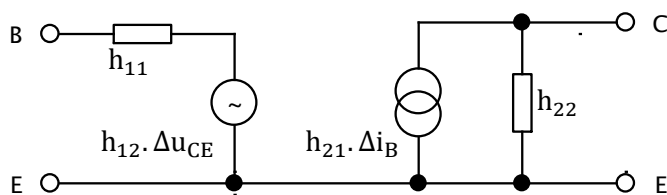
- jestliže existují napěťové a proudové změny velice malé potom charakteristiky tranzistoru linearizujeme a využíváme graficko-početní metodu (práce s křivkou). Často neuvažujeme ani stejnosměrné hodnoty a řešíme obvod pouze pro časové změny.

Úprava rovnic H parametrů pro tranzistor:

$$\Delta u_{BE} = h_{11} \cdot \Delta i_B + h_{12} \cdot \Delta u_{CE}$$

$$\Delta i_C = h_{21} \cdot \Delta i_B + h_{22} \cdot \Delta u_{CE}$$

Schéma z hybridních rovnic



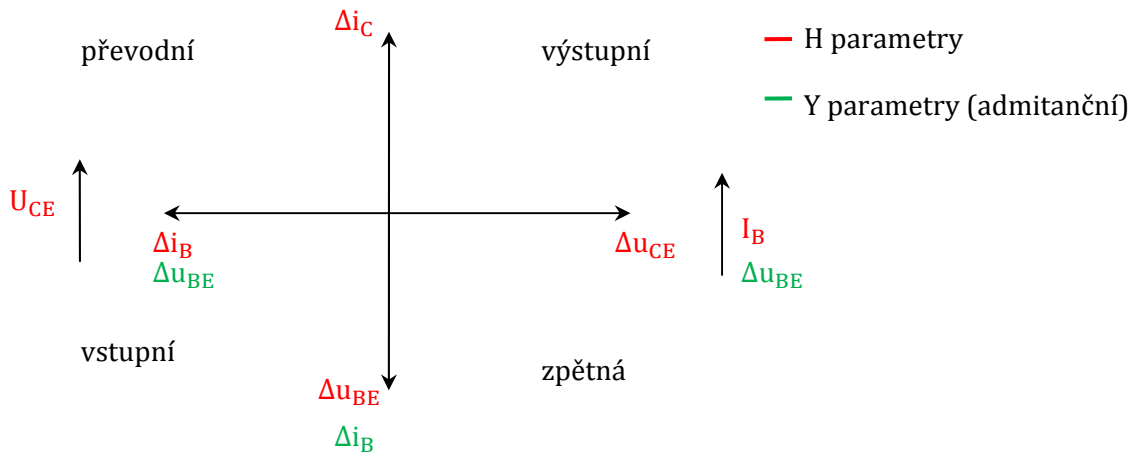
$$h_{11} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B}; \Delta u_{CE} = 0 \text{ vstupní impedance při výstupu nakrátko}$$

$$h_{12} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta u_{CE}}; \Delta i_B = 0 \text{ zpětný přenos napětí při vstupu naprázdno}$$

$$h_{21} = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \beta; \Delta u_{CE} = 0 \text{ proudový zesilovací čítel při výstupu nakrátko}$$

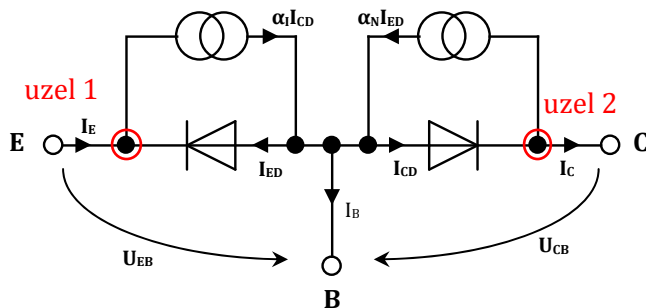
$$h_{22} = \frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}}; \Delta i_B = 0 \text{ výstupní vodivost při vstupu naprázdno}$$

Charakteristiky hybridních rovnic



Ebers-Mollův model tranzistoru

- společná báze
- je to superpozice normálního a inverzního modelu tranzistoru
- přechod EB se chová jako samotná dioda a tranzistorový jev řešíme pomocí proudových zdrojů z druhého přechodu
- index N vyjadřuje proud zesilovací činitel α v normálním režimu
- index I vyjadřuje proudový zesilovací činitel v inverzním režimu



U_{BE} - je pravděpodobně polarizován obráceně

$$\text{uzel 1: } I_E = I_{ED} - \alpha_I I_{CD} = I_{ES} \cdot \left(e^{-\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right) - \alpha_I I_{CS} \cdot \left(e^{-\frac{U_{BC}}{U_T}} - 1 \right)$$

$$\text{uzel 2: } I_C = \alpha_N I_{ED} - I_{CD} = \alpha_N I_{ES} \left(e^{-\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{-\frac{U_{BC}}{U_T}} - 1 \right)$$

$$I_B = I_E - I_C$$

I_{CS} a I_{ES} jsou saturační proudy - špatně se měří → požití zbytkových proudů, které určíme z následující úvahy:

$$I_E = 0, I_C = I_{CB_0} \Rightarrow I_C = \overset{0}{2} \widehat{I}_E + I_{CB_0}$$

$$I_E = 0, I_E = I_{E_0}$$

Dosadíme-li do rovnic, obdržíme vztah:

$$I_{ES} = \frac{I_{EB_0}}{1 - \alpha_I \alpha_N} \quad I_{CS} = \frac{I_{CB_0}}{1 - \alpha_N \alpha_I}$$

Režimy tranzistoru

1. přechod EB zavřený, přechod CB zavřený → závěrný režim → nevede
 2. přechod EB otevřený, přechod BC zavřený → normální režim
 3. přechod EB zavřený, přechod BC otevřený → inverzní režim
 4. přechod EB otevřený, přechod BC otevřený → nasycený stav, saturační režim
- Teplotní šum – nepravidelný pohyb elektronů, který se projevuje jako změna potenciálů a můžeme ho slyšet jako praskání ve sluchátku
 - Polovodičový šum – se uplatňuje na nejnižších frekvencích
 - výstřelový šum – uplatňuje se na přechodech tranzistoru (nepravidelné průchody tranzistoru a opožděné rekombinace)

Pozn.: Definujeme tzv. šumové číslo f , které je dáno poměrem signál šum, je to funkce kmitočtu.

