Dynamická část modelu diody

Dynamická část modelu diody

- difúzní kapacita (fyzikálně je způsobená setrvačností nahromaděných nosičů náboje, tj. elektronů a děr)

$$q_d = \tau_D i_1$$

$$i_d = \dot{q}_d$$

Dynamická část modelu diody

- difúzní kapacita (fyzikálně je způsobená setrvačností nahromaděných nosičů náboje, tj. elektronů a děr)

$$q_d = \tau_D \, i_1$$

$$i_d = \dot{q}_d$$

ale: $$i_d = \frac{\mathrm{d}q_d}{\mathrm{d}v_{\mathrm{AC}}} \dot{v}_{\mathrm{AC}} = \tau_D \frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}v_{\mathrm{AC}}} \dot{v}_{\mathrm{AC}} = c_d \, \dot{v}_{\mathrm{AC}}$$

proč se tedy používá integrální formulace?

- bariérová kapacita (fyzikálně je způsobená vyprázdněnou oblastí v okolí přechodu PN)

$$c_b = \frac{C_{J0}}{\left(1 - \frac{v_{\mathrm{AC}}}{\phi_0}\right)^m}$$

- bariérová kapacita (fyzikálně je způsobená vyprázdněnou oblastí v okolí přechodu PN)

$$c_b = \frac{C_{J0}}{\left(1 - \frac{v_{\mathrm{AC}}}{\phi_0}\right)^m}$$

bariérový náboj získáme integrováním vztahu

$$\mathrm{d}q_b = c_b \, \mathrm{d}v_{\mathrm{AC}}:$$

$$\int_0^{q_b} \mathrm{d}q_b' = \int_0^{v_{\mathrm{AC}}} \frac{C_{J0}}{\left(1 - \frac{v_{\mathrm{AC}}'}{\phi_0}\right)^m} \mathrm{d}v_{\mathrm{AC}}'$$

k výpočtu integrálu po provedení substituce

$$1 - v'_{\mathrm{AC}}/\phi_0 = x, \mathrm{d}v'_{\mathrm{AC}} = -\phi_0 \,\mathrm{d}x$$

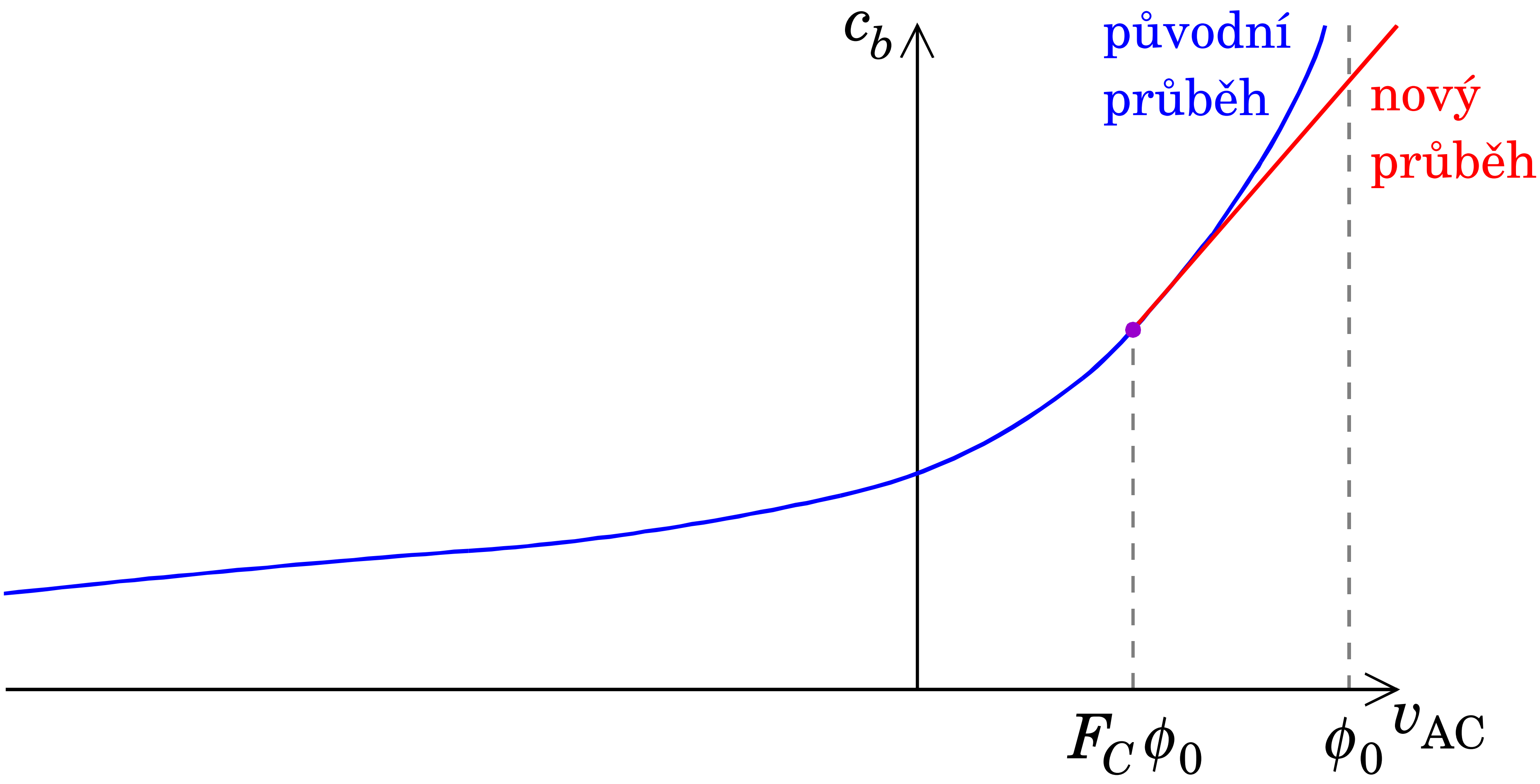
dostaneme integrál

$$q_b = -\phi_0 \int_1^{1-\frac{v_{\mathrm{AC}}}{\phi_0}} \frac{C_{J0}}{x^m} \mathrm{d}x$$

a jeho vyčíslením vztah pro bariérový náboj

$$q_b = \frac{C_{J0}\,\phi_0}{1-m}\left[1 - \left(1 - \frac{v_{\mathrm{AC}}}{\phi_0}\right)^{1-m}\right]$$

linearizace modelu bariérové kapacity



Teplotní závislosti modelu diody

Teplotní závislosti modelu diody

- teoreticky odvozené závislosti (CIA)

$$I'_S = I_S \left(\frac{T'}{T} \right)^{\frac{X_{TI}}{n}} e^{\frac{qE_g}{nk}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)}$$

$$\phi'_0 = \phi_0 \frac{T'}{T} - \frac{kT'}{q} \ln \left[\left(\frac{T'}{T} \right)^3 e^{\frac{qE_g}{k}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)} \right]$$

$$C'_{J0} = C_{J0} \left(\phi_0 \middle/ \phi'_0 \right)^m$$

Teplotní závislosti modelu diody

- teoreticky odvozené závislosti (CIA)

$$I'_S = I_S \left(\frac{T'}{T} \right)^{\frac{X_{TI}}{n}} e^{\frac{qE_g}{nk}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)}$$

pozor! X_{TI} – je okolo 3 pro PN diody

– je okolo 2 pro Schottkyho diody

$$\phi'_0 = \phi_0 \frac{T'}{T} - \frac{kT'}{q} \ln\left[\left(\frac{T'}{T} \right)^3 e^{\frac{qE_g}{k}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)} \right]$$

$$C'_{J0} = C_{J0} \left(\phi_0 / \phi'_0 \right)^m$$

- prakticky přesnější semiempirické závislosti (SPICE)

$$E_g'(T) = E_g'(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T}$$

$$E_g'(0) = 1{,}16\ \mathrm{eV} \quad \alpha = 7{,}02 \times 10^{-4}\ \mathrm{eV/K} \quad \beta = 1108\ \mathrm{K}$$

$$I_S' = I_S \left(\frac{T'}{T}\right)^{\frac{X_{TI}}{n}} e^{\frac{qE_g(300)}{nk}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)}$$

$$\phi_0' = \phi_0 \frac{T'}{T} - 3\frac{kT'}{q}\ln\frac{T'}{T} - \left[\frac{T'}{T}E_g(T) - E_g(T')\right]$$

$$C_{J0}' = C_{J0}\left\{1 + m\left[4 \times 10^{-4}(T' - T) - \frac{\phi_0' - \phi_0}{\phi_0}\right]\right\}$$

- prakticky přesnější semiempirické závislosti (SPICE) (základní)

$$E'_g(T) = E'_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T}$$

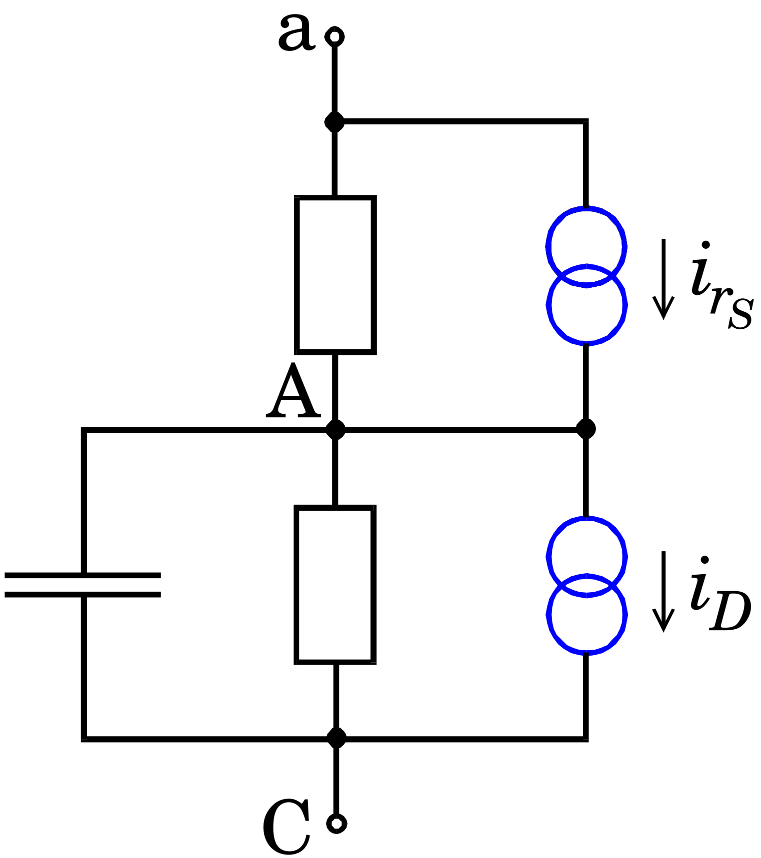
$$E'_g(0) = 1{,}16\ \text{eV} \quad \alpha = 7{,}02\times10^{-4}\ \text{eV/K} \quad \beta = 1108\ \text{K}$$

$$I'_S = I_S \left(\frac{T'}{T}\right)^{\frac{X_{TI}}{n}} e^{\frac{qE_g(300)}{nk}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'}\right)}$$

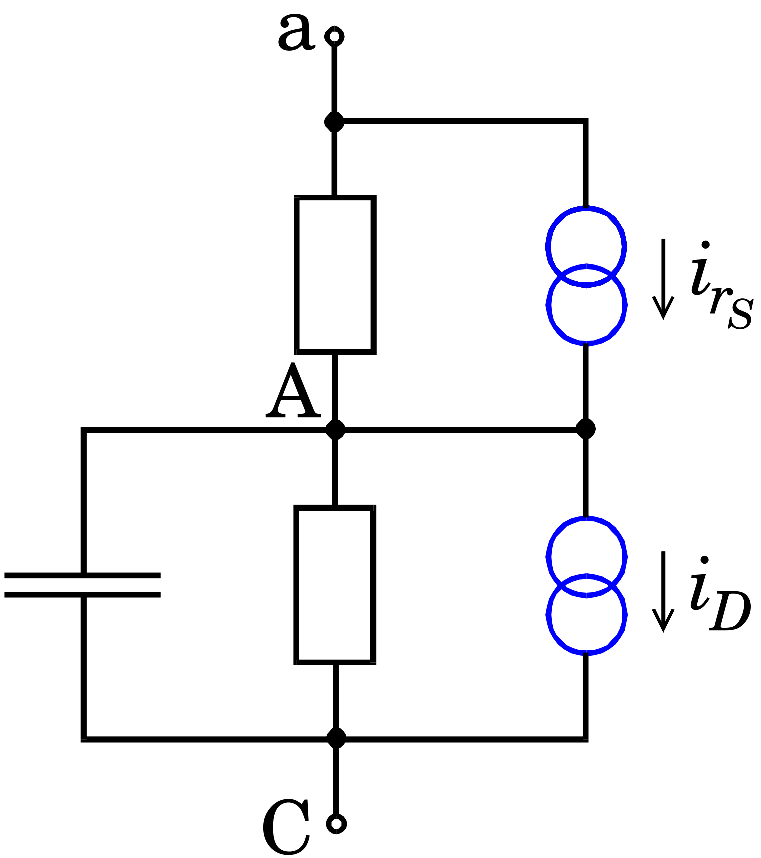
$$\phi'_0 = \phi_0 \frac{T'}{T} - 3\frac{kT'}{q} \ln\frac{T'}{T} - \left[\frac{T'}{T} E_g(T) - E_g(T')\right]$$

$$C'_{J0} = C_{J0}\left\{1 + m\left[4\times10^{-4}(T' - T) - \frac{\phi'_0 - \phi_0}{\phi_0}\right]\right\}$$

Šumový model diody



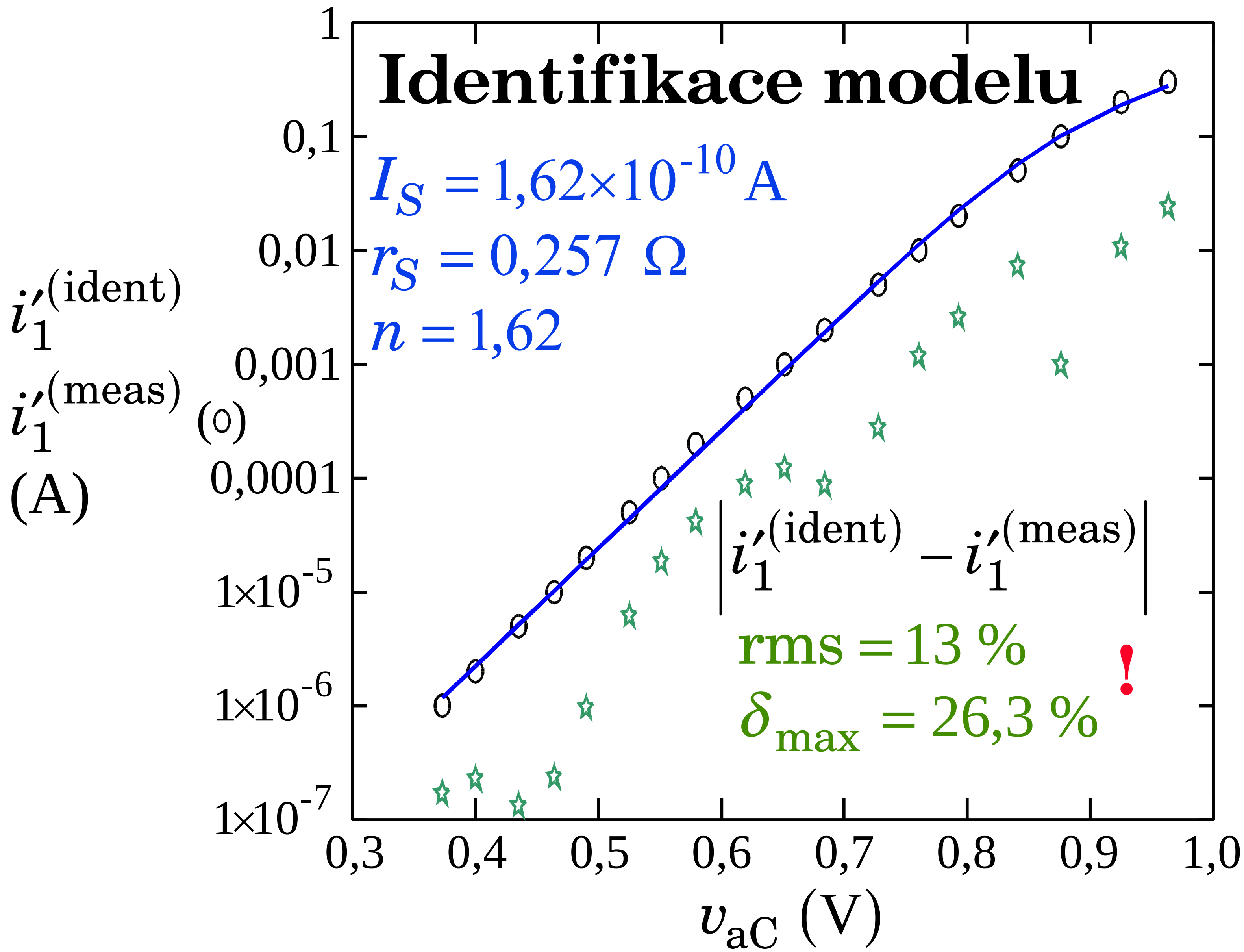
Šumový model diody



$$\overline{i_{r_S}^2} = \frac{4kT}{r_S}\Delta f$$

$$\overline{i_D^2} = \left(2qI_D + k_f\frac{I_D^{a_f}}{f}\right)\Delta f$$

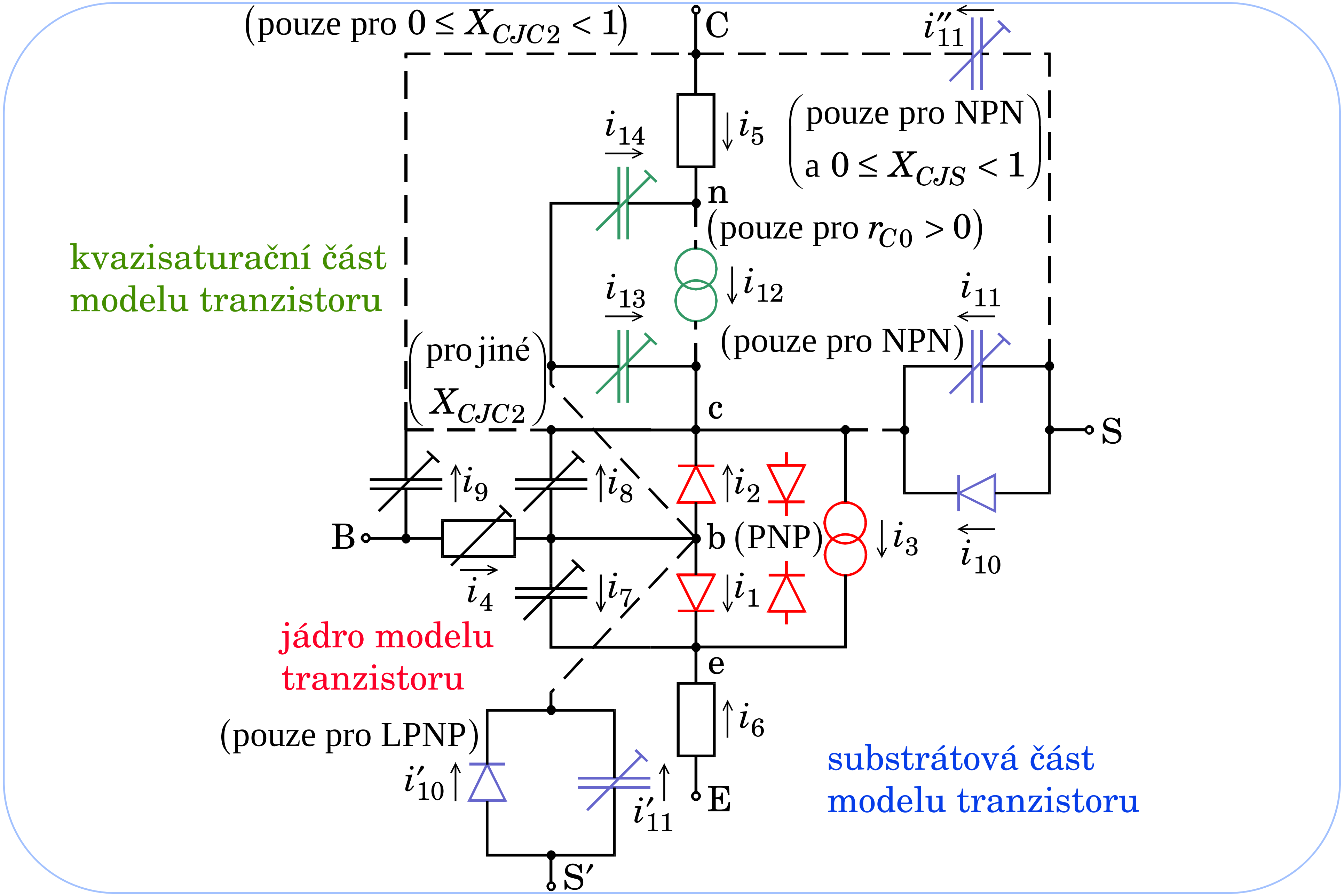
Identifikace modelu



Identifikace modelu
$I_S = 1{,}62\times10^{-10}$ A
$r_S = 0{,}257\ \Omega$
$n = 1{,}62$
$i_1'^{(\mathrm{ident})}$
$i_1'^{(\mathrm{meas})}$ (○)
(A)
1
0,1
0,01
0,001
0,0001
1×10^{-5}
1×10^{-6}
1×10^{-7}
$\left| i_1'^{(\mathrm{ident})} - i_1'^{(\mathrm{meas})} \right|$
rms = 13 %
$\delta_{\max}$ = 26,3 %
!
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
v_{aC} (V)

Model bipolárního tranzistoru

(kvazisaturační varianta modifikovaného Gummel-Poonova modelu)


(pouze pro $0 \leq X_{CJC2} < 1$)
C
i''_{11}
i_{14}
i_5
(pouze pro NPN
a $0 \leq X_{CJS} < 1$)
n
(pouze pro $r_{C0} > 0$)
kvazisaturační část
modelu tranzistoru
i_{13}
i_{12}
i_{11}
(pouze pro NPN)
(pro jiné
X_{CJC2})
c
S
i_9
i_8
i_2
B
b (PNP)
i_3
i_{10}
i_4
i_7
i_1
jádro modelu
tranzistoru
e
(pouze pro LPNP)
i_6
substrátová část
modelu tranzistoru
i'_{10}
i'_{11}
E
S′