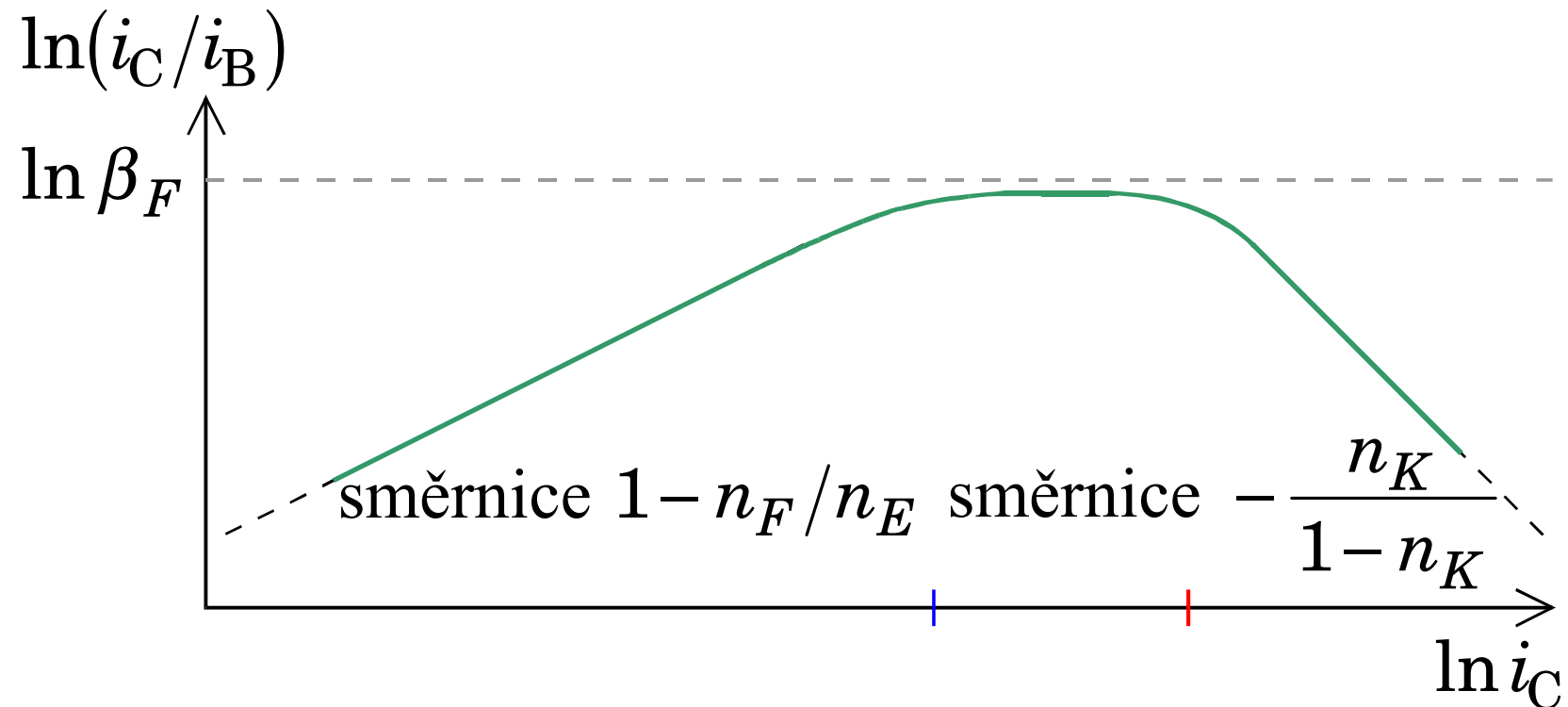


závislost **logaritmu** proudového **zesílení**
na **logaritmu** kolektorového **proudu**:



- odvození směrnice charakterizující zesílení při **větších** proudech tranzistorem

$$i_B \approx \frac{i_f}{\beta_F}, \quad i_C \approx \frac{2}{\left(4 \frac{i_f}{I_{KF}}\right)^{n_K}} i_f \text{ neboli } i_f \approx \sqrt[1-n_K]{\left(\frac{4}{I_{KF}}\right)^{n_K} \frac{i_C}{2}}$$

čili

$$\frac{i_C}{i_B} \approx \text{konst.} \cdot i_f^{-n_K} \approx \text{konst.}' \cdot i_C^{-\frac{n_K}{1-n_K}}$$

logaritmováním této rovnice dostaneme

$$\ln \frac{i_C}{i_B} \approx \text{konst.}'' - \frac{n_K}{1-n_K} \ln i_C$$

- odvození směrnice charakterizující zesílení při **menších** proudech tranzistorem

$$i_B \approx i_e \approx I_{SE} e^{\frac{v_{be}}{n_E v_T}}, \quad i_C \approx i_f \approx I_S e^{\frac{v_{be}}{n_F v_T}} \text{ neboli } \frac{v_{be}}{v_T} \approx n_F \ln \frac{i_C}{I_S}$$

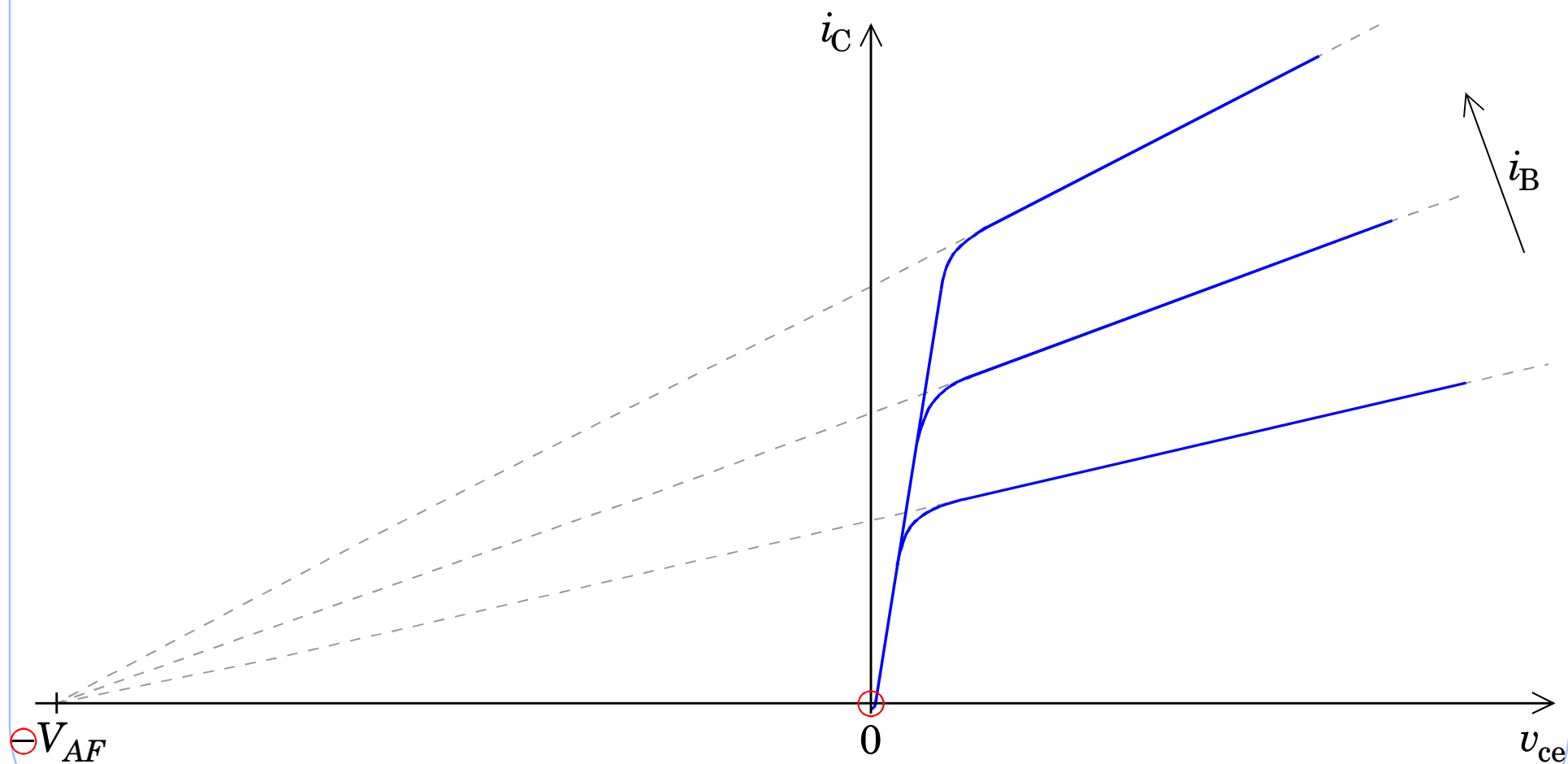
čili

$$\frac{i_C}{i_B} \approx \text{konst.} \cdot e^{\frac{v_{be}}{v_T} \left(\frac{1}{n_F} - \frac{1}{n_E} \right)}$$

logaritmováním této rovnice dostaneme

$$\ln \frac{i_C}{i_B} \approx \text{konst.}' + \frac{v_{be}}{v_T} \left(\frac{1}{n_F} - \frac{1}{n_E} \right) \approx \text{konst.}'' + \left(1 - \frac{n_F}{n_E} \right) \ln i_C$$

Výstupní charakteristiky tranzistoru a **Earlyho** napětí

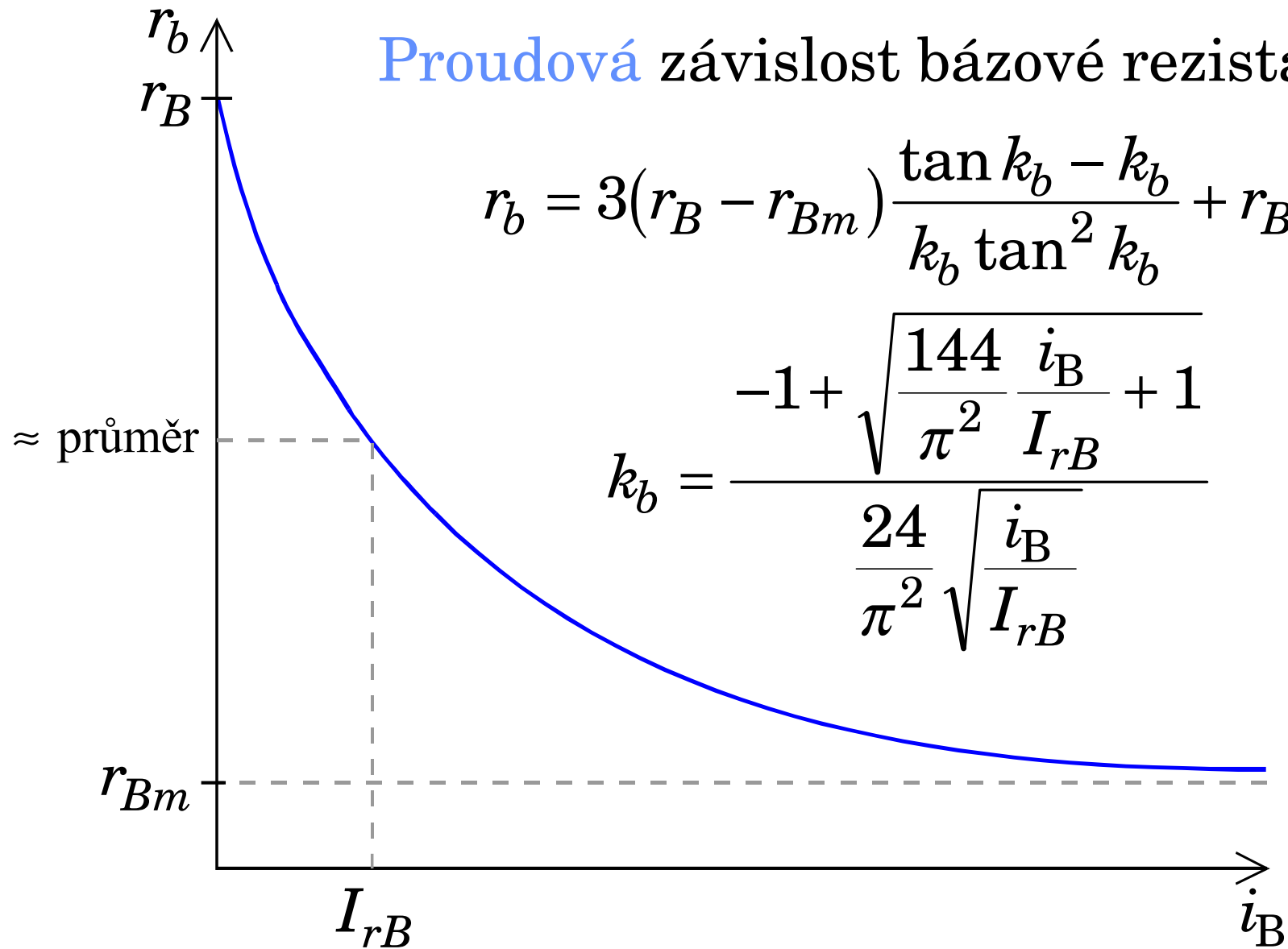


Proudová závislost bázové rezistance

$$r_b = 3(r_B - r_{Bm}) \frac{\tan k_b - k_b}{k_b \tan^2 k_b} + r_{Bm}$$

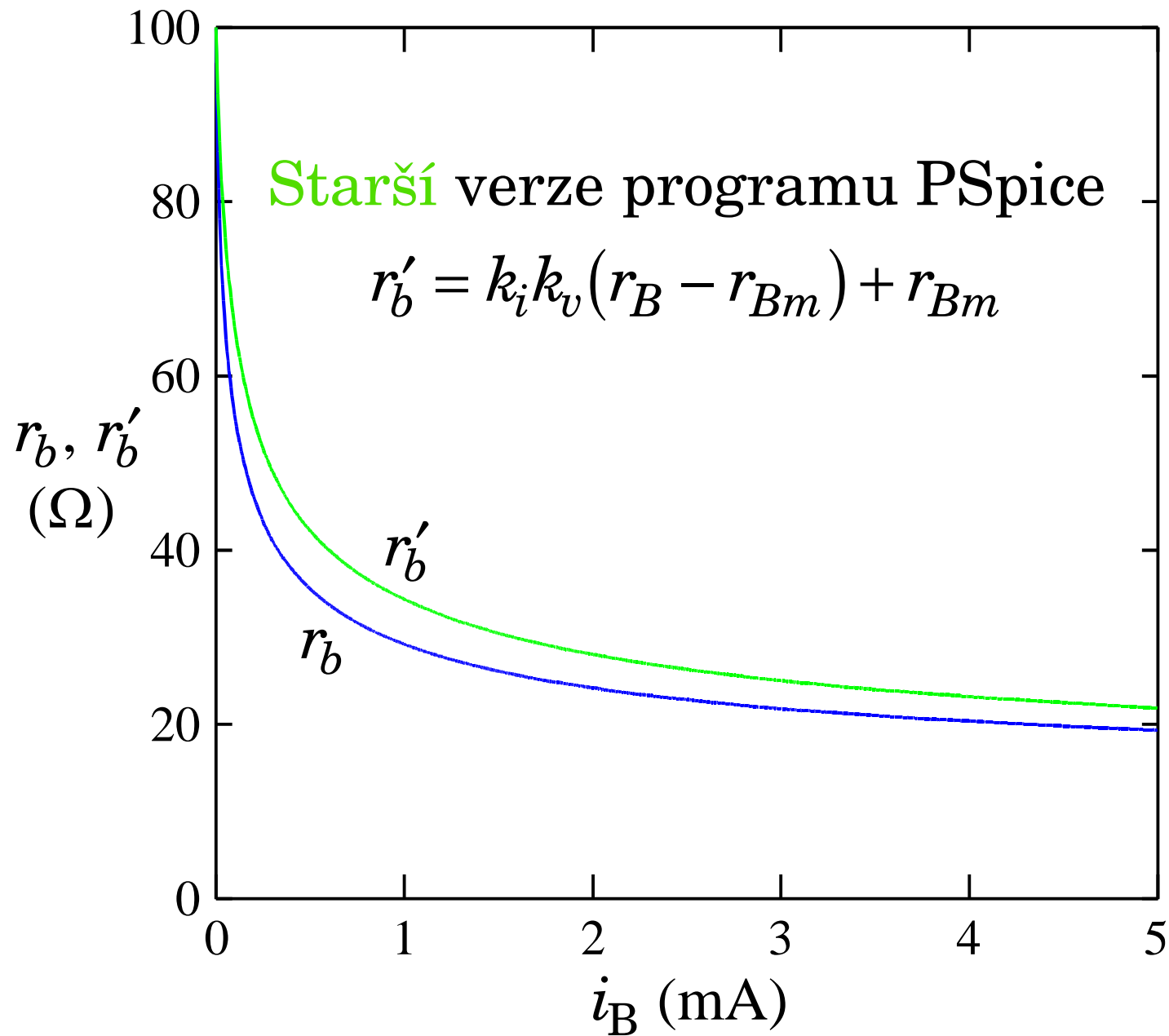
$$k_b = \frac{-1 + \sqrt{\frac{144}{\pi^2} \frac{i_B}{I_{rB}} + 1}}{\frac{24}{\pi^2} \sqrt{\frac{i_B}{I_{rB}}}}$$

Proudová závislost bázevé rezistance



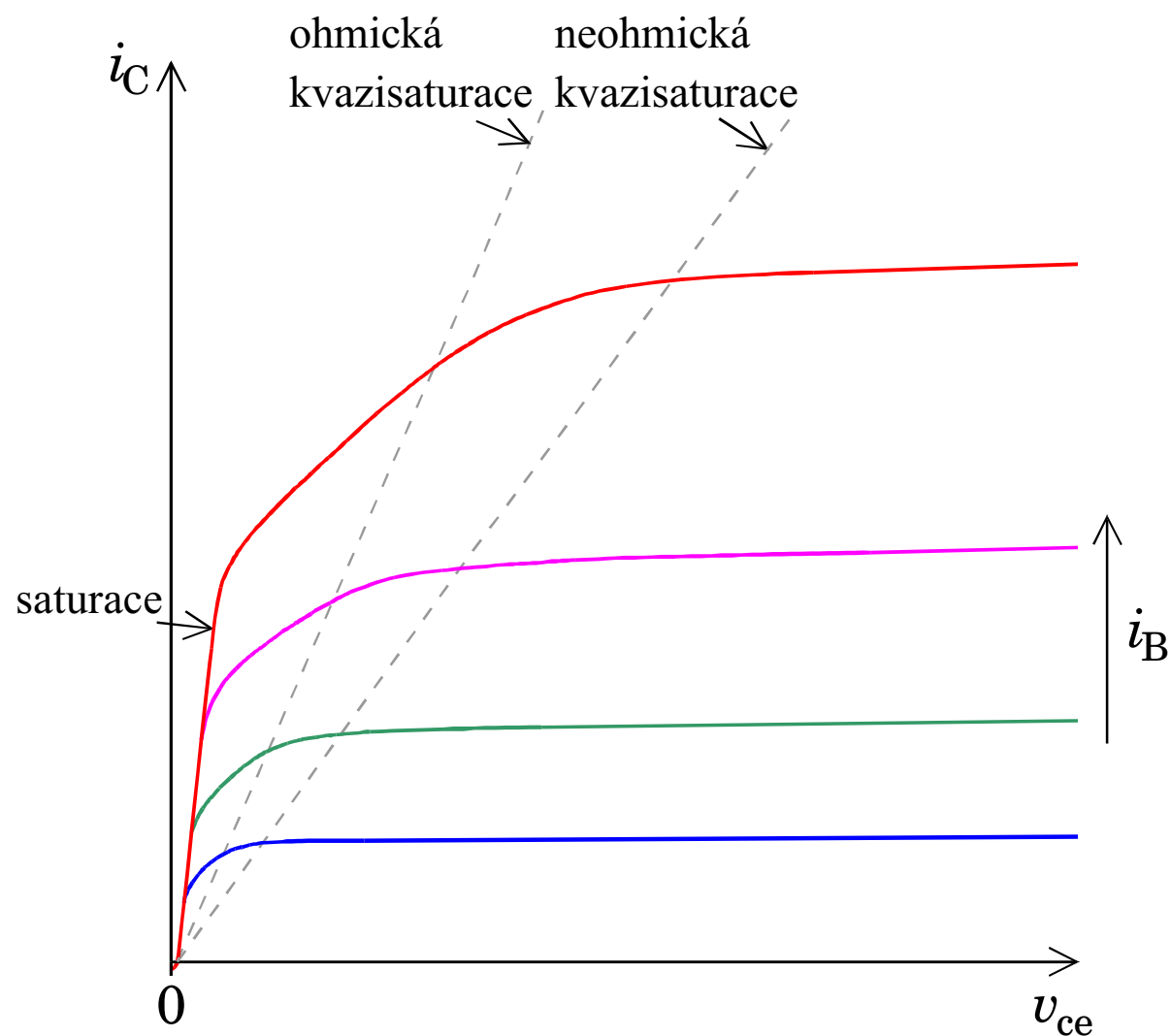
Starší verze programu PSpice

$$r'_b = k_i k_v (r_B - r_{Bm}) + r_{Bm}$$



kvazisaturaci lze definovat jako zvláštní mód činnosti tranzistoru
- **vnitřní** přechod báze-kolektor se **otevívá**, zatímco **vnější** přechod
báze-kolektor zůstává **uzavřen**

kvazisaturaci lze definovat jako zvláštní mód činnosti tranzistoru
- **vnitřní** přechod báze-kolektor se **otevívá**, zatímco **vnější** přechod báze-kolektor zůstává **uzavřen**



- proud v **epitaxní** oblasti (Kull)

$$i_{12} = \frac{v_T \left[K(v_{bc}) - K(v_{bn}) - \ln \frac{1 + K(v_{bc})}{1 + K(v_{bn})} \right] + v_{bc} - v_{bn}}{r_{C0} \left(1 + \frac{|v_{bc} - v_{bn}|}{V_0} \right)}$$

kde

$$K(v) = \sqrt{1 + \gamma e^{v/v_T}}$$

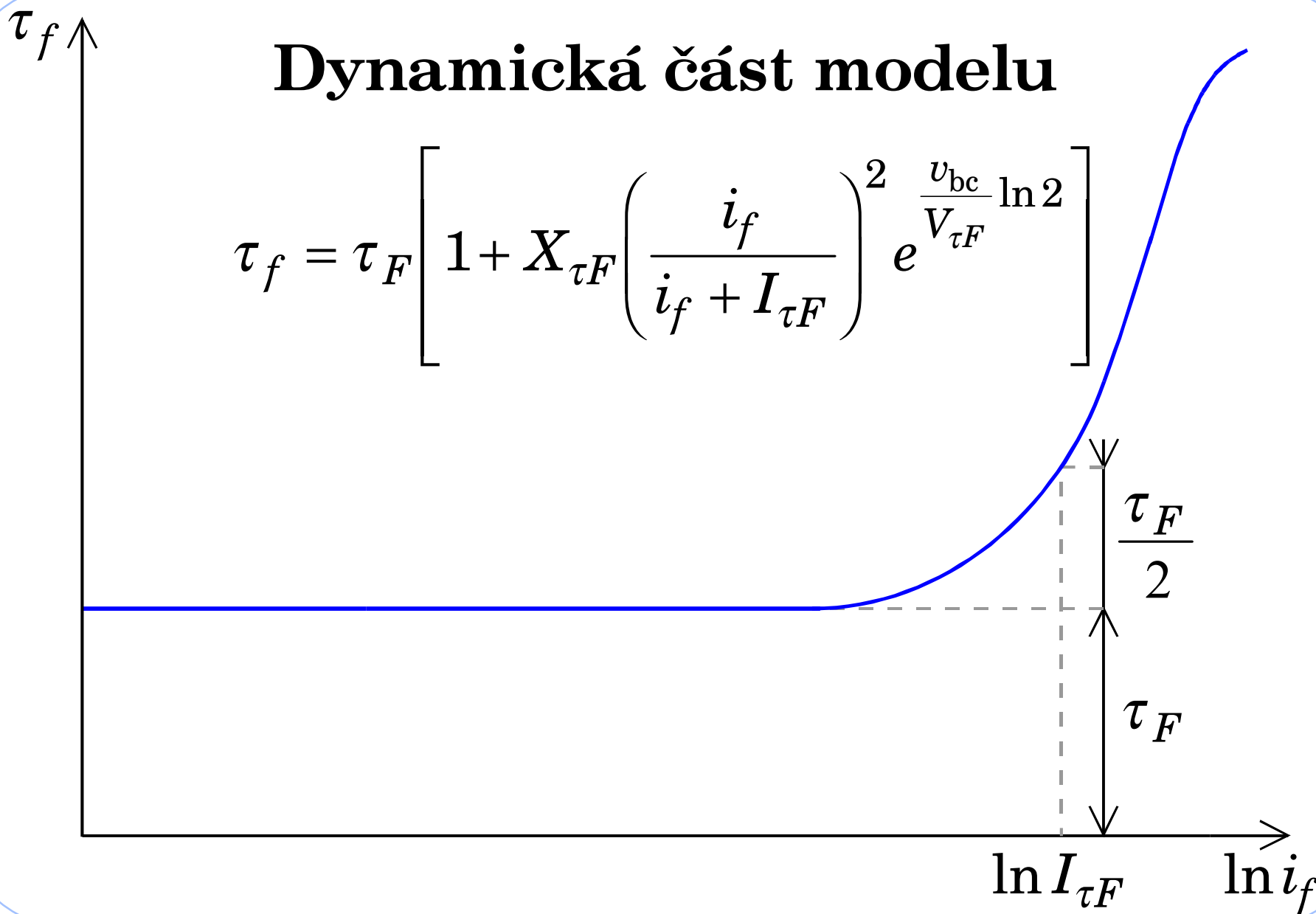
Dynamická část modelu

Dynamická část modelu

$$\tau_f = \tau_F \left[1 + X_{\tau F} \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^2 e^{\frac{v_{bc}}{V_{\tau F}} \ln 2} \right]$$

Dynamická část modelu

$$\tau_f = \tau_F \left[1 + X_{\tau F} \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^2 e^{\frac{v_{bc}}{V_{\tau F}} \ln 2} \right]$$



- **alternativní** závislost se třetí mocninou (Cadence)

$$\tau'_f = \tau_F \left\{ 1 + X'_{\tau F} \left[3 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^2 - 2 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^3 \right] e^{\frac{v_{bc}}{V_{\tau F}} \ln 2} \right\}$$

- **alternativní** závislost se třetí mocninou (Cadence)

$$\tau'_f = \tau_F \left\{ 1 + X'_{\tau F} \left[3 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^2 - 2 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^3 \right] e^{\frac{v_{bc}}{V_{\tau F}} \ln 2} \right\}$$

- difúzní náboj způsobený průletovou dobou (**forward**)

$$q_f = k_i k_v \tau_f i_f$$

- **alternativní** závislost se třetí mocninou (Cadence)

$$\tau'_f = \tau_F \left\{ 1 + X'_{\tau F} \left[3 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^2 - 2 \left(\frac{i_f}{i_f + I_{\tau F}} \right)^3 \right] e^{\frac{v_{bc}}{V_{\tau F}} \ln 2} \right\}$$

- difúzní náboj způsobený průletovou dobou (**forward**)

$$q_f = k_i k_v \tau_f i_f$$

- difúzní náboj způsobený průletovou dobou (**reverse**)

$$q_r = \tau_r i_r = \tau_R i_r$$

- bariérová kapacita pro **emitorový** přechod

$$c_e = \frac{C_{JE}}{\left(1 - \frac{v_{be}}{\phi_E}\right)^{m_E}}, \quad q_e = \frac{C_{JE} \phi_E}{1 - m_E} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{be}}{\phi_E}\right)^{1 - m_E} \right]$$

- bariérová kapacita pro **kolektorový** přechod

$$c_c = \frac{C_{JC}}{\left(1 - \frac{v_{bc}}{\phi_C}\right)^{m_C}}, \quad q_c = \frac{C_{JC} \phi_C}{1 - m_C} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{bc}}{\phi_C}\right)^{1 - m_C} \right]$$

- bariérová kapacita pro **emitorový** přechod

$$c_e = \frac{C_{JE}}{\left(1 - \frac{v_{be}}{\phi_E}\right)^{m_E}}, \quad q_e = \frac{C_{JE} \phi_E}{1 - m_E} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{be}}{\phi_E}\right)^{1-m_E} \right]$$

- bariérová kapacita pro **kolektorový** přechod (alter. **1**)

$$c_c = \frac{C_{JC}}{\left(1 - \frac{v_{bc}}{\phi_C}\right)^{m_C}}, \quad q_c = \frac{C_{JC} \phi_C}{1 - m_C} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{bc}}{\phi_C}\right)^{1-m_C} \right]$$

- bariérová kapacita pro **kolektorový** přechod (alter. **2**)

$$c'_c = \frac{C_{JC}}{\left(1 - \frac{v_{Bc}}{\phi_C}\right)^{m_C}}, \quad q'_c = \frac{C_{JC} \phi_C}{1 - m_C} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{Bc}}{\phi_C}\right)^{1 - m_C} \right]$$

- bariérová kapacita pro **kolektorový** přechod (alter. **3**)

$$c''_c = \frac{C_{JC}}{\left(1 - \frac{v_{BC}}{\phi_C}\right)^{m_C}}, \quad q''_c = \frac{C_{JC} \phi_C}{1 - m_C} \left[1 - \left(1 - \frac{v_{BC}}{\phi_C}\right)^{1 - m_C} \right]$$