

---

# A/D PŘEVODNÍKY

---

- Charakteristika, použití, přesnost a princip převodu
- Analogový vs. Digitální signál
- Popis a funkce převodníků
  - Paralelní
  - Přírůstkový
  - S vratným čítačem
  - S postupnou aproximací
  - S dvojitou integrací
  - Sigma-delta

## Charakteristika

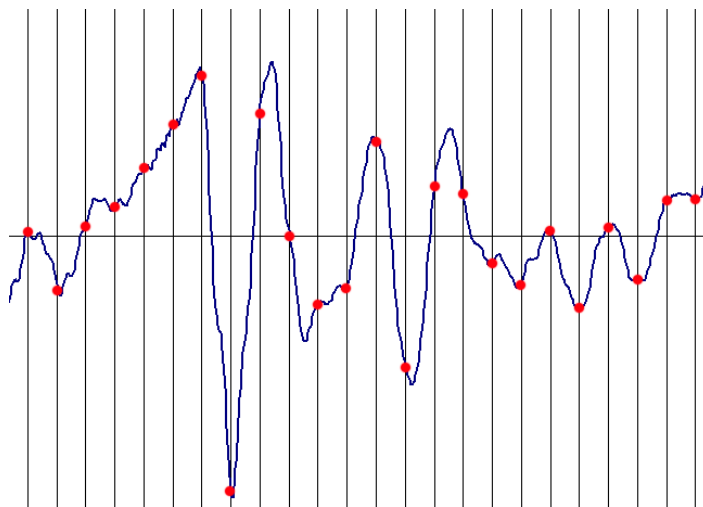
- Analogově-digitální převodník je elektronická součástka, který je určena pro převod analogového (spojitého) signálu na signál digitální
- Důvodem tohoto převodu je umožnění zpracování původně analogového signálu na číslicových počítačích
- Využívá se vždy ve spojení s mikroprocesorem v aplikacích, kdy je nutné měřit určitou analogovou veličinu
- V praxi se používá několik druhů převodníků, které pracují na různých principech a mají jiné vlastnosti
- Analogové signály lze přenášet po převodu na číslicový signál s menším zkreslením
- Opakem je DA převodník

## Princip přenosu



### VZORKOVÁNÍ

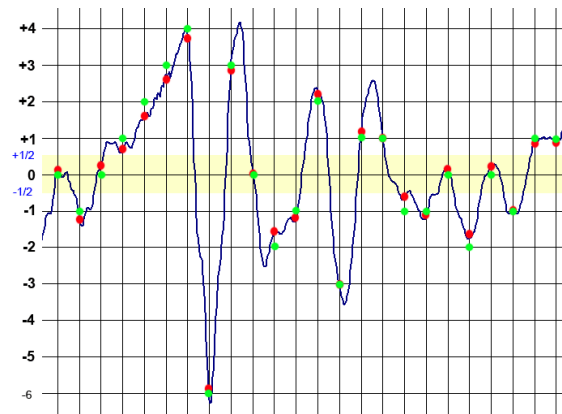
- Vzorkování se provede tím způsobem, že rozdělíme vodorovnou osu signálu  $T$  na rovnoměrné úseky a z každého úseku odebereme jeden vzorek
- perioda  $T$  je vždycky stejně velká
- Hodnota se pošle do kondenzátoru, který slouží jako analogová paměť. Vzdálenost vzorků se bude lišit vzorkovací frekvencí, čím bude vzorkovací frekvence větší, tím bude více vzorků a kvalitnější převedený signál



- Převod ovlivňují tyto vlastnosti:
  - Přesnost převodu Vzorkovací frekvence
  - Citlivost
  - Rychlost převodníku
  - Zkreslení
  - Rychlost vzorkování
- Chyby
  - Chyba zesílení
  - Chyba nuly
  - Chyba konstanty
  - Chyba linearity
  - Chyba způsobená dobou vzorkování
  - Integrální nelinearita
  - Diferenciální nelinearita
- Kvantizační šum
  - Je důsledkem kvantování
  - Je to rozdíl kvantovaného a vstupního spojitého signálu

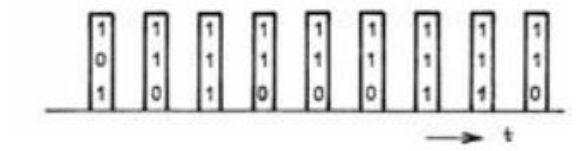
### KVANTOVÁNÍ

- Kvantování probíhá podle toho, v jaké části se nachází vzorek, tak podle rozhodovací úrovně se zaokrouhli nahoru nebo dolů
- při zaokrouhlení vznikne zkreslení (kvantizační šum)
- kvantované hodnoty jsou označeny zeleně



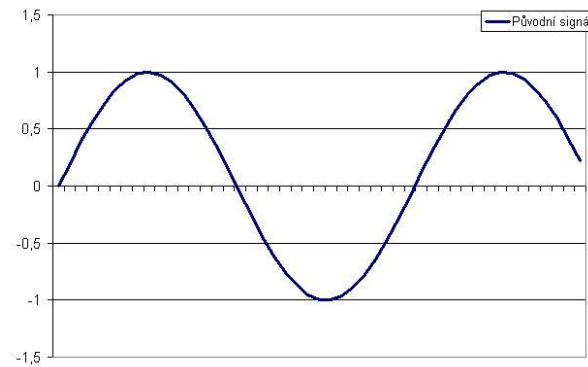
### KÓDOVÁNÍ

- Kódování znamená, že ke každému vzorku se přiřadí hodnota v binární podobě
- Příklad výstupního číselného kódu: 1011001
- První číslo zleva je MSB = bit s největší vahou, poslední číslo je LSB = bit s nejmenší vahou



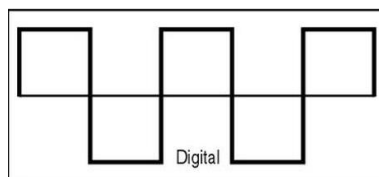
## Analogový signál

- Je spojitý v čase a v amplitudě
- Má nekonečné množství hodnot
- Je to přirozeně vytvořený signál (nejpřirozenější je řeč), napětí, tlak, světlo, radiové vysílání
- Lze uchovat na VHS kazetě, magnetofonových páskách, gramofonových deskách
- S opakovanou reprodukcí ztrácí na kvalitě

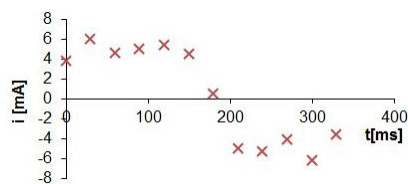


## Digitální signál

- Spojitý v čase, ale nespojitý v amplitudě



- Nespojitý v čase ani v amplitudě



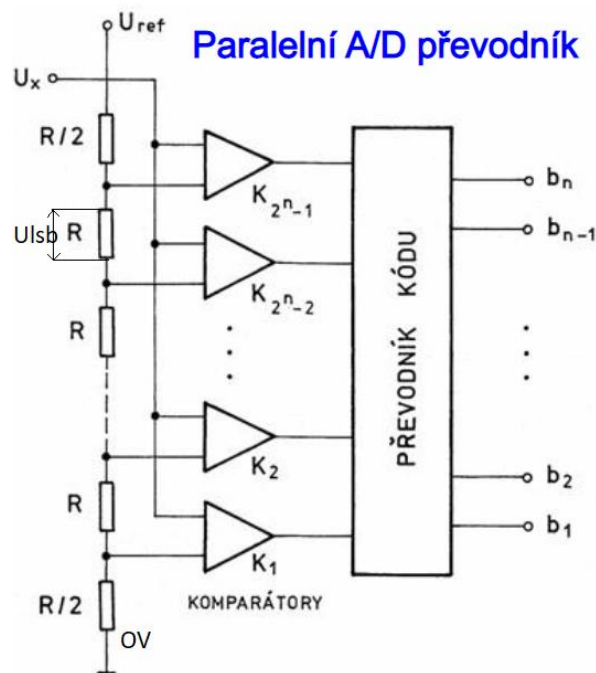
- Je tvořen posloupností vzorků, které mohou nabývat pouze omezeného počtu hodnot
- Po opakované reprodukci neztrácí na kvalitě
- Lze uchovat na flash discích, cd, disketách, hdd, ssd

**Paralelní převodník (FLASH)**

- Nejrychlejší typ převodníku – rychlost je dána rychlostí komparátoru, řádově ns
- Pro  $n$ -bitový převodník je potřeba  $2^n - 1$  komparátoru (3 bitový = 7 komparátorů)
- Přesnost není moc velká (technologická náročnost výroby odporů)
- Pro snížení nákladů a zvýšení přesnosti je možné kaskádové zapojení
- Pracuje se vzorkovacími frekvencemi nad 100 MHz
- Používá se k digitalizaci obrazu

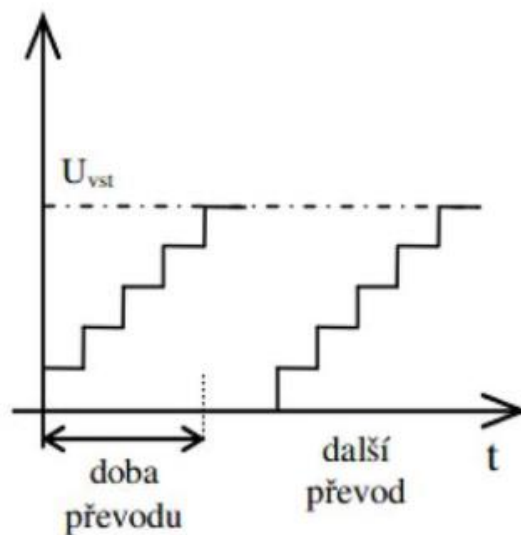
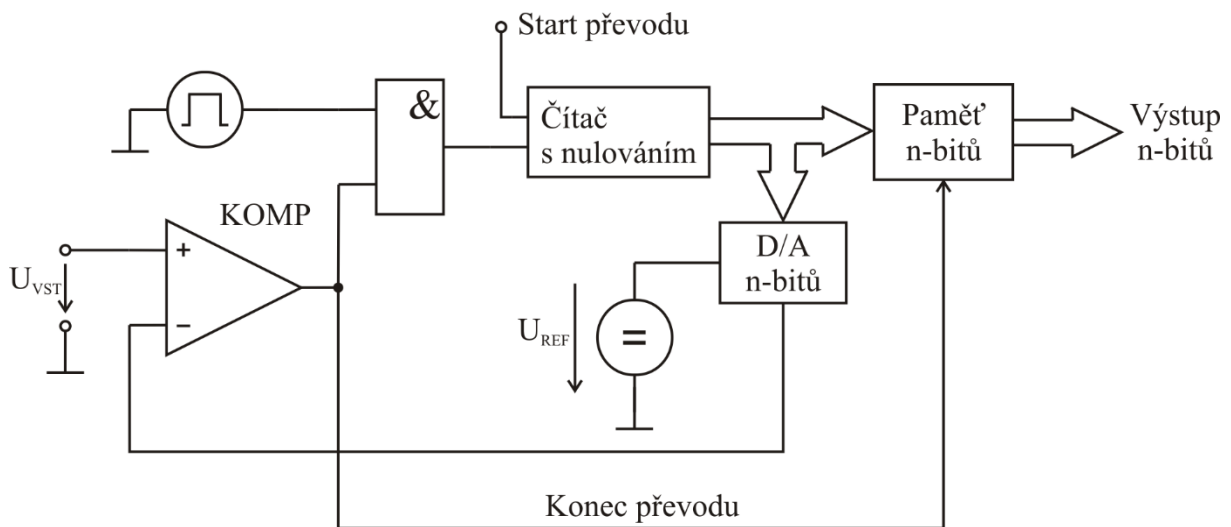
- **FUNKCE**

- Komparátory porovnávají převáděné napětí  $U_x$  s referenčním napětím  $U_{ref}$
- Díky přesnému odporovému děliči je  $U_{ref}$  rovnoběžně rozděleno na dílčí komparátory
- $U_x = 0\text{ V}$  -> na výstupech komparátoru je log 0
- $U_x = U_{ref}$  -> na výstupech příslušného komparátoru je log 1
- Dekodér se postará o převod do binární podoby
- $U_{lsb}$  je na každém odporovém děliči stejné
- Výstup z komparátoru je většinou ještě přiveden na D-klopný obvod a až potom do dekodéru
- Kvůli CLK je výstup z komparátoru přiveden na D-klopný obvod, a až pak na dekodér



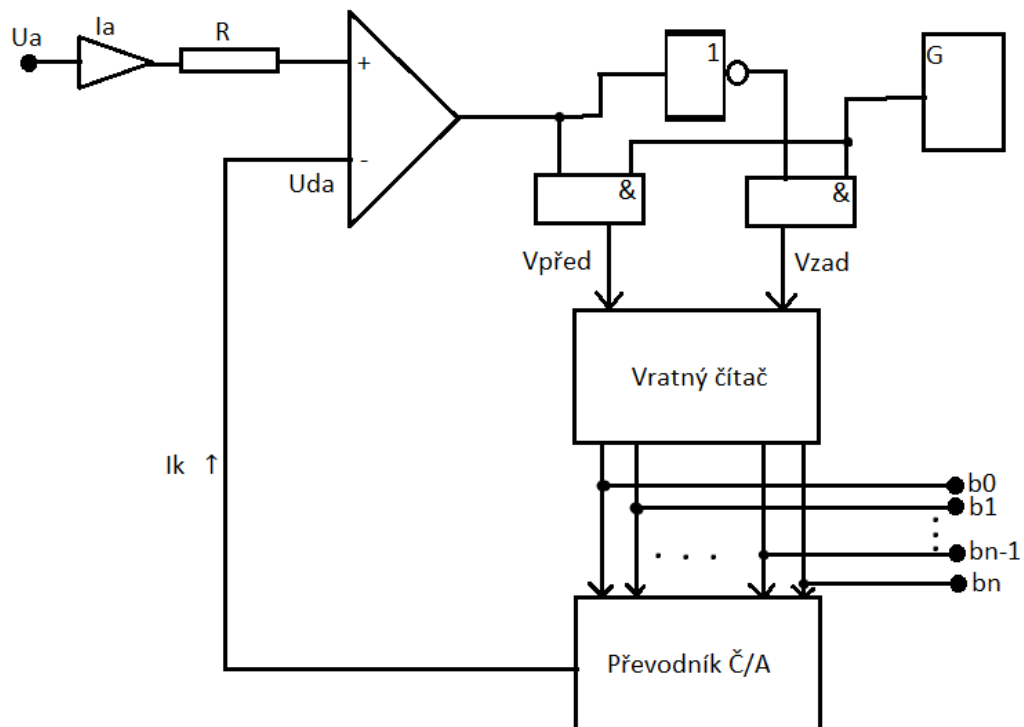
**Přírůstkový (čítací) převodník**

- Jedná se o kompenzační převodník
- Čítač je inkrementován na základě impulsů a výstupu z komparátoru
- Na začátku je obsah čítače vynulován
- Výstup komparátoru = "1"
- S každým impulzem je zvýšená hodnota čítače
- Čímž také narůstá napětí  $U_{DA}$
- $U_{DA} > U_{vst}$  -> Výstup komparátoru je "1" -> konec čítání a hodnota převáděného napětí je uložena v čítači (v paměťové části)



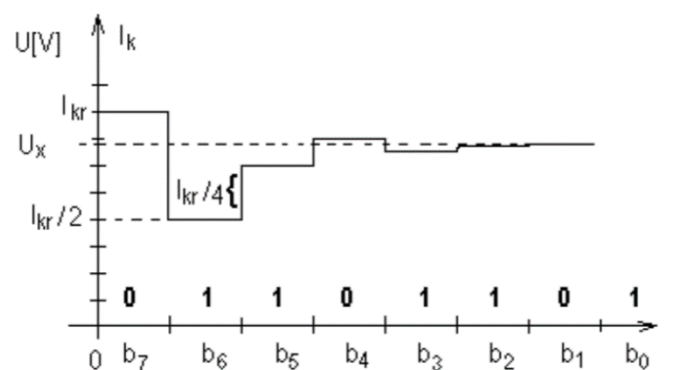
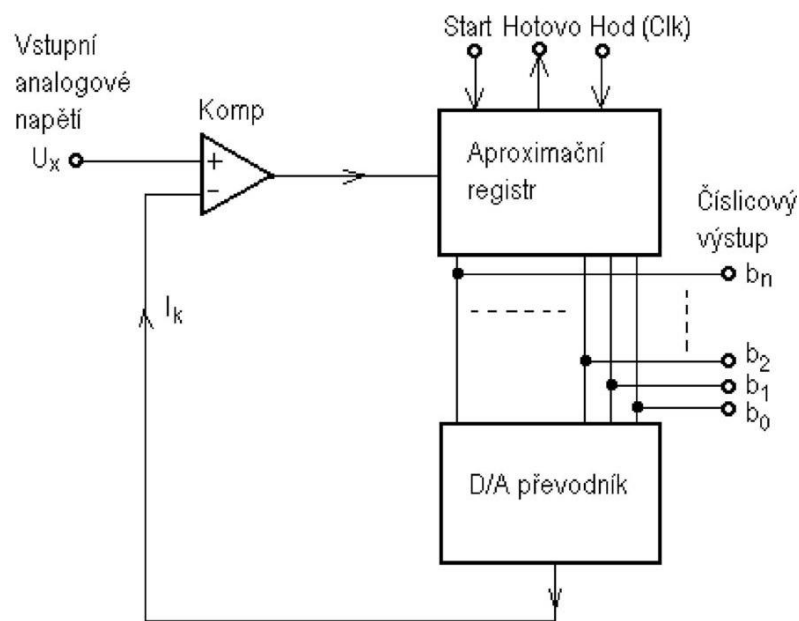
**Sledovací (s vratným čítačem) převodník**

- Princip stejný jako čítací
- Využití obousměrného čítače, může čítat vpřed i vzad
- Směr je řízen výstupem komparátoru, takže číslicový výstup sleduje změny vstupního napětí
- V každém taktu generátoru hodinových impulsů mění slova vždy o hodnotu LSB
- Špatně reaguje na rychlé změny signálu
- Poskytuje okamžitou hodnotu  $U_x$
- Často používány převodník



**Převodník s postupnou aproximací**

- Postupná kompenzace napětí od MSB po LSB
- Nejdříve je vynulován registr
- Na začátku cyklu převodu se nastaví hodnota převodu výstupu registru na 100000000
- MSB nastaven na „1“ -> DA vytvoří  $U_{da} = U_{ref} / 2$
- $U_{da} < U_x \Rightarrow$  bit zachován
- $U_{da} > U_x \Rightarrow$  bit nulován
- Má pevnou dobu převodu
- Vysoká přesnost
- Používá se u voltmetrů a digitálních osciloskopů
- Využívá konstantní napětí na vstupu během převodu (na vstupu kondenzátoru)
- Doba převodu je nižší než u čítacího převodníku a je nezávislá na vstupním napětí
- Změna vstupního napětí během převodu způsobí chybu, a proto na rozdíl od čítacího převodníku musí být vstup opatřen vzorkovacím obvodem





## S dvojitou integrací

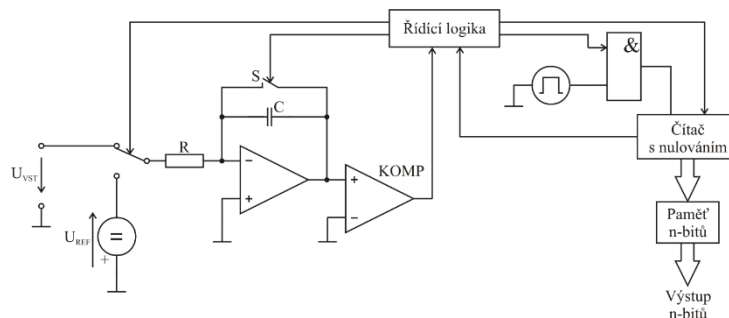
- Pomalý, ale velmi přesný
- Odolný proti brumu (něco co ruší signál, vzniká z transformátoru) a šumu
- Analogový signál je transformován na časový interval, který je následně digitalizován
- Převod je složen ze dvou fází
- Použití: multimetry
- Před první fází je čítač vynulován a kondenzátor vybitý

### 1.fáze:

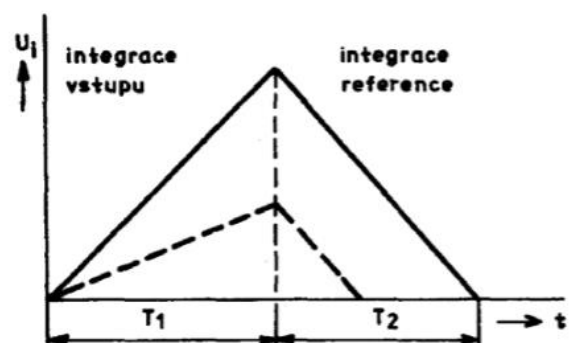
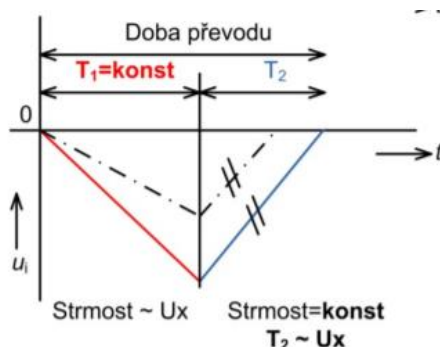
- Signálem „start“ se otevře hradlo a do čítače začnou přicházet impulzy, zároveň je na přepínači  $U_{VST}$
- Po konstantní dobu se integruje  $U_{VST}$  ( $U_i$  lineárně roste) a obsah čítače roste konstantní rychlosti  $T_x$
- Po naplnění se přepne přepínač na konstantní  $U_{REF}$  (opačná polarita  $U_{VST}$ )

### 2.fáze:

- Na vstupu integrátoru je konstantní napětí opačné polarity → začne klesat napětí na jeho výstupu
- Čítač čítá příchozí impulzy od nuly po dobu  $T_{REF}$  (vybití kondenzátoru)
- Napětí  $U_i$  lineárně klesá rychlosti úměrnou velikosti  $U_{REF}$
- $U_i = 0$  → změna výstupu komparátoru, signál „stop“ → uzavřená hradla → hodnota uložena v čítači
- Obsah čítače je úměrný času  $T_{REF}$ , který je úměrný velikosti  $U_{VST}$
- Měřené napětí je úměrné době druhé integrace
- $U_{REF}$  má opačnou polaritu než měřené napětí → díky tomu se bude vybíjet kondenzátor



- Došlo k naplnění čítače a přetečení převodníku, přepnutí první fáze na druhou



## Sigma-delta převodník

- Rozdělen na analogovou a digitální část

### Analogová

- Jednoduchá, pomalejší (integrátor, komparátor, zdroj  $U_{ref}$ , obvody pro slučování analogových signálů)

### Digitální:

- Složitější, rychlá (číslicová filtrace a decimace vzorkovaného signálu)
- Vzorkovací frekvence je  $n$  – krát větší než  $f_{max}$  vstupního signálu
- Klasické A/D převodníky využívají Shannonův teorém
- ( $f_{vz} = 2 * f_{max}$ )
- Mnohem větší počet vzorků => oversampling
- Na základě komparátoru se přepíná výstup z D/A převodníku
- Číslicový filtr:
  - Potlačuje šum způsobený vzorkováním
- Decimace signálu:
  - Redukce délky signálu -> odstranění vybraných vzorků (např. každý  $n$ -tý ->  $n$ -krát kratší signál)
- Vzorkovací kmitočty:
  - 44,1kHz / 96kHz / 192kHz
- Doba převodu jsou jednotky  $\mu s$
- Levné, vysoké rozlišení (24, 32 bit), nízká spotřeba
- Digitální filtr, potlačují kvantizační šum
- Vhodné pro audiotechniku

## $\Delta\Sigma$ Modulator

