



# Snímání biologických signálů

---

A6M31LET Lékařská technika

Zdeněk Horčík | Katedra teorie obvodů | [horcik@fel.cvut.cz](mailto:horcik@fel.cvut.cz)

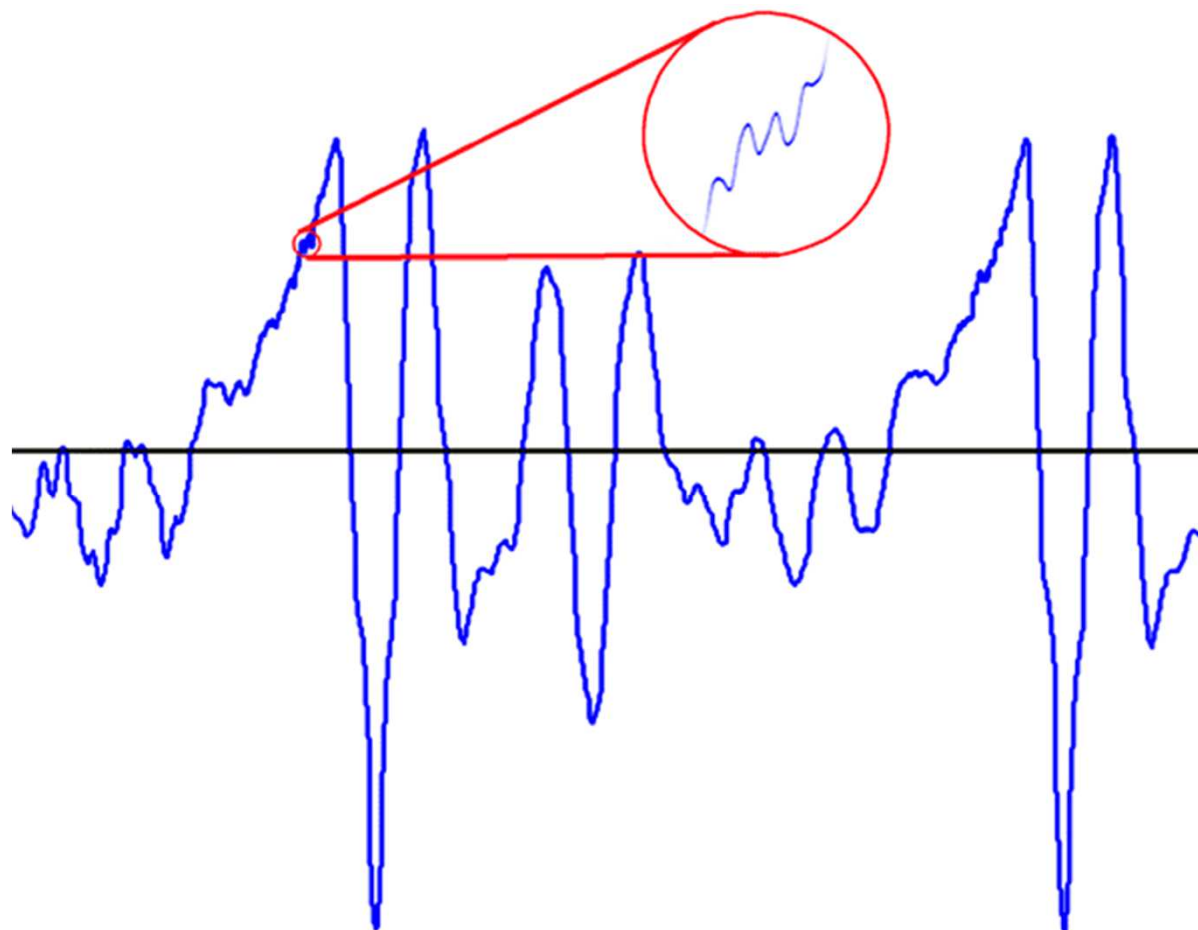
# Snímání biologických signálů

---

- **problém:** převést co nejdříve spojité signály do číslicové podoby
- **signály:**
  - EKG (elektrokardiografie, srdce)
    - $U = 0,5$  až  $5$  mV,  $f = 0,01$  až  $250$  Hz
  - EEG (elektroencefalografie, mozek)
    - $U = 5$  až  $300$   $\mu$ V,  $f = 0,1$  až  $100$  Hz
  - EMG (elektromyografie, svaly)
    - $U = 0,1$  až  $10$  mV,  $f = 0,01$  Hz až  $10$  kHz
  - a další, třeba zvuk, apod.

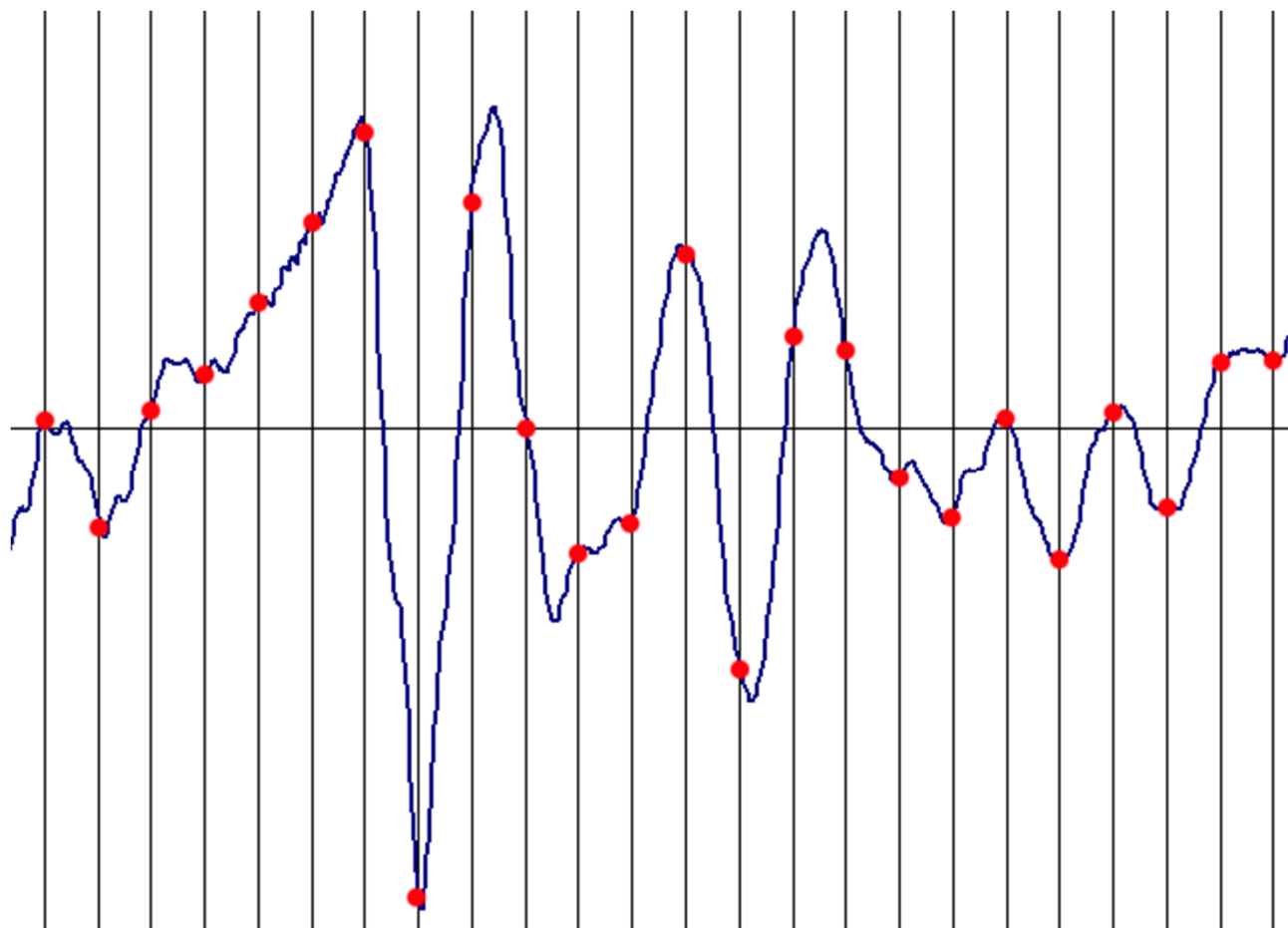
# Původní analogový signál

---

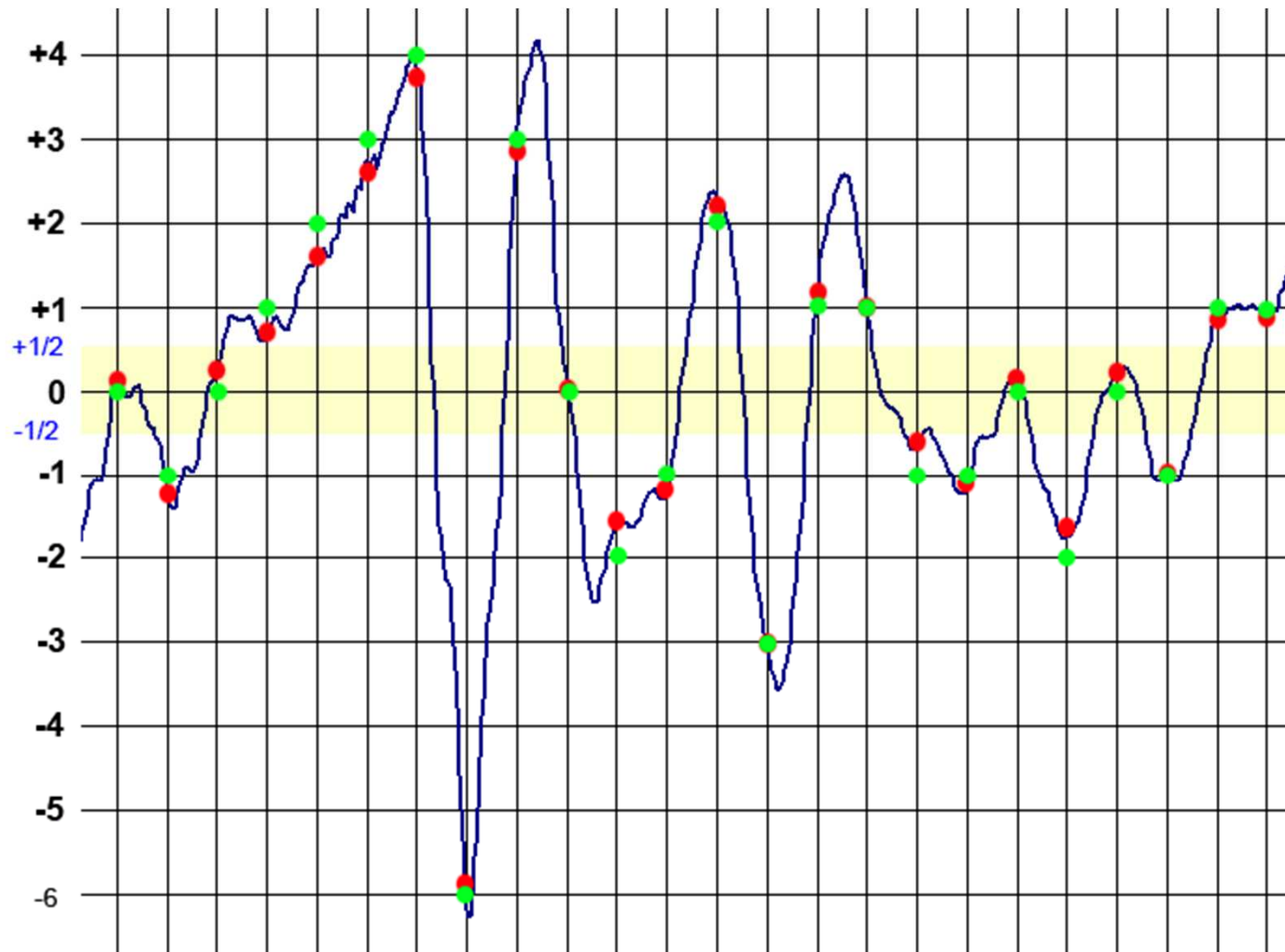


# Vzorkování

---

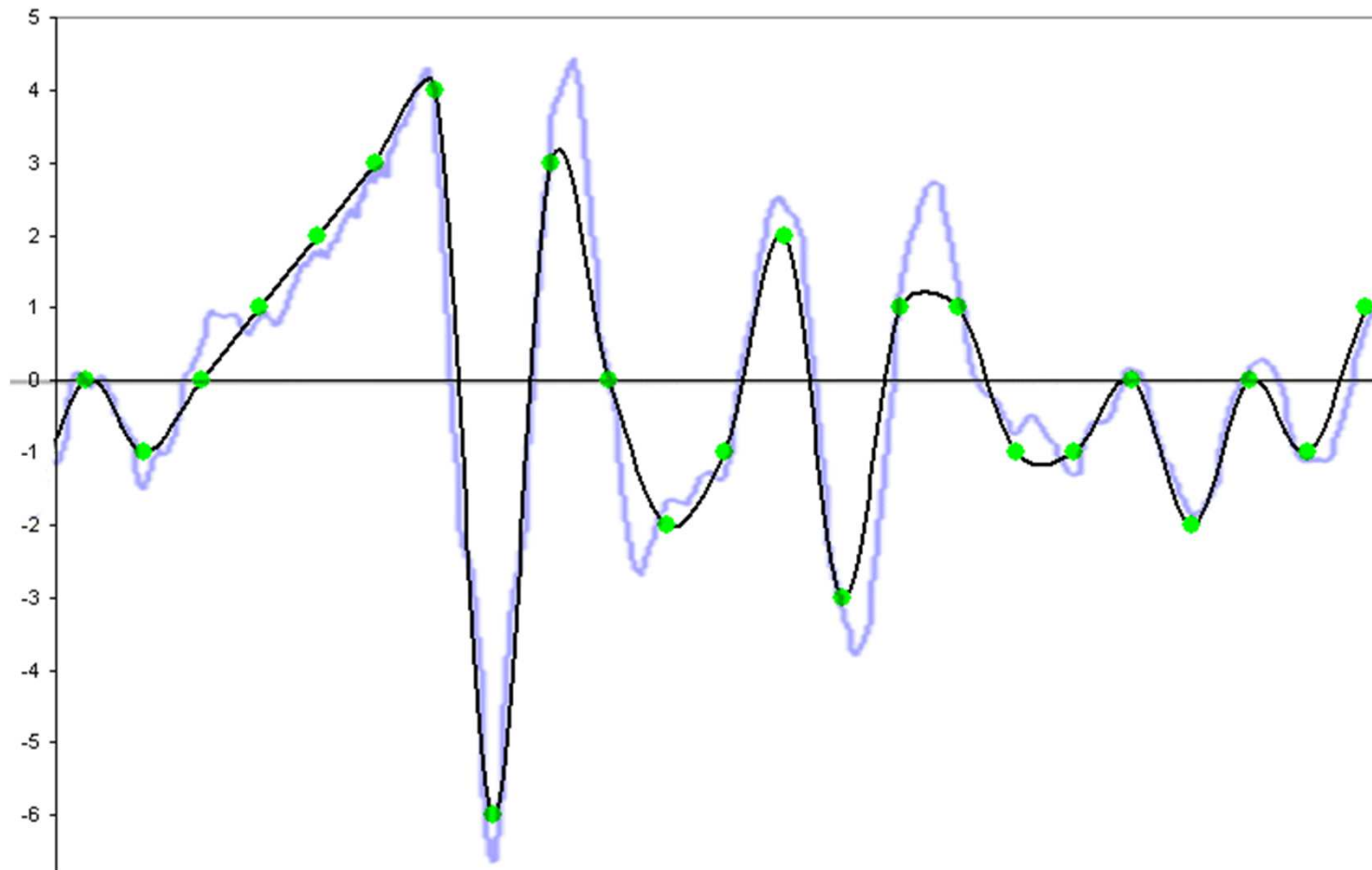


# Kvantování



# Signál po rekonstrukci

---



# Požadavky, problémy

---

- vzorkování – okamžiky vzorkování – ztráty informace, podmínky pro vznik aliasingu
- kvantování – dostatečný počet kvantizačních úrovní, ztráty informace, SNR
- Jak se liší signál po rekonstrukci?

- (předchozí 4 obrázky: Serych, cs.wikipedia.org)

# Vzorkování, aliasing

---

- vzorkovací teorém (Shannonův, Nyquistův, Shannon-Nyquistův, Shannon-Kotělnikův)
  - vzorkovací frekvence musí být větší než dvojnásobek frekvence nejvyšší harmonické složky obsažené ve vzorkovaném signálu
- nedodržení vzorkovacího teorému – aliasing – překrytí frekvenčních spekter, chybný signál
- běžně známé projevy – stroboskopický efekt – zastavení pohybu pohyblivých částí, pomalé otáčení vpřed i vzad u filmovaných rotujících částí, jako jsou kola apod., moaré v obrazu, zkreslení zvuku



# Kvantování

---

- u A/D převodníků obvykle převod na celočíselnou hodnotu z rozsahu 0 až  $2^N-1$  pro N-bitový převodník
- chyba kvantování, kvantizační šum
- odstup signálu od šumu – SNR (Signal to Noise Ratio)

SNR je obecně poměr efektivních hodnot  $u_{ef}/\eta_{ef}$  v dB, tedy

$$SNR = 20 \log \frac{u_{ef}}{\eta_{ef}}$$

- nejmenší možná chyba A/D převodníku

$$\varepsilon_{AD} = (2/3)^{1/2} \cdot 1/2^N$$

# Kvantování

---

- pro ideální převodník

$$\text{SNR} = 1,76 + 6,02N \text{ [dB]}$$

- příspěvek šumu od předchozích obvodů rozsah zhorší, pak efektivní počet bitů převodníku

$$N_{\text{ef}} = (\text{SNR}_X - 1,76)/6,02$$

- celková chyba  $\varepsilon_{\text{celk}}$

$$\varepsilon_{\text{celk}} = (\varepsilon_{\text{iAD}}^2 + \varepsilon_{\text{AD}}^2)^{1/2}$$

kde  $\varepsilon_{\text{iAD}}$  je chyba na vstupu A/D převodníku

# Chyby A/D převodníků

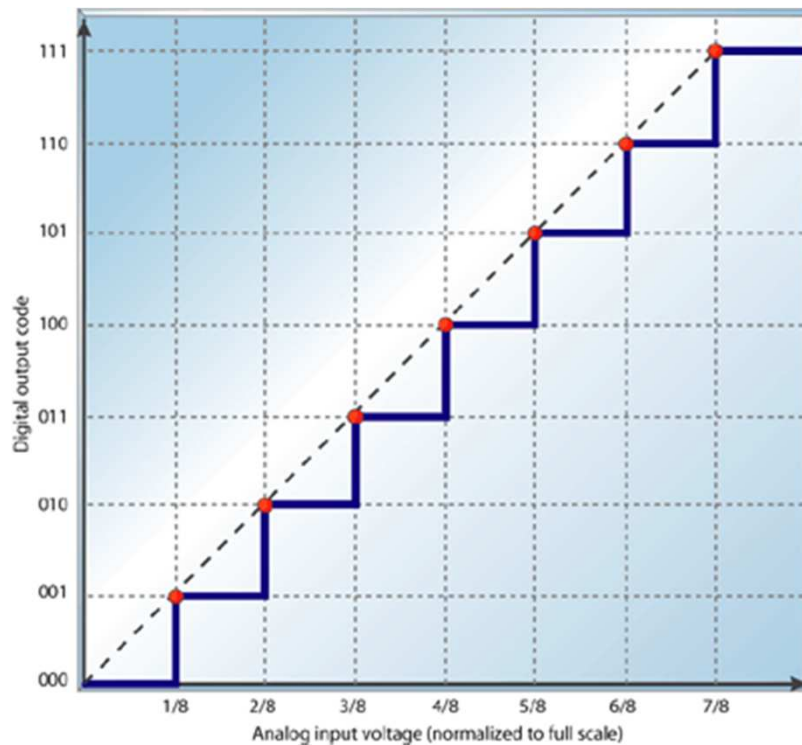
---

- aditivní (offset)
- multiplikativní (zesílení)
- diferenciální nelinearita
- integrální nelinearita
- dynamické chyby – ustalování, přechod

# Chyby A/D převodníků

Obrázky z <http://www.eetimes.com/design/embedded/4025078/Understanding-analog-to-digital-converter-specifications> a z <http://www.wikipedia.org>

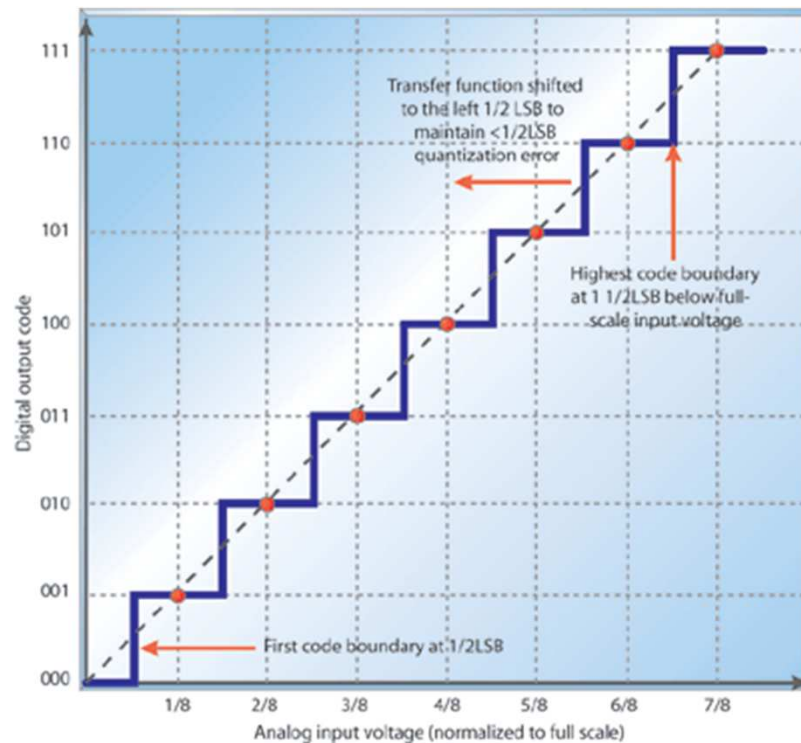
## Ideální převodní charakteristika bez zavedeného offsetu



Kvantizační šum (chyba) je v rozsahu 0-1 LSB, potom dochází k překlopení do dalšího stavu, tj. změny výstupního slova jsou na úrovních  $n/2^N$  rozsahu vstupního napětí

# Chyby A/D převodníků

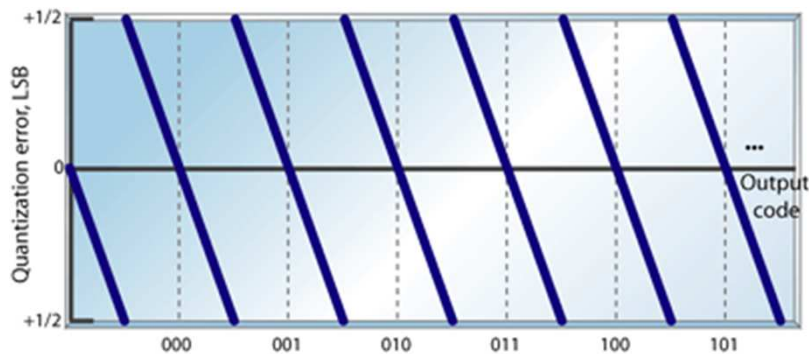
Ideální převodní charakteristika s offsetem  $\frac{1}{2}$  LSB



Zavedení posunu o  $-1/2$  LSB vede ke zmenšení absolutní hodnoty největší chyby převodu na  $1/2$  LSB, rozsah chyby je  $-1/2$  až  $+1/2$  LSB

# Chyby A/D převodníků

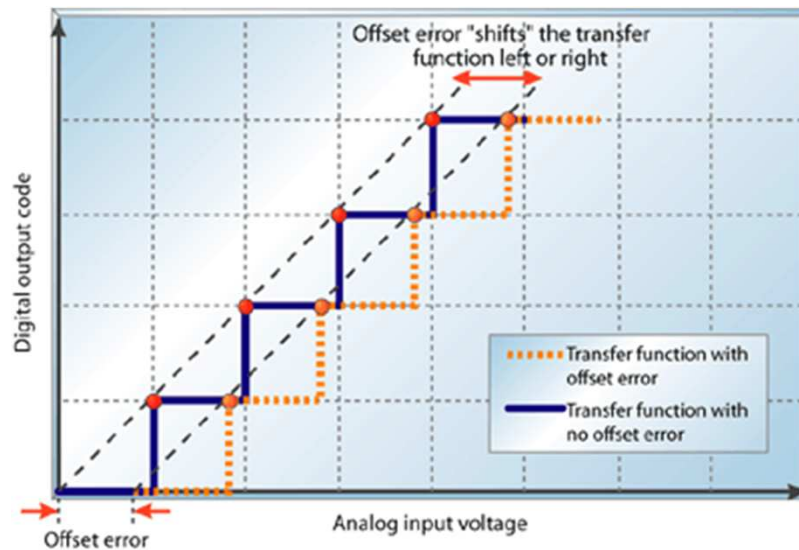
## Kvantizační chyba



Průběh kvantizační chyby převodníku se zavedeným offsetem  $1/2$  LSB (pozor na chybu v grafu, popis spodního konce osy Y má být  $-1/2$  LSB)

# Chyby A/D převodníků

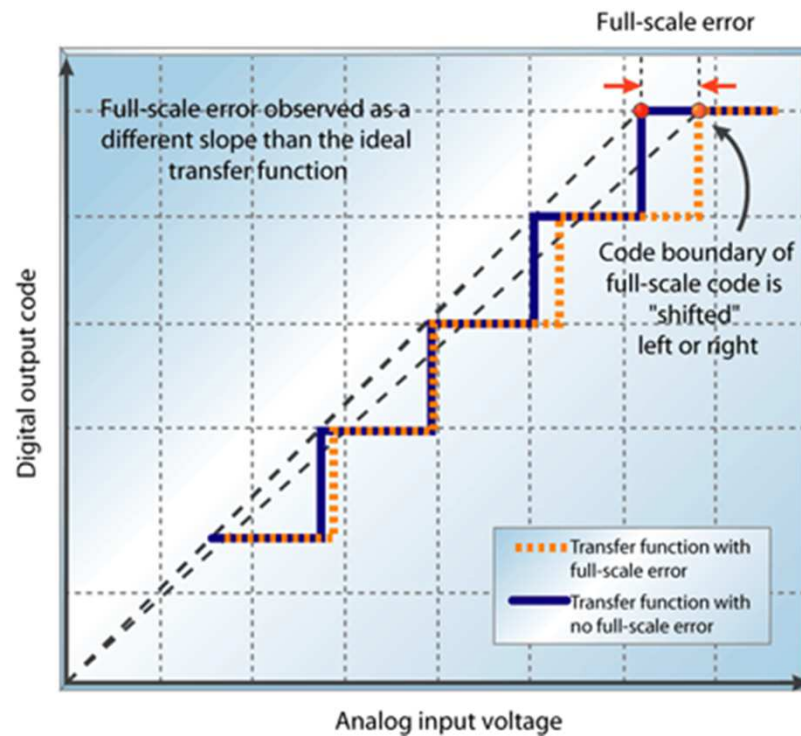
## Chyba offsetu



Ke změně výstupního slova převodníku dojde až při vstupním napětí o offset větším, než je požadované

# Chyby A/D převodníků

## Chyba zisku (zesílení)

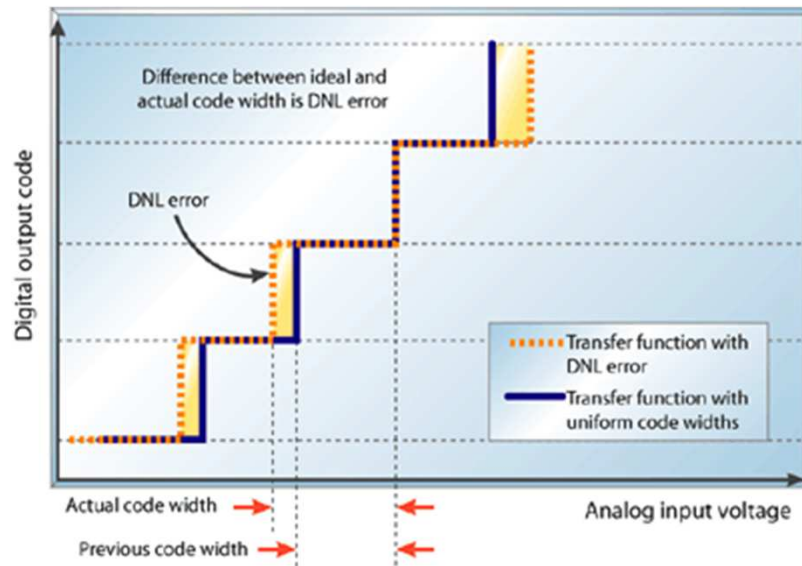


Chyba zisku je měřena pro plný rozsah vstupního napětí A/D převodníku



# Chyby A/D převodníků

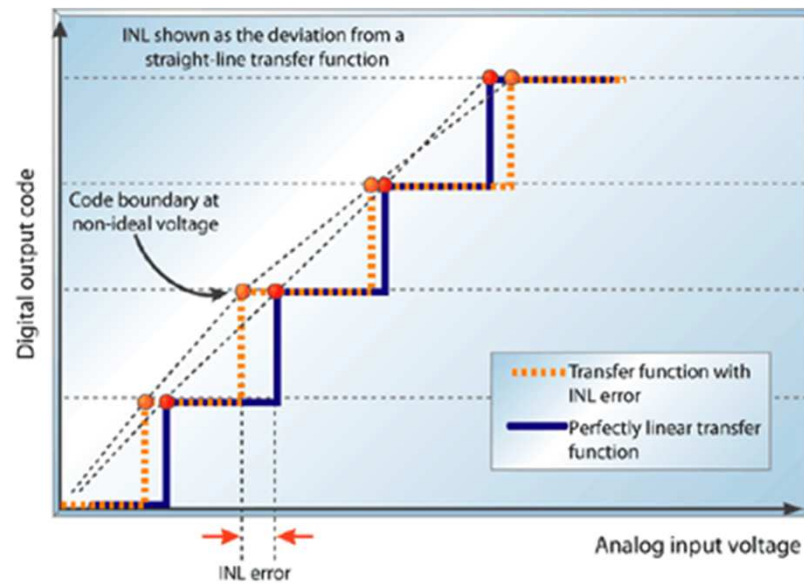
## Diferenciální nelinearita



Nepřesnost určení napěťové úrovně jednotlivých kroků převodníku

# Chyby A/D převodníků

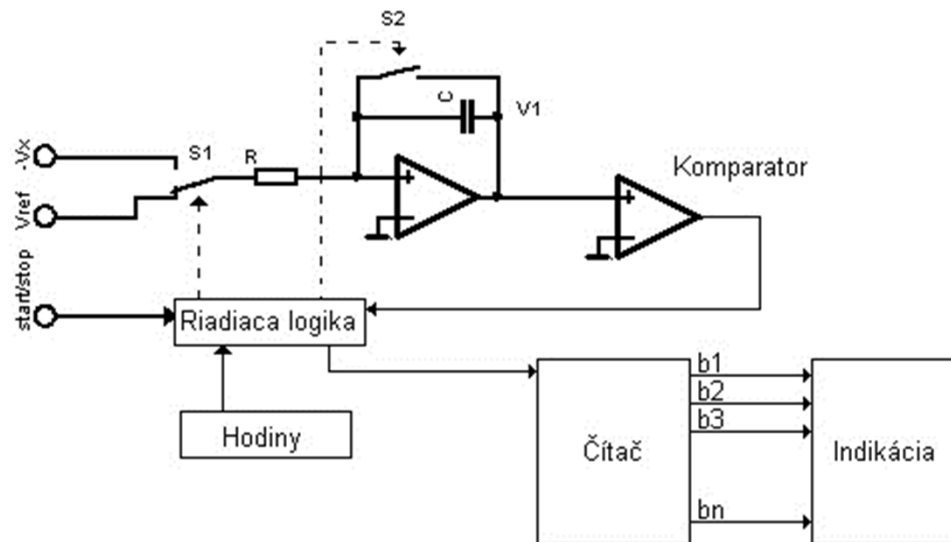
## Integrální nelinearita



Vyjadřuje odchylku skutečné charakteristiky od ideální charakteristiky.

# A/D převodník

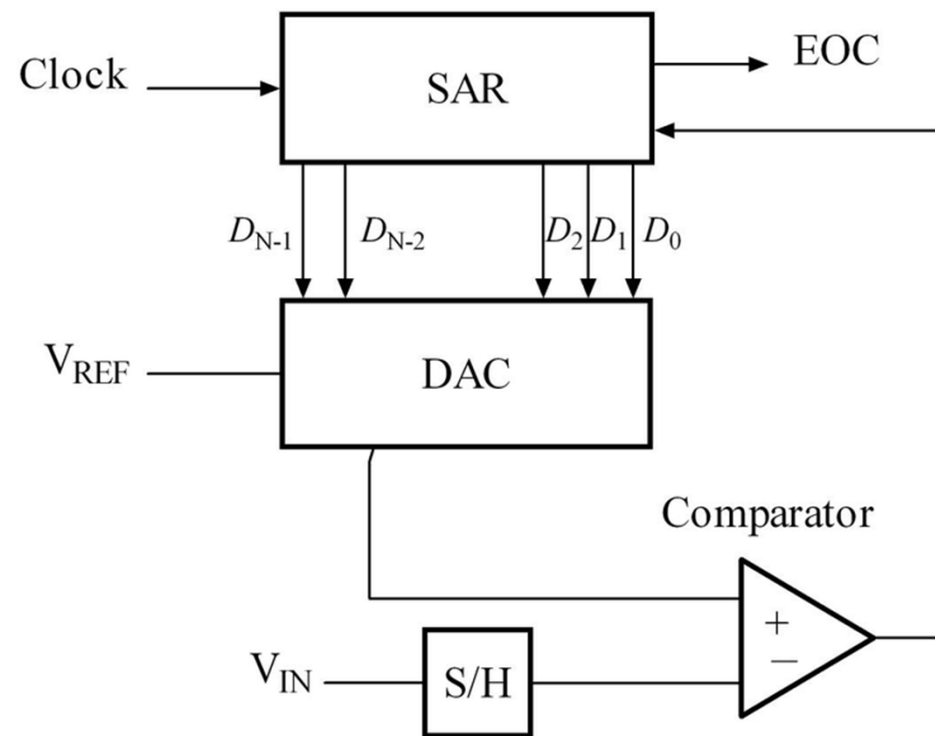
Integrační (s dvojitou integrací)



- integrace ve dvou fázích – nejprve integrace vstupního napětí, poté integrace referenčního napětí opačné polarity

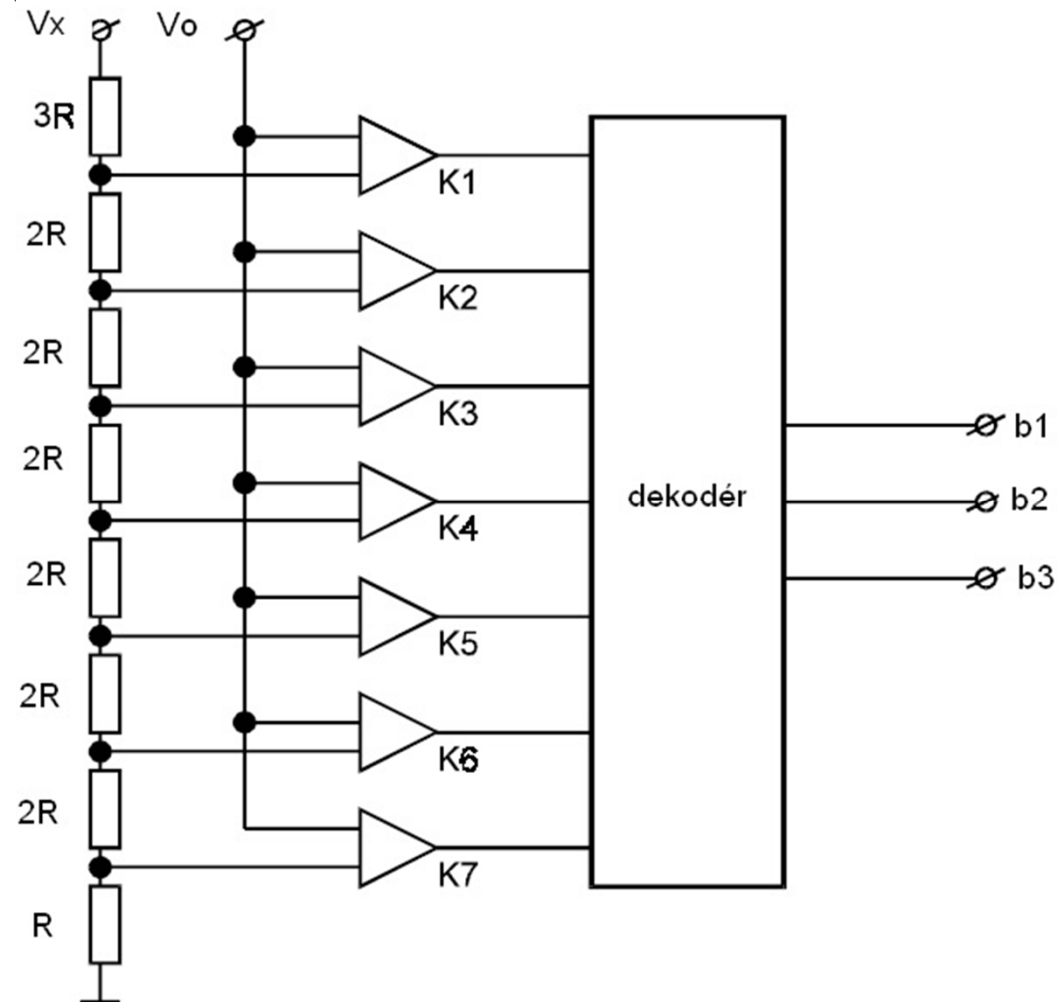
# A/D převodník

S postupnou aproximací



# A/D převodník

## Paralelní („Flash“)



# A/D převodník

## Sigma-delta

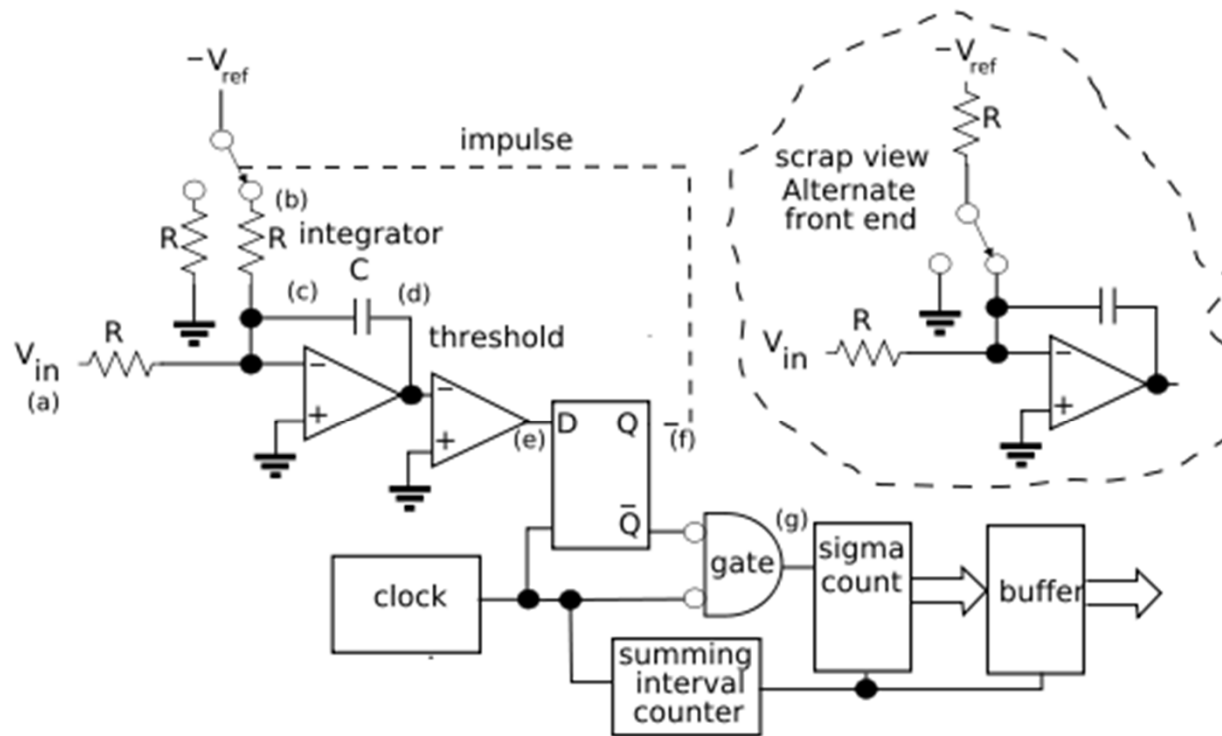


Fig. 1b - Circuit Diagram

# Literatura

---

1. Neumann, P., Uhlíř, J: Elektronické obvody a funkční bloky 2. Vydavatelství ČVUT FEL Praha, 2001.
2. <http://www.eetimes.com/design/embedded/4025078/Understanding-analog-to-digital-converter-specifications>
3. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00693a.pdf>
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital\\_converter](http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter)
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sawtooth\\_wave](http://en.wikipedia.org/wiki/Sawtooth_wave)

# Literatura

---

7. [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantization\\_error](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_error)
8. [http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D\\_převodník](http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_převodník)
9. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Aliasing>