

Příklad č. 1

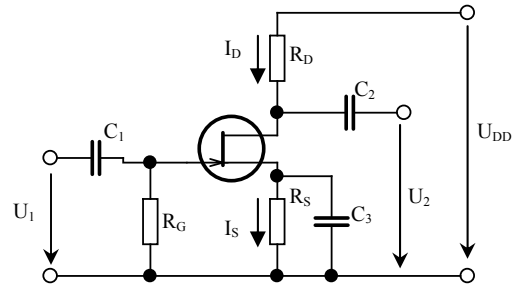
Na obrázku je schéma tranzistoru JFET s těmito parametry obvodových prvků:

$$U_{DD} = 15V, R_D = 2,4k\Omega, R_S = 0,47k\Omega, R_G = 1M\Omega.$$

Parametry tranzistoru: $I_{DS} = 5mA$, $U_P = -3V$, $g_d = 10\mu S$

Určete:

- polohu pracovního bodu
- strmost tranzistoru v pracovním bodě



Řešení:

- poloha pracovního bodu

Výpočet U_{GS} pomocí smyčky R_G – přechod GS tranzistoru – R_S . Do G tranzistoru neteče „žádný“ proud a ani rezistorem R_G neteče proud a proto je na něm nulový úbytek napětí, tedy na G tranzistoru je 0V.

Pro výpočet se použije všeobecný vztah pro I_D :

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$\begin{aligned} 0 = U_{GS} + I_D \cdot R_S &= U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 = U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{U_{GS}}{U_P} + \frac{U_{GS}^2}{U_P^2}\right) \\ &= U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} - 2 \cdot R_S \cdot I_{DS} \cdot \frac{U_{GS}}{U_P} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \frac{U_{GS}^2}{U_P^2} \end{aligned}$$

$$\frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2} \cdot U_{GS}^2 + \left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right) \cdot U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} = 0$$

- Řešení pomocí kvadratické rovnice

$$\begin{aligned} D &= \left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right)^2 - 4 \cdot \frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2} \cdot R_S \cdot I_{DS} = \left(1 - 2 \cdot 470 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-3}}{-3}\right)^2 - 4 \cdot \frac{470 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{(-3)^2} \cdot 470 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \\ &= 4,133 \end{aligned}$$

$$U_{GS_{1,2}} = \frac{-\left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right) \pm \sqrt{D}}{2 \cdot \frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2}} = \frac{-\left(1 - 2 \cdot 470 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-3}}{-3}\right) \pm \sqrt{4,133}}{2 \cdot \frac{470 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{(-3)^2}} = \begin{matrix} U_{GS_1} = -1,02V \\ U_{GS_2} = -8,81V \end{matrix}$$

Musí být splněna tato podmínka: $U_P \leq U_{GS}$ a této podmínce vyhovuje pouze U_{GS_1}

$$U_{GS} = -1,02V$$

Pro výpočet I_D stačí dosadit:

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-1,02}{-3}\right)^2 = 2,178mA$$

Výpočet U_{DS} ze smyčky: svorka U_{DD} – R_D – přechod DS tranzistoru – rezistor R_S :

$$I_S = I_D$$

$$\begin{aligned} U_{DD} &= R_D \cdot I_D + U_{DS} + R_S \cdot I_D \Rightarrow U_{DS} = U_{DD} - R_D \cdot I_D - R_S \cdot I_D \\ &= 15 - 2,4 \cdot 10^3 \cdot 2,178 \cdot 10^{-3} - 470 \cdot 2,178 \cdot 10^{-3} = 8,75V \end{aligned}$$

$$P = [U_{GS} = -1,02V; I_D = 2,178mA; U_{DS} = 8,75V]$$

b) strmost tranzistoru

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$\frac{dI_D}{dU_{GS}} = 2 \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right) \cdot \left(-\frac{1}{U_P}\right) = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-1,02}{-3}\right) \cdot \left(-\frac{1}{-3}\right) = 2,2 \text{mS}$$

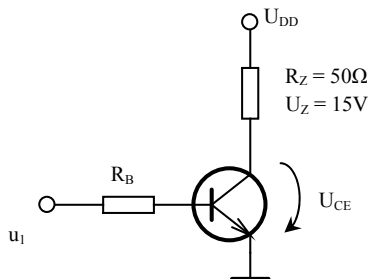
Příklad č. 2

Bipolární tranzistor NPN se zesílení $\beta = 35 - 125$ je zapojen jako spínač odporové zátěže se jmenovitým napětím 15V a odporem 50Ω , řídicí napětí $u_1 = 0\text{V}$ nebo $+5\text{V}$, $U_{BE} = 0,7\text{V}$, $U_{CES} = 0,5\text{V}$.

- Nakreslete schéma zapojení tranzistorového spínače
- Určete velikost odporu R_B , aby nastalo zaručené sepnutí tranzistoru
- Vypočítejte ztrátový výkon tranzistoru

Řešení:

a) Schéma zapojení



b) Výpočet R_B

- Pro $u_1 = 0\text{V}$ neteče do báze tranzistoru žádný proud a tranzistor je zavřený, proto se R_B vypočte jen pro $u_1 = +5\text{V}$

$$I_C = \frac{U_Z}{R_Z} = \frac{15}{50} = 0,3\text{A}$$

- Pro $\beta = 35$

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

$$u_1 = R_B \cdot I_B + U_{BE} = R_B \cdot \frac{I_C}{\beta} + U_{BE} \Rightarrow R_B = \frac{u_1 - U_{BE}}{\frac{I_C}{\beta}} = \frac{(5 - 0,7)}{\frac{0,3}{35}} = 430\Omega$$

- Pro $\beta = 125$

$$R_B = \frac{u_1 - U_{BE}}{\frac{I_C}{\beta}} = \frac{5 - 0,7}{\frac{0,3}{125}} = 1791,67\Omega$$

Volíme menší R_B . Do báze poteče větší proud a to zajistí „100%“ sepnutí tranzistoru.

$$R_B = 430\Omega$$

c) Ztrátový výkon tranzistoru

Pro $u_1 = 0\text{V}$, neteče tranzistorem žádný proud, tedy:

$$I_C = 0\text{A}$$

$$P_T = U_{CE} \cdot I_C = 0W$$

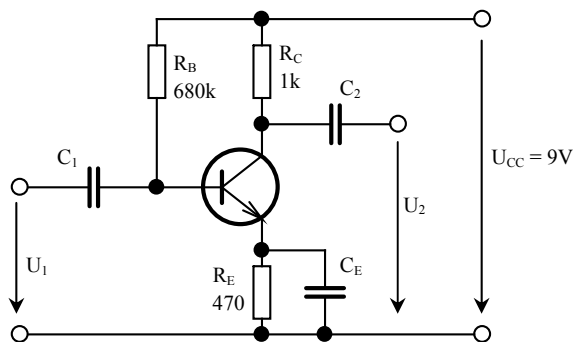
Pro $u_1 = +5V$:

$$P_T = U_{CES} \cdot I_C = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15W$$

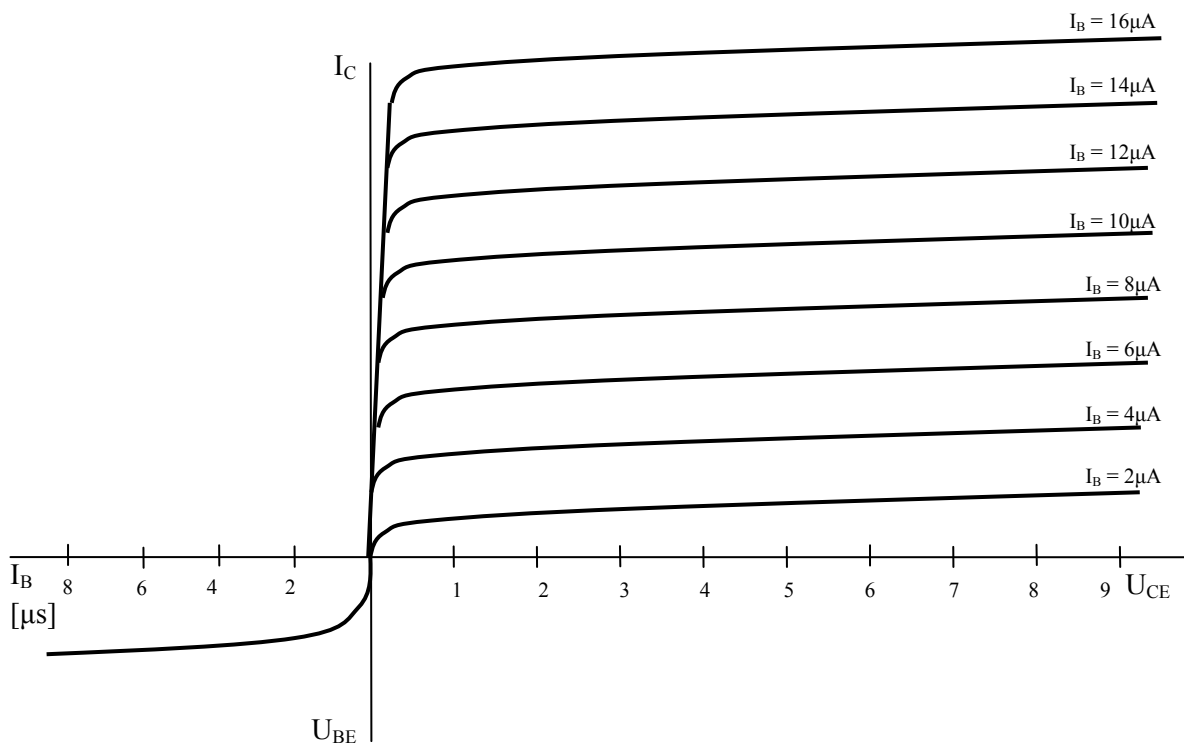
Příklad č. 3

U níže uvedeného zapojení určete:

- způsob zapojení tranzistoru (SC, SB, SE)
- polohu pracovního bodu s pomocí přiložené VA charakteristiky – jestliže zesilovač pracuje ve třídě A (zakreslete stejnosměrnou zatěžovací přímkou, převodní charakteristiku)
- v okolí pracovního bodu určete graficky diferenciální h parametry v 1., 2. a ve 3. kvadrantu
- ve výstupní charakteristice označte limitující parametry tranzistoru (odhad)
- vysvětlete funkci kondenzátorů C_1 , C_2 , C_E
- uved'te, zda se využívá v zapojení zpětná vazba



Řešení:



- Zadáno!!!

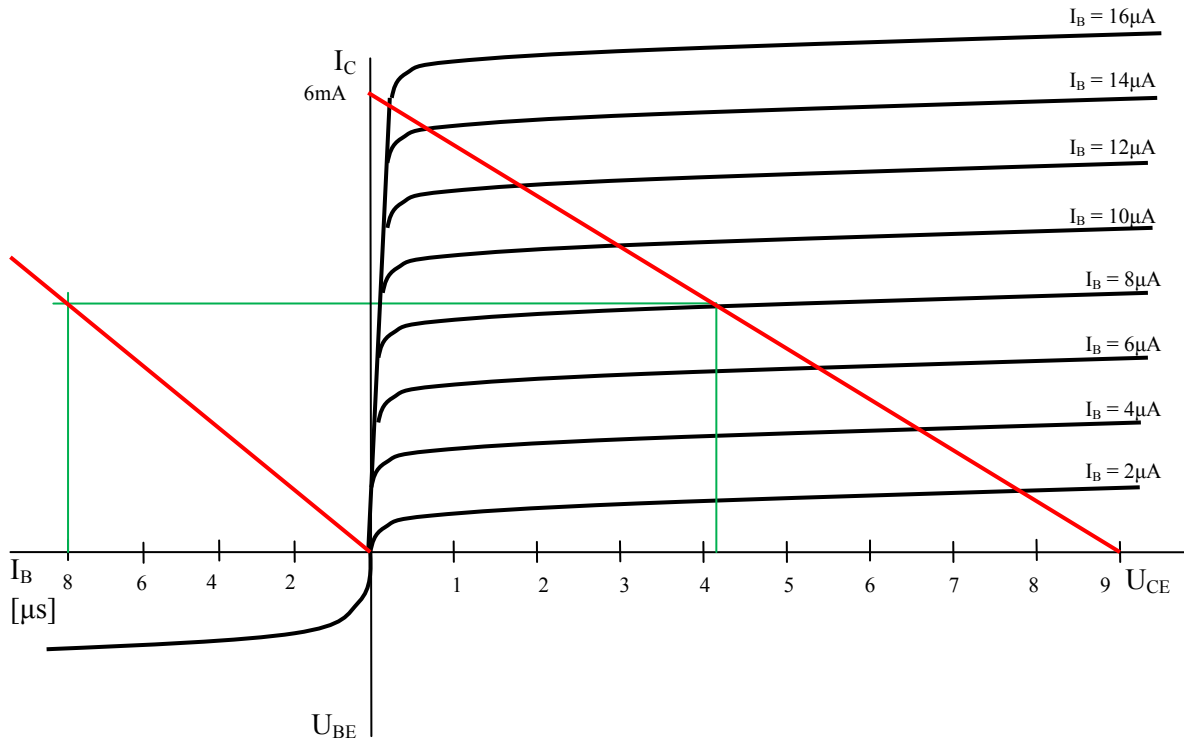
a) Typ zapojení

SE

b) Zatěžovací charakteristika

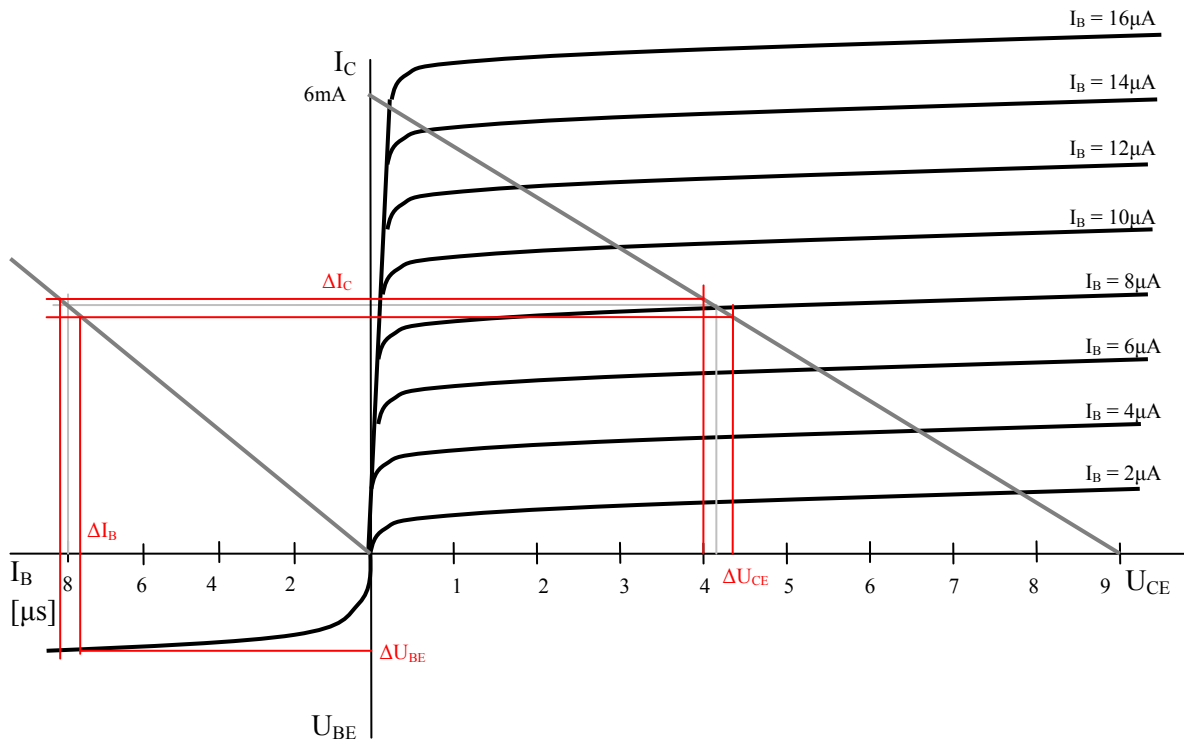
$$I_{C_{max}} = \frac{U_{CC}}{R_E + R_C} = \frac{9}{470 + 1000} = 6,12\text{mA}$$

$$U_{CE_{max}} = U_{CC}$$



- Zatěžovací přímka spojuje body $U_{CE_{max}}$ a $I_{C_{max}}$. Velikost U_{CE} musí být přibližně $\frac{U_{CC}}{2}$. Tomu odpovídá proud $I_B = 8\mu\text{A}$.
- Pro konstrukci převodní charakteristiky spojíme pracovní bod tranzistoru s proudem $I_B = 8\mu\text{A}$ na ose I_B . A vzniklý bod spojíme s počátkem.

c) Grafické určení h parametrů.



- Např. v okolí napětí U_{CE} vybereme blízké okolí a to spojíme se zatěžovací přímkou a pak spojíme s převodní charakteristikou a se vstupní charakteristikou. Tak získáme ΔU_{CE} , ΔI_C , ΔI_B , ΔU_{BE} .

$$\Delta u_1 = h_{11} \cdot \Delta i_1 + h_{12} \cdot \Delta u_2$$

$$\Delta i_2 = h_{21} \cdot \Delta i_1 + h_{22} \cdot \Delta u_2$$

- Obecné h parametry

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

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

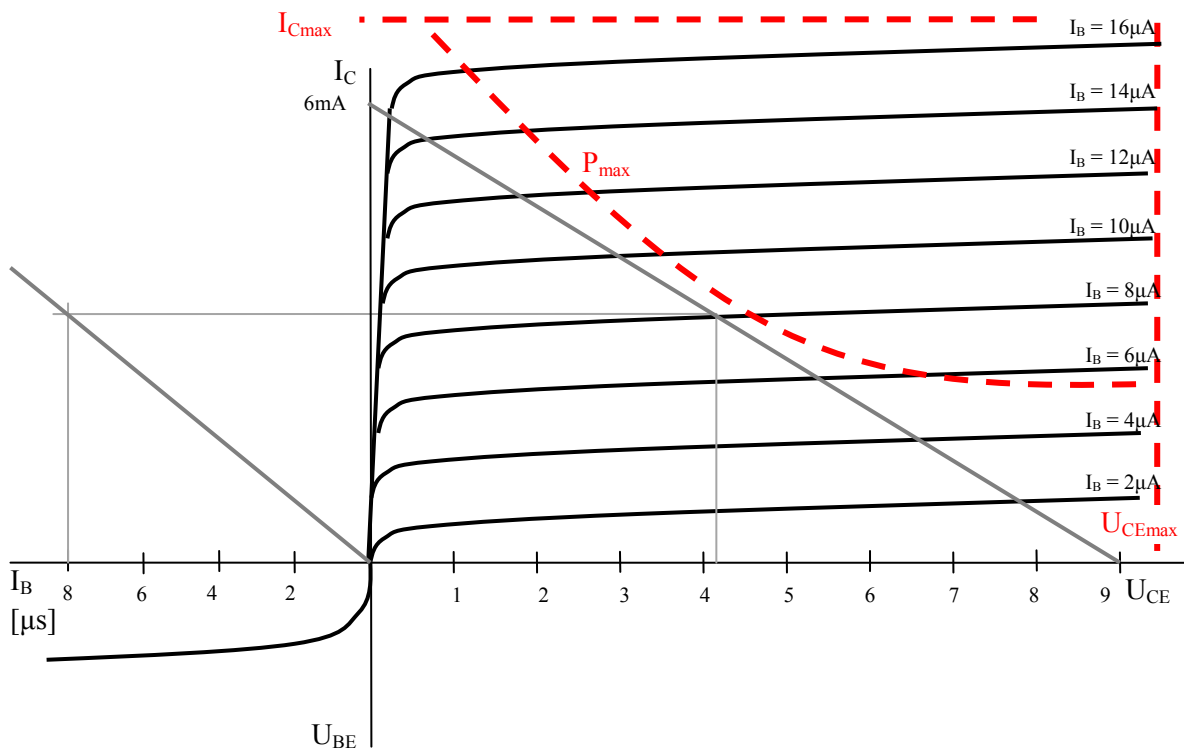
- h parametry pro tranzistor

$$\Delta U_{BE} = h_{11} \cdot \Delta I_B + h_{12} \cdot \Delta U_{CE} \Rightarrow h_{11} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}, \quad h_{12} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}}$$

$$\Delta I_C = h_{21} \cdot \Delta I_B + h_{22} \cdot \Delta U_{CE} \Rightarrow h_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}, \quad h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}}$$

- Při výpočtech vždy jednu část rovnice položíme rovno nule (zanedbáme ji)
- Lze přibližně dosadit

d) Označení limitujících parametrů



e) Funkce kondenzátorů

Kondenzátory C_1 a C_2 oddělují stejnosměrnou složku zdroje signálu od stejnosměrné složky tranzistoru.

Kondenzátor C_E představuje „zkrat“ pro střídavou složku, tím se stabilizuje pracovní bod tranzistoru a zvětší se zesílení.

f) Zpětná vazba

Toto zapojení je se zpětnou vazbou – zápornou.

Příklad č. 4

U zesilovače v příkladu č. 3 odvoďte činitel stabilizace. Uvažujte, že tranzistor, může být germaniový nebo křemíkový.

Řešení:

$$I_C = \beta \cdot I_B + I_{CE0} \Rightarrow I_B = \frac{I_C - I_{CE0}}{\beta}$$

$$\begin{aligned} U_{CC} &= R_B \cdot I_B + U_{BE} + R_E \cdot I_E = R_B \cdot \frac{I_C - I_{CE0}}{\beta} + U_{BE} + R_E \cdot \left(I_C + \frac{I_C - I_{CE0}}{\beta} \right) \\ &= R_B \cdot \frac{I_C}{\beta} - R_B \cdot \frac{I_{CE0}}{\beta} + U_{BE} + R_E \cdot I_C + R_E \cdot \frac{I_C}{\beta} - R_E \cdot \frac{I_{CE0}}{\beta} \end{aligned}$$

$$I_C \cdot \left(\frac{R_B}{\beta} + R_E + \frac{R_E}{\beta} \right) = U_{CC} + R_B \cdot \frac{I_{CE0}}{\beta} - U_{BE} + R_E \cdot \frac{I_{CE0}}{\beta} \quad | \cdot \beta$$

$$I_C \cdot (R_B + R_E \cdot \beta + R_E) = U_{CC} \cdot \beta + R_B \cdot I_{CE0} - U_{BE} \cdot \beta + R_E \cdot I_{CE0}$$

$$I_C = \frac{U_{CC} \cdot \beta + R_B \cdot I_{CE0} - U_{BE} \cdot \beta + R_E \cdot I_{CE0}}{R_B + R_E \cdot (1 + \beta)}$$

Pro tranzistor Si:

$$\frac{dI_C}{dU_{BE}} = \frac{-\beta}{R_B + R_E \cdot (1 + \beta)}$$

Pro tranzistor Ge:

$$\frac{dI_C}{dI_{CE_0}} = \frac{R_E + R_B}{R_B + R_E \cdot (1 + \beta)}$$

- Lze dosadit. β lze získat z h parametrů (h_{21}).