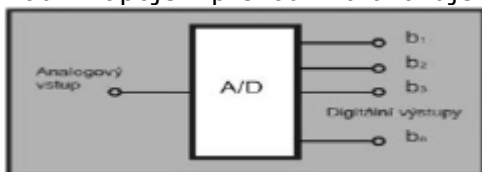


- DAC -

Úvod

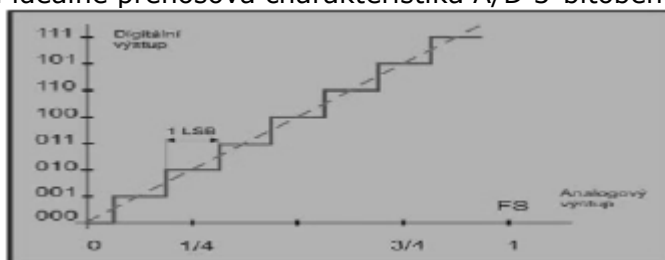
A/D převodník převádějí analogové (spojité) veličiny na digitální (nespojitou) informaci. Základní zapojení převodníku ukazuje obr.



Řada zdrojů informace vytváří signál v analogové formě, ale číslicové zařízení může zpracovat informaci jen v číslicové formě. Pro umožnění zpětného působení na přenášenou informaci je třeba u číslicové formy získat analogové napětí nebo proud.

Ideální přenosová charakteristika A/D převodníku

Bitové koeficienty, které tvoří digitální data, můžeme dostávat na výstupu A/D převodníku buď současně (máme N paralelních výstupů) nebo postupně – sériově na jednom výstupu, při čemž koeficient b1 odpovídající MSB vystupuje jako první. Na obr. Je znázorněna ideální přenosová charakteristika A/D 3-bitového konvertoru.



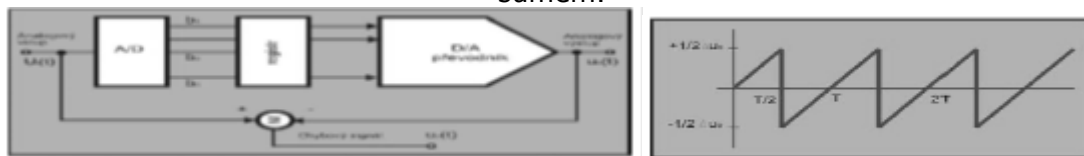
Skutečná přenosová charakteristika A/D převodníku

- Přenosová charakteristika – nespojitá
- Není jednoznačné přiřazení mezi analog vstupem a digit. Výstupem
 - Výstup „kvantovaný“
- Výstupní kód tedy odpovídá jistému, byť malému rozsahu z analogového vstupního napětí
- Bude-li se analogový vstup měnit od nuly do celého rozsahu (FS- full scale), bude N-bitový A/D převodník mít 2^n výstupních stavů a $2^n - 1$ přechodů mezi těmito stavy
- Nejmenší kvantovací krok mezi dvěma diskrétními výstupními úrovněmi odpovídá poslednímu bitu 1 LSB.

$$\Delta u_0 = 1\text{LSB} = \frac{U_{FS}}{2^N}$$

Kvantovací chyba – šum

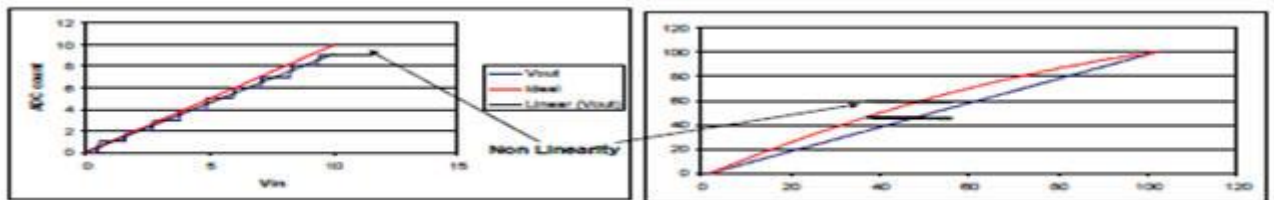
- I pokud budeme považovat převodníky za ideální, bude au jen z principu vznikat jistá chyba v důsledku kvantování a jisté neurčitosti
- Převodník nerozpozná rozdíl analogového vstupu menší než a a chyba dosahuje, což je podle předcházejícího vztahu rovno $= 0,5 \text{ LSB}$.
- Chyba je zřejmě neodstranitelná a nazýváme jí kvantovací chybou nebo kvantovacím šumem.



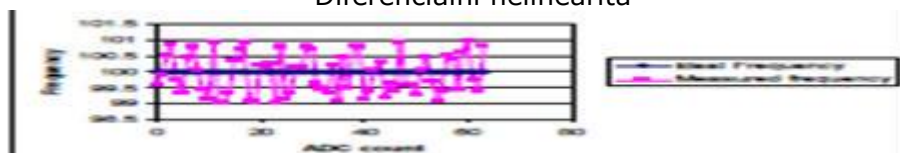
Rozlišení

- ADC rozumím n-bitový ADC
 - Poslední významný bit LSB (Least significant bit) udává rozlišení ADC
 - Vztaženo na plný rozsah, když má ADC lineární průběh
 - o $\text{LSB} = A/2^n$
 - o Lineární 8 bit ADC s 1V vstupem na plný rozsah
 - o Rozlišení $= 1/28 = 3,9\text{mV}$ (0,39) – 256 kroků (0,39*256=1)
- Dynamický rozsah

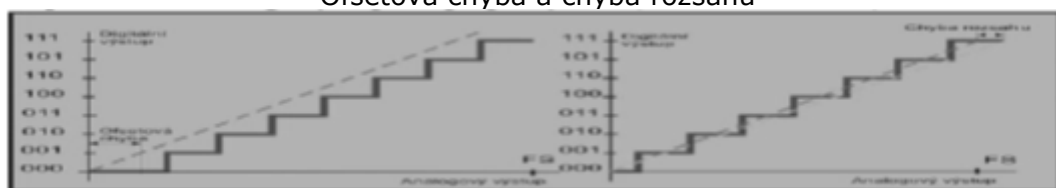
- Poměr mezi minimem a maximem vstupního signálu
 - o Např. signál od $1 \times 10^6 \text{ eV}$ dává 2×10^6 dynamický rozsah
- V lineárních systémech je dynamický rozsah vztažen k rozlišení
 - o 8-bit ADC má dynamický rozsah 256
 - U nelineárních systémů – nelineární stupnice
 - o Lineární ADC pro předchozí případ by potřebovala 21 bitů
 - Často používané termíny ve fyzice:
 - o N-bit rozlišení
 - o N-bit dynamický rozsah
 - o Např:
- ♣ 8-bit rozlišení pro 12-bit dynamický rozsah znamená, že signál v rozsahu 1-4000 bude měřen s rozlišením po 0.39%
 - Doba převodu a šířka pásma
 - Jak rychle je možno provést převod
 - o Několik ns až několik ms – podle technologie
 - ♣ Od 100 MHz FADC po pomalé sigma-delta převodníky
 - Vstupní šířka pásma
 - o Maximální vstupní šířka pásma
 - ♣ „track and hold“ vstupní obvod
 - ♣ Frekvence převodu (FADC)
 - Linearita a odchylky od ní
- Důležitým parametrem D/A převodníku je linearita a odchylky od ní. Rozeznáváme dva typy odchylek a tedy dvě hodnoty nonlinearity
 - Integrální nelinearita



- Nelinearita: odchylka mezi ideální a skutečnou hodnotou
 - Diferenciální nelinearita

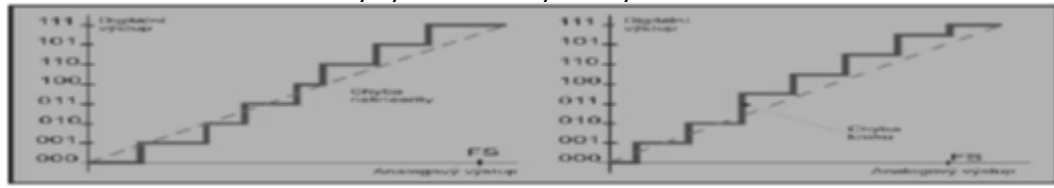


- Diferenciální nelinearita je měřítkem nesterajnosti šíře stupňů mezi dvěma sousedními přechody. V ideálním případě jsou tyto stupně rovny 1 LSB a diferenciální nelinearita udává odchylky od této hodnoty
 - Least Significant Bit (LSB) by měla být konstantní – ale není
 - Rozdíl nepřekročí většinou 0.5 LSB
 - Jednoduchý důkaz:
 - o Náhodný vstup pokrývající celé spektrum
 - o Frekvenční histogram by měl být absolutně plochý
 - o Diferenční nelinearita způsob v grafu odchylky
- Ofsetová chyba a chyba rozsahu



- Chyby ofsetu a měřítka je možné minimalizovat nastavením

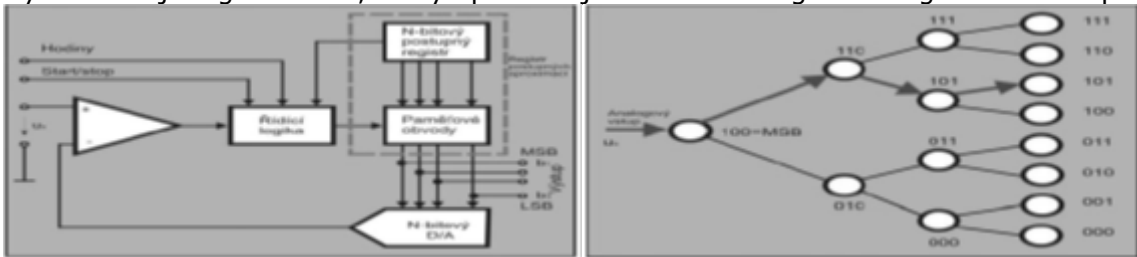
Chyby nelinearity a chyba kroku



- Lze omezit pouze zlepšením technologických postupů při výrobě Typy převodníků
- Integrovaní A/D převodníky, které pracují tak, že nabíjejí (a vybíjejí) integrační kapacitu během převodu a tento čas převádějí na digitální informaci.
 - Sledovací převodníky užívají binární čítač a D/A konvertor ve zpětné vazbě
- Aproximační převodníky vytvářejí digitální výstupní informaci na základě úspěšnosti nebo neúspěšnosti postupových kroků.
 - Paralelní převodníky, které provádějí převod v jediném kroku.
 - Převodníky s mezipřevodem na frekvenci
 - Sigma-delta převodníky

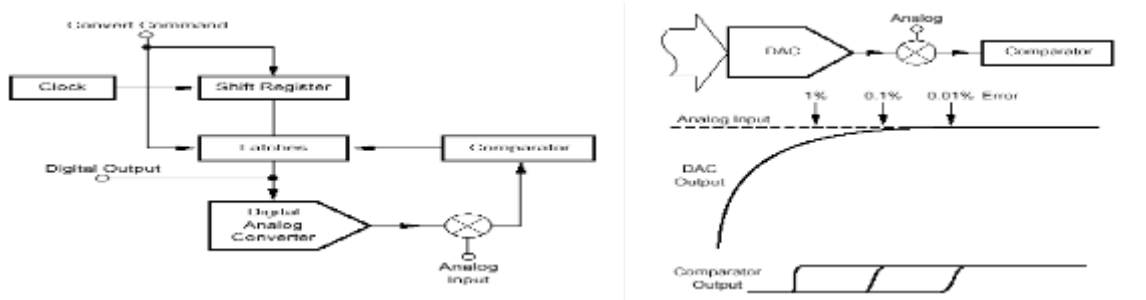
Převodník s postupnou aproximací

- Převodníky nazýváme také kompenzační nebo převodníky s postupnou aproximací, jsou v podstatě zpětnovazebními systémy, které pracují na principu pokus – chyba a výsledkem je digitální kód, který aproximuje úroveň analogového signálu na vstupu.



Převodník s postupnou aproximací

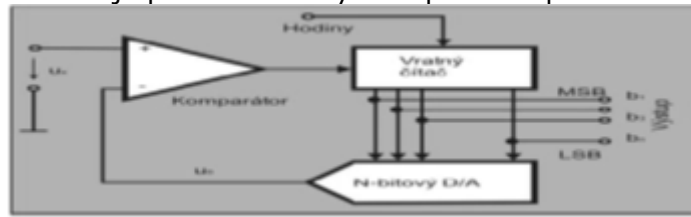
- Porovnává signál s výstupem n-bit DAC
 - Mění k=od dokud až
 - o DAC výstup = ADC vstup
 - N-bit převod potřebuje n kroků
 - Potřebuje START a STOP řízení
 - Čas převodu
 - o 1 až 50us
 - Rozlišení
 - o 8 až 12 bit



Sledovací převodník A/D

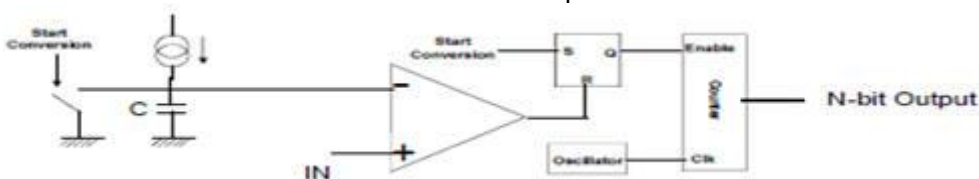
- Pracuje spojitě, tzn. že neustále sleduje vstupní napětí
 - V závislosti na stavu komparátoru čítač impulsy vpřed nebo vzad
- Malé změny stačí převodník sledovat s malým zpožděním, ale při velkých a rychlých

změnách je počet hodinových impulsů a zpoždění velké



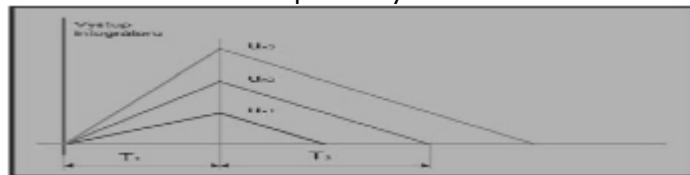
Integrační převodník

- Start – nabíjení kondenzátoru konstantním proudem
 - Počítá počet cyklů hodin
- Stop – když napětí na kondenzátoru dosáhne napětí vstupu
 - Namůže mít velké rozlišení
 - o Neideální kondenzátor
 - o Nelinearita komparátoru

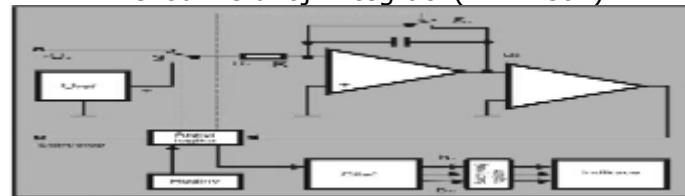


Převodník s dvojitou integrací (Wilkinson)

- Nabíjení kapacitoru po konstantní době proudem, který odpovídá velikosti napětí na vstupu
 - Vybíjení konstantním proudem
 - Počítá počet cyklů hodin



Převodník s dvojitou integrací (Wilkinson)



Převodník s dvojitou integrací (Wilkinson)

- Výhody

o Velikost kapacity není důležitá – ale kvalitní být musí (stárnutí)

o Chybu komparátoru lze eliminovat nastavením startu a stopu na stejné úrovni napětí

o Chybu frekvence hodin eliminována použitím stejných hodin pro fázi nabíjení a vybíjení

- Typické rozlišení
 - o 10 až 18 bit
 - Doba převodu

o Závisí na frekvenci hodinového kmitočtu

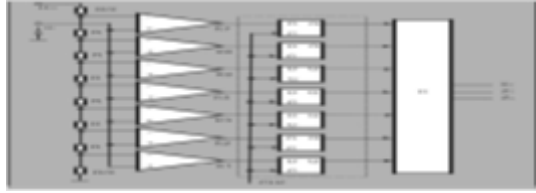
Komparační (paralelní) ADC – FLASH ADC

- Nejrychlejším typem A/D převodníku je tzv. komparační nebo paralelní převodník.
 - Také se mu říká bleskový (flash)
- Převod se provede v jednom taktu – měřené napětí se porovná s řadou referenčních napěťových úrovní najednou a pořadové číslo nejbližší nižší referenční úrovně vzhledem k měřnému napětí U_x se převede do dvojkového kódu, který je výstupem převodníku.
 - Každé referenční úrovni je přirozen jeden napěťový komparátor.
 - Pro n-bitový převodník je třeba $(2^n - 1)$ napěťových komparátorů
 - Na výstupu převodníku dostáváme osm možných čísel (desítkově 0-7)
- Sít referenčních úrovní se vytvoří odporovým děličem. Volbou krajních odporů hodnoty

R/2 se dosáhne posuvu kvantovacích úrovní na hodnoty:

$$\frac{1}{2}U_{\text{LSB}}, \frac{3}{2}U_{\text{LSB}}, \dots, \frac{13}{2}U_{\text{LSB}}$$

Komparační (paralelní) ADC – Flash ADC



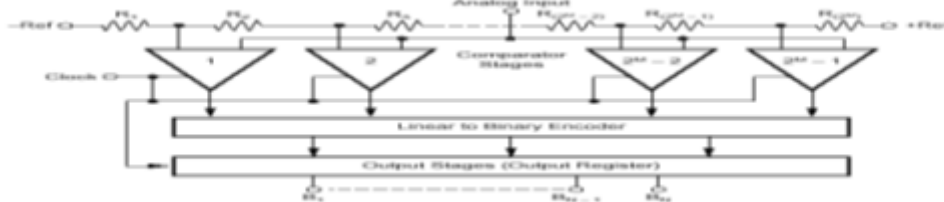
- Výstupní napětí komparátorů K1 až K7 určují velikost napětí U_x . Je-li např. toto napětí mezi úrovněmi.

$$\frac{3}{2}U_{\text{LSB}} \text{ a } \frac{5}{2}U_{\text{LSB}}$$

Jsou výstupy komparátorů K1 a K2 jedničkové, výstupu ostatních nulové. Dekodér D převede nejvyšší jedničkovou úroveň na dvojkové číslo – v daném případě 010. Jde vlastně o převod tzv. teploměrového kódu na přímý dvojkový kód. Protože se převádí jedničková úroveň nejvyššího komparátoru, jde o tzv. prioritní dekodér.

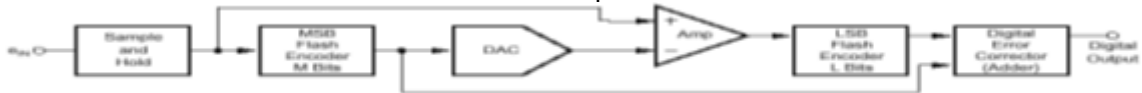
Komparační (paralelní) ADC – Flash ADC

- Přímé měření s $2n-1$ komparátory
 - Typické vlastnosti
 - o 4 až 10-12 bits
 - o 15 až 300 MHz

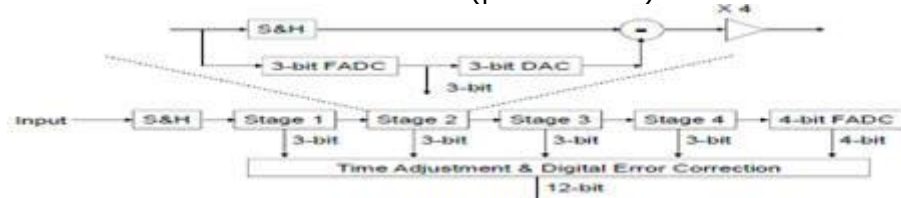


- Half-Flash ADC
 - o 2 kroky

- ♣ 1.flash převod s poloviční přesností
- ♣ Odečtení pomocí DAC
- ♣ Flash převod



- Aplikace digitalizace signálu
Flash ADC (pokračování)



- Pipeline ADC

- „Input-to-output“ zpoždění = n „tiků“ pro n stupňů
 - Každý jeden hodinový puls – jeden výstup
 - Šetří proud (méně komparátorů)

Porovnání vlastností základních typů ACD

- Integrovní převodníky

o Doba převodu je řádově 10 ms, chyba převodu menší než 0,01%, rozlišovací schopnost 0,1uV. Odolné proti sériovému rušení. Používají se ve většině číslicových, včetně přesných laboratorních číslicových voltmetrů.

- A/D převodníky s postupnou aproximací

o Převod je rychlý (doba převodu řádu 10us), chyba převodu okolo 0,025% (rozlišení 12 bitů). Není odolný vůči sériovému rušení, aby se zabránilo chybám převodu vyvolaným změnou vstupního napětí během převodu, zařazuje se na vstup převodníku vzorkovač s pamětí, (nazývaný "sample and Hold"), který sejme okamžitou hodnotu U_x a po dobu převodu ji uchovává konstantní (jako napětí na kondenzátoru). Používají se ve vzorkovacích voltmetrech, v měřících kartách pro PC. Mohou pracovat se vzorkovací frekvencí řádu 10 kHz až 100kHz.

- Paralelní (komparační) A/D převodník

o Nejrychlejší analogově-číslicový převodník s dobou převodu řádu 10ns. Vyrábějí se převodníky s rozlišením 4, 6 a 8 bitů (největší rozlišení 0,4%). Převodník není odolný proti sériovému rušení. Používá se na vstupu číslicových pamětí přechodových dějů a rychlých číslicových voltmetrů (vzorkovací frekvence až řádu 100 MHz) a zejména v digitálních osciloskopech.

- Sigma delta převodníky – zvukové karty a CD přehrávače

Shannonův teorém

- Signál $x(t)$ má spektrální reprezentaci $|X(f)|$; $X(f)$ = Fourierova transformace $x(t)$
- Signál $x(t)$ po digitalizaci na frekvenci f_g , má spektrální reprezentaci stejnou se spektrální reprezentací $x(t)$ posunutého o f_g .
 - Když $X(f)$ se nerovná nule když $f > f_g/2$, dochází k posunu spektra
- Shannonův teorém říká, že $x(t)$ může být zpětně rekonstruován po digitalizaci pokud je vzorkovací frekvence alespoň dvojnásobek nejvyšší frekvence vyskytující se v signálu $x(t)$.
- Pouze matematická poučka, požaduje v praxi dokonalou filtraci

