Návrh radioelektronických obvodů počítačem

Josef Dobeš, dobes@feld.cvut.cz,
l. 2207, m. 722

přednášky 434
pondělí 12:40 až 13:50

cvičení 434 nebo 459
úterý 12:45 až 14:15
středa 7:30 až 10:45

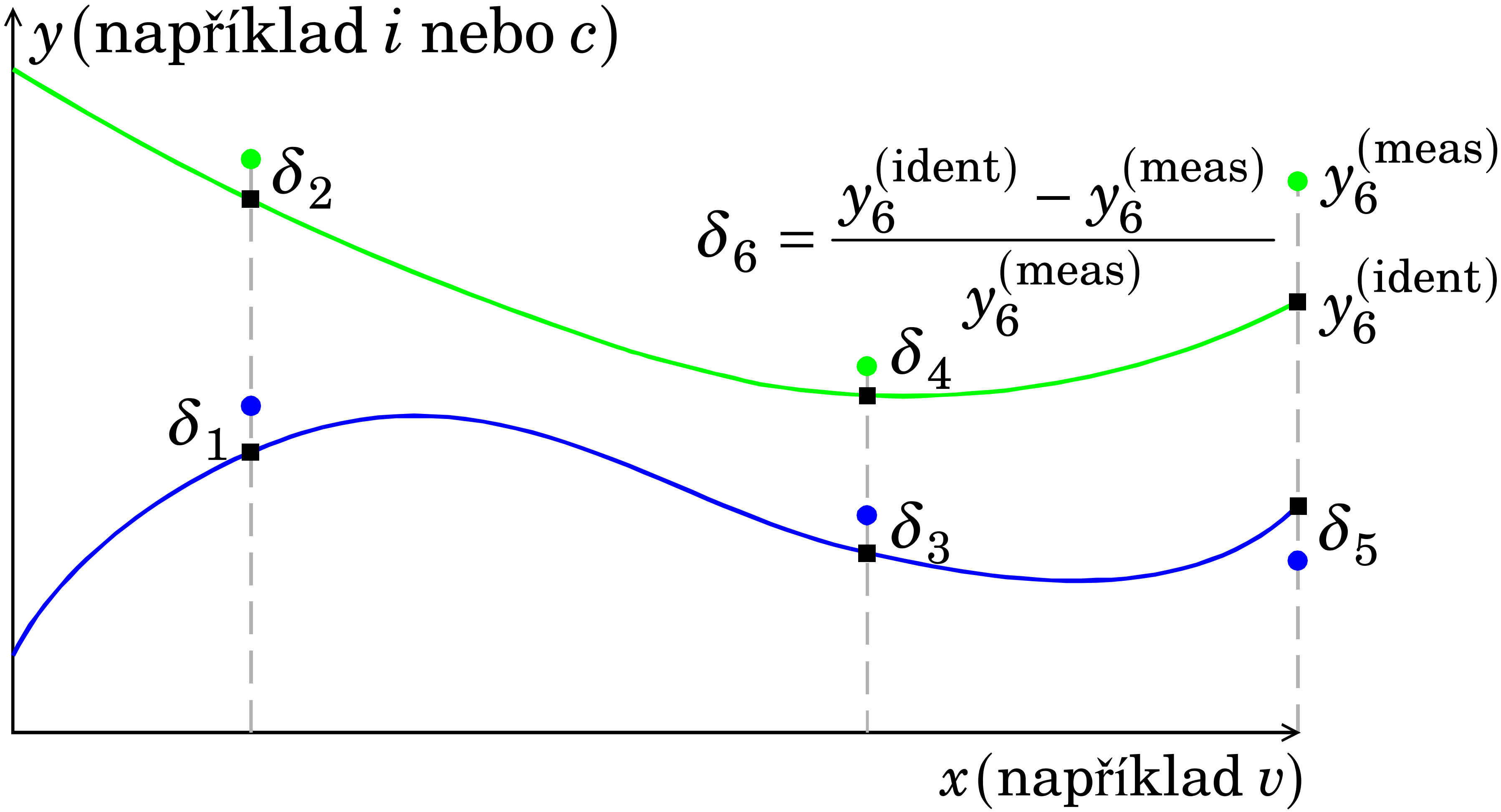
Velikost a typ písma (nadpis je 32 NewCenturySchlbk-Bold)

- toto je základní velikost písma - 28 - NewCenturySchlbk používaná (-Roman) v základních bodech a (-*Italic*) rovnicích
  - toto je velikost písma - 20 - používaná v podbodech a zároveň též velikost *sub*symbolů (indexů) v rovnicích
    - toto je velikost písma - 14,5 - ve výjimečně používaných podpodbodech a zároveň velikost *subsub*symbolů v rovnicích

Velikost a typ písma (nadpis je 32 NewCenturySchlbk-Bold)

- toto je základní velikost písma - 28 - NewCenturySchlbk používaná (-Roman) v základních bodech a (-*Italic*) rovnicích
  - toto je velikost písma - 20 - používaná v podbodech a zároveň též velikost *sub*symbolů (indexů) v rovnicích
    - toto je velikost písma - 14,5 - ve výjimečně používaných podpodbodech a zároveň velikost *subsub*symbolů v rovnicích
- toto je redukovaná tříčtvrteční velikost písma - 21 - používaná pro ty objekty, jež by se nevešly na blánu při použití základní velikosti písma
  - toto je redukovaná tříčtvrteční velikost písma - 15 - *sub*symbolů (subsubsymboly se při redukované velikosti nesmí v rovnici nikde vyskytnout) v rovnicích

Identifikace modelů - definice pojmů



- průměrná kvadratická odchylka rms (root mean square)

$$\mathrm{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} \delta_i^2}{n_p}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} \left(\frac{y_i^{(\mathrm{ident})} - y_i^{(\mathrm{meas})}}{y_i^{(\mathrm{meas})}} \right)^2}{n_p}}$$

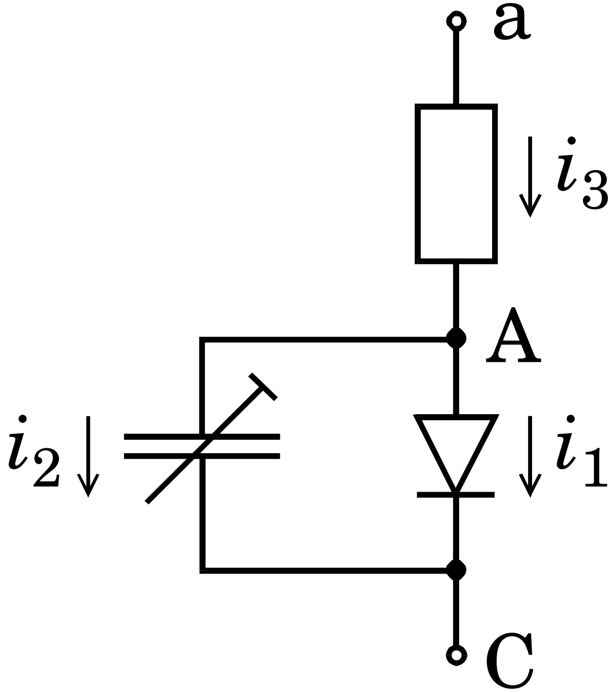
- průměrná kvadratická odchylka rms (root mean square)

$$\mathrm{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} \delta_i^2}{n_p}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} \left(\frac{y_i^{(\mathrm{ident})} - y_i^{(\mathrm{meas})}}{y_i^{(\mathrm{meas})}} \right)^2}{n_p}}$$

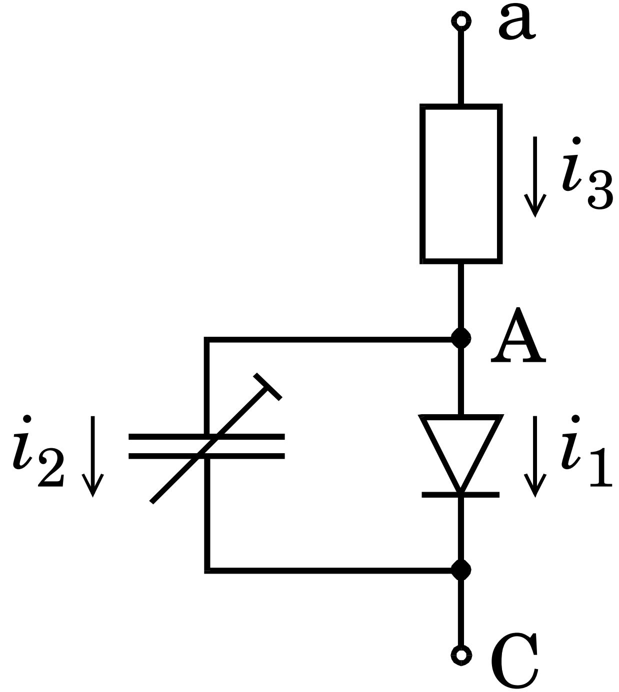
- maximální relativní odchylka $\delta_{\max}$

$$\delta_{\max} = \max_{i=1}^{n_p} \left(\left| \delta_i \right| \right) = \max_{i=1}^{n_p} \left| \frac{y_i^{(\mathrm{ident})} - y_i^{(\mathrm{meas})}}{y_i^{(\mathrm{meas})}} \right|$$

Model polovodičové diody



Model polovodičové diody



- symbol diody označuje
  - statickou voltampérovou charakteristiku přechodu PN
- symbol kapacitoru označuje paralelní
  - bariérovou kapacitu
  - difúzní kapacitu

Základní parametry modelu diody

$C_{J0}^{\square}$	Bariérová kapacita přechodu p-n při nulovém předpětí
V_B	Průrazné napětí
$I_B^{\square}$	Zpětný proud při průrazném napětí
$I_S^{\square}$	Saturační proud
m	Exponent bariérové kapacity
n	Emisní koeficient
$r_S^{\square}$	Ohmický sériový odpor
τ_D	Průletová doba
ϕ_0	Zabudovaný potenciál

- primární přepočet pomocí faktoru plochy area

$$C_{J0} = C_{J0}^{\square} \times \text{area}$$

$$I_B = I_B^{\square} \times \text{area}$$

$$I_S = I_S^{\square} \times \text{area}$$

$$r_S = r_S^{\square} / \text{area}$$

- primární přepočet pomocí faktoru plochy area

$$C_{J0} = C_{J0}^{\square} \times \text{area}$$

$$I_B = I_B^{\square} \times \text{area}$$

$$I_S = I_S^{\square} \times \text{area}$$

$$r_S = r_S^{\square} / \text{area}$$

- základní rovnicí statického modelu přechodu PN je Shockleyův vztah

$$i'_{1,\text{Shockley}} = I_S \left(e^{\frac{q v_{\text{AC}}}{kT}} - 1 \right)$$

realististické vztahy obsahují emisní koeficient n

$$i_1' = I_S \left(e^{\frac{v_{\mathrm{AC}}}{n v_T}} - 1 \right)$$

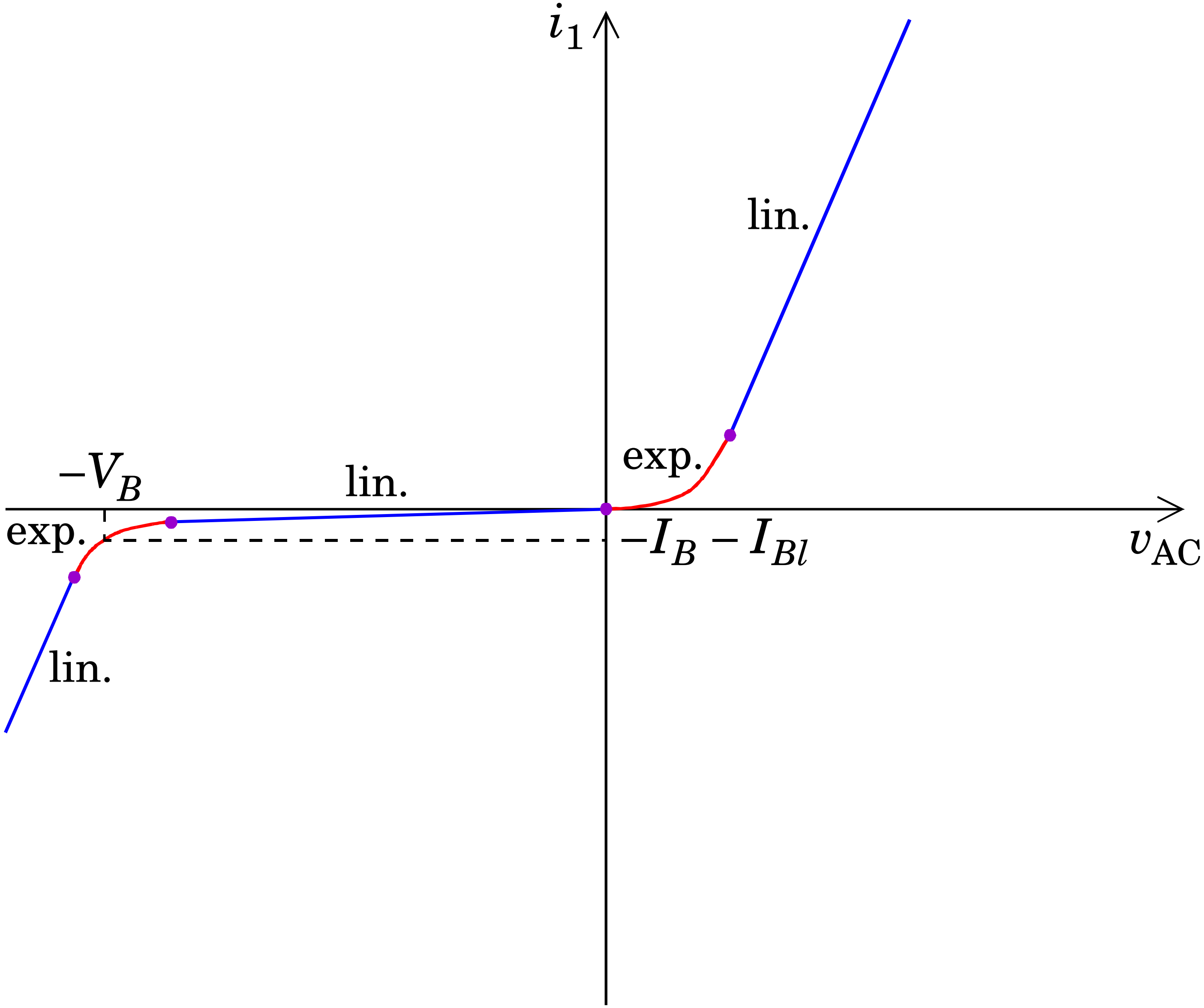
realististické vztahy obsahují emisní koeficient n a musí obsahovat omezení exponenciální funkce:

$$i_1' = I_S\left(e^{\frac{v_{AC}}{nv_T}} - 1\right)$$

$$i_1' = \frac{I_S}{nv_T} v_{AC} \quad \text{pro} \quad v_{AC} < 0$$

$$i_1' = I_S\left[e^{\frac{E_g}{v_T}}\left(\frac{v_{AC}}{nv_T} - \frac{E_g}{v_T} + 1\right) - 1\right] \quad \text{pro} \quad v_{AC} > nE_g$$

celková linearizace statického modelu včetně Zenerova průrazu



modely moderních programů SPICE formulují výsledný proud jako rozdíl přímého a zpětného proudu:

$$i_1 = i_{1F} - i_{1R}$$

modely moderních programů SPICE formulují výsledný proud jako rozdíl přímého a zpětného proudu:

$$i_1 = i_{1F} - i_{1R}$$

kde přímý proud se definuje gen.-rekomb. vztahy

$$i_{1F} = k_i\, i_1' + k_g\, i_r$$

$$i_r = I_{Sr}\left(e^{\frac{v_{\mathrm{AC}}}{n_r v_T}} - 1\right)$$

$$k_i = \sqrt{\frac{I_K}{I_K + i_1'}},\ k_g = \left[\left(1 - \frac{v_{\mathrm{AC}}}{\phi_0}\right)^2 + 5\times 10^{-3}\right]^{\frac{m}{2}}$$

modely moderních programů SPICE formulují výsledný proud jako rozdíl přímého a zpětného proudu:

$$i_1 = i_{1F} - i_{1R}$$

a zpětný proud se definuje vztahy lavin. ionizace

$$i_{1R} = I_B\, e^{-\frac{v_{\mathrm{AC}}+V_B}{n_B\, v_T}} + I_{Bl}\, e^{-\frac{v_{\mathrm{AC}}+V_B}{n_{Bl}\, v_T}}$$