

## A/D PŘEVODNÍKY, MULTIFUNKČNÍ KARTY

### **G** STUDIJNÍ CÍLE

Po prostudování :

- § Pochopíte princip převodu analogového signálu na digitální.
- § Porozumíte principům A/D převodníků a D/A převodníků.
- § Seznámíte se se základními vlastnostmi těchto převodníků.
- § Porozumíte využití těchto převodníků na multifunkčních kartách.
- § Pochopíte základy měření s multifunkčními kartami a jejich programování.

### **Ñ** KLÍČOVÁ SLOVA

A/D | D/A převodník, kvantování, multiplexer, DMA, přerušení, ISA a PCI sběrnice.

### **Â** ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

270 minut

# 1. PŘEVODNÍKY ANALOGOVÉHO SIGNÁLU NA DIGITÁLNÍ (A/D) A DIGITÁLNÍHO NA ANALOGOVÝ (D/A)

## 1.1 A/D převodníky

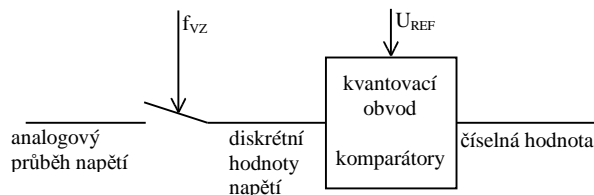
A/D převodník slouží k převodu průběhu měřeného signálu ze spojitě do digitální formy. Funguje tak, že se snímá s určitým časovým intervalem napětí  $U_{VST}$  na vstupu převodníku (nazýváme to vzorkování spojitěho signálu). Jako výsledek této operace obdržíme sled impulsů amplitudově modulovaných měřeným vstupním napětím  $U_{VST}$ . Tyto analogové hodnoty se musí převést na číselný údaj (v binárním kódu) – jsou vztažně k referenčnímu napětí  $U_{REF}$  kvantovány. Číselný údaj v podstatě představuje aproximaci poměru  $U_{VST}/U_{REF}$ . Abychom mohli získaný digitální signál rekonstruovat zpět, musí být splněn tzv. Shanon-Kotělnikovův teorém, který říká, že vzorkovací kmitočet  $f_{VZ}$  musí být nejméně dvojnásobkem nejvyšší harmonické signálu, která nás ještě zajímá. Vzorkovací impulsy musí být dostatečně úzké a kvantování musí být dostatečně jemné (tj. dostatečný počet bitů ve výstupním slově). A/D převodníky jsou složitější než převodníky D/A a proto existuje více typů převodu z analogového na digitální signál.

A/D převodníky dělíme na převodníky:

- a) bez zpětné vazby
  - paralelní
  - nepřímé
  - s dvojí integrací
- b) se zpětnou vazbou
  - sledovací
  - s postupnou aproximací

Nejběžnější jsou čtyři metody A/D převodu:

1. **komparační** - jsou založené na principu porovnávání vstupní spojitě veličiny ( $U$ ) s kvantovanou referenční veličinou ( $U$ ). Porovnání se může uskutečnit se všemi možnými úrovněmi referenční veličiny anebo postupně v čase. Podle toho existují paralelní a postupný komparační převodník A/D.
2. **kompenzační** - jsou založené na kompenzaci vstupní analogové veličiny kompenzovanou veličinou vytvářenou vhodným způsobem. Velikost kompenzované veličiny se postupně mění do té doby, dokud rozdíl mezi kompenzovanou a kompenzační hodnotou není menší jak chyba kvantování.
3. **integrační** - jsou založené na integraci vstupního měřeného signálu a mezipřevodu na časový interval anebo frekvenci impulsů. Významná vlastnost těchto metod je filtrace sériového rušivého napětí vyšších frekvencí.
4. **stochastické** - jsou založené na porovnání velikosti měřeného napětí se stochastickým (náhodným) referenčním signálem s definovanými vlastnostmi.



Obr. 1.1 Principiální schéma A/D převodníku

### 1.1.1 A/D převodníky kompenzačního typu

Jde v podstatě o samočinně vyvažované kompenzátory napětí. Měřené napětí se porovnává s kompenzačním napětím vyrobeným v převodníku. V okamžiku rovnosti obou napětí je výstupní číslicový signál převodníku měřítkem snímaného napětí.

Současné převodníky se liší časovým průběhem kompenzačního napětí, používají se *A/D převodníky se schodovitým kompenzačním napětím*. Pro zvýšení rychlosti A/D převodníků se používají různé postupy. *A/D převodník sledovacího typu* přechází z uchované hodnoty kompenzačního napětí přímo na hodnotu odpovídající nové hodnotě kompenzačního napětí. Dalšího zrychlení se dosahuje jinou konstrukcí, kdy je kompenzační napětí tvořeno součtem přírůstků odpovídající váhám jednotlivým řádům ve dvojkové soustavě. Zdroj kompenzačního napětí tedy vyrábí skoky odstupňované, co do velikosti, podle váhy jednotlivých řádů. Takový převodník se nazývá *A/D převodník s postupnou aproximací*.

Doba převodu je určena počtem bitů A/D převodníku. Tento A/D převodník patří k rychlým převodníkům, které jsou používány v rychlých měřicích systémech a konstruují se až do 10.000 odměrů za sekundu. Chyby bývají v řádu 0,01 % až 0,001 %. Nevýhodou těchto převodníků je citlivost na rušivá napětí v sérii z měřeným napětím. Potlačení těchto rušení filtrem snižuje rychlost převodu. Aby se dosáhlo konstantního napětí na vstupu převodníku zařazuje se na vstup vzorkovací obvod, který na svém výstupu udržuje po dobu převodu konstantní napětí.

### 1.1.2 A/D převodníky s dvojitou integrací

Tento převodník, nebo jeho zdokonalené modifikace, při obvodové jednoduchosti, umožňují dosažení malých chyb, velké rozlišovací schopnosti a vysoké odolnosti proti sériovému rušení. Jedná se tzv. převodník integračního typu, v němž se po zadanou dobu  $T_1$  integruje měřené napětí. Zvolíme-li dobu  $T_1$  rovnu celistvému násobku doby periody harmonického rušivého napětí, toto napětí se vůbec neprojeví. Tento typ proto vykazuje vysokou odolnost proti sériovému rušení na určitých kmitočtech.

Princip převodu je následující. Po pevně zadanou dobu  $T_1$  se integruje vstupní napětí, pak se přepne na vstup integrátoru referenční napětí opačné polarita větší absolutní hodnoty než vstupní napětí a číslicově se změří doba  $T_2$ , za kterou se výstupní napětí integrátoru sníží na nulu. Doba  $T_2$  je úměrná měřenému napětí.

Chyba A/D převodníku je určena hlavně chybou referenčního napětí a nezávisí na stálosti hodnot  $R$ ,  $C$  integračního članku za dobu přesahující jedno měření.

### **1.1.3 A/D převodníky s mezipřevodem napětí na kmitočet**

I tento typ A/D převodníků patří k převodníkům integračního typu. Měření probíhá po dobu  $T_1$  a je-li tato doba rovna celistvému násobku doby periody rušivého signálu, neprojeví se rušivé napětí v údaji voltmetru využívajícím převodník tohoto typu. Výstupní údaj převodníku odpovídá stejnosměrné složce vstupního signálu za dobu  $T_1$ .

Podstatným blokem tohoto typu A/D převodníků je převodník napětí na frekvenci. Jde o obvod, na jehož výstupu je periodický signál s výstupní frekvencí odpovídající vstupnímu signálu.

Převodníky napětí na frekvenci se vyrábějí jako hybridní a integrované obvody s nejvyšší frekvencí 100 kHz až 1 Mhz. Chyba převodníku je řádu 0,01 % až 0,1 %. Tento převodník se v poslední době využívá minimálně.

### **1.1.4 Komparační ( paralelní ) A/D převodníky**

Tento převodník je nejrychlejší typ A/D převodníku. V jednom taktu se měřené napětí porovná s řadou referenčních napěťových úrovní najednou a pořadové číslo nejbližší referenční úrovně vzhledem k měřenému napětí se převede do dvojkového kódu, který je výstupem převodníku. Tato metoda je známa přes 30 let, ale teprve s rozvojem integrovaných obvodů bylo možné její větší rozšíření.

Protože rychlost reakce komparátoru není stejná, mohla by při přímém připojení výstupů komparátorů k dekodéru vznikat dočasná chyba převodu. Proto se za soustavu komparátorů vkládá soustava paměťových členů, které si zapamatují výstupní signály komparátorů a po jejich ustálení předají najednou tyto hodnoty do dekodéru.

Paralelní A/D převodníky jsou nejrychlejší a používají se na vstupech nejrychlejších číslicových osciloskopů a číslicových pamětí přechodových dějů. Doba převodu je řádově 10 ns. Tyto převodníky se vyrábějí 4, 6 a 8 bitové.

### **1.1.5 Kvalitu A/D převodníků**

Vhodnost použití pro danou aplikaci) posuzujeme podle jejich parametrů:

1. *Rozlišovací schopnost* – udává se počtem rozlišitelných úrovní analogového signálu. Pro  $n$  – bitový A/D převodník je to  $2^n$  úrovní.
2. *Vstupní rozsah* – je velikost vstupní veličiny, která ještě bude správně vyhodnocena. Vedle tohoto údaje se ještě uvádí maximální velikost vstupní veličiny, kterou můžeme převodník krátkodobě přetížit, aniž dojde k jeho zničení.
3. *Kvantovací krok* – je nejmenší rozlišitelná hodnota vstupní veličiny, při níž nastává přechod od jednoho výstupního čísla k následujícímu

4. *Chyba kvantování* – je maximální rozdíl mezi hodnotou vstupní veličiny a hodnotou odpovídající danému výstupnímu číslu.
5. *Rychlost převodníku* – je určena počtem převodů které převodník uskuteční za jednotku času
6. *Kód převodníku* – určuje jaký druh kódování je použit na výstupu (binární, BCD, Grayův kód)
7. *Přesnost převodníku* – závisí na chybě převodníku, která se skládá ze dvou složek:
  - aditivní chyba – nezávisí na hodnotě vstupní veličiny a je v celém rozsahu konstantní.
  - multiplikativní chyba – je závislá na hodnotě vstupní veličiny. Určuje změnu sklonu skutečné převodní charakteristiky oproti sklonu ideální charakteristiky.
8. *Stabilita převodníku* – vyjadřuje stálost parametrů převodníku při působení rušivých vlivů (teplota, čas).

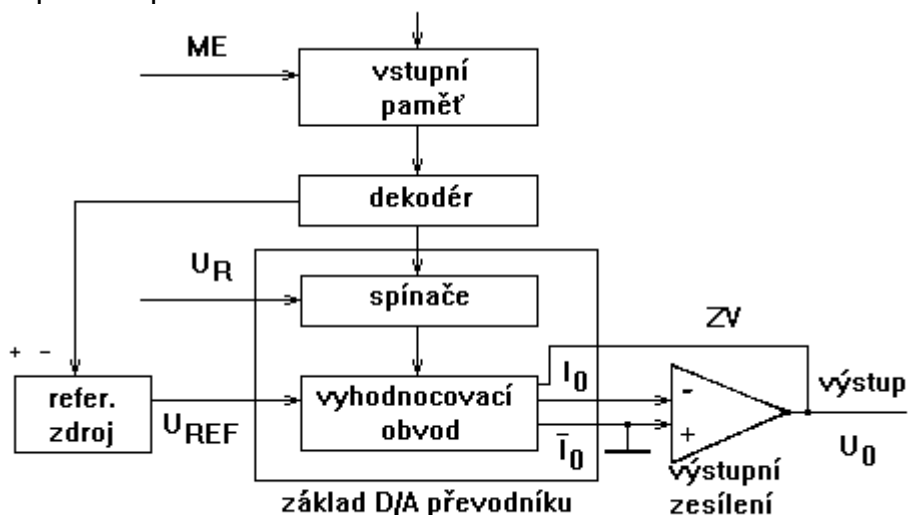
## 1.2 D/A převodníky

Převádějí vstupní číslicový signál na výstupní analogový, který je úměrný vstupní informaci. Dělíme je na paralelní a sériové.

Paralelní převodník má počet vstupů ve shodě s počtem bitů ve zpracovávaném slově. Každé slovo bude přiváděno na vstup převodníku paralelně, tj. všechny bity slova budou současně zpracovávány převodníkem.

Sériový typ převodníku naproti tomu má jeden vstup, na nějž se přivádějí jednotlivé bity vstupního slova postupně za sebou synchronně s hodinovým kmitočtem.

Nejčastěji je používán paralelní způsob pro D/A převodníky vzhledem k rychlejšímu způsobu převodu.



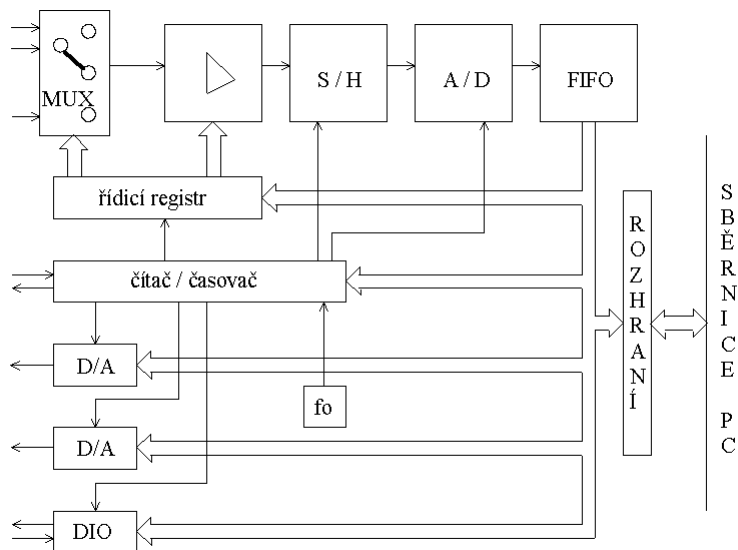
Obr. 1.2 Schéma D/A převodníku:

- § *Vstupní paměť* - uchovává vstupní číslicovou informaci pro vlastní převodník.
- § *Dekodér* - převádí, pokud je třeba, vstupní informaci na obvykle užívaný binární kód o N bitech.
- § *Spínače* - zajišťují sepnutí napětí nebo proudu podle vstupní informace.
- § *Vyhodnocovací obvod* - podle stavu spínačů na základě referenčního zdroje určí velikost odpovídajících proudů na svorkách  $I_0$  a  $\bar{I}_0$ .
- § *Referenční zdroj* - zajišťuje potřebná napětí  $U_{REF}$  pro zdroje proudu ve vyhodnocovacím obvodu.
- § *Výstupní zesilovač* - zajišťuje úroňovou i impedanční úpravu již analogového signálu z vyhodnocovacího obvodu.

Struktura vyhodnocovacího obvodu spolu se spínači určují druh D/A převodníku. Rozlišujeme převodníky s napěťovými nebo s proudovými spínači, dále převodníky s proudovým nebo napěťovým výstupem. Jako spínače se v D/A převodnících používají bipolární nebo unipolární tranzistory.

## 2. MULTIFUNKČNÍ PŘEVODNÍKOVÉ KARTY

Zásuvná karta s A/D převodníkem obvykle sdružuje i další funkce. Proto jsou tyto karty označovány jako multifunkční. Na obr. 2.1 je typické blokové schéma multifunkční převodníkové karty.



Obr. 2.1 Blokové schéma multifunkční převodníkové karty

Vstupní multiplexer (MUX) umožňuje připojit ke vstupu diferenciálního přístrojového zesilovače s programovatelným zesílením více zdrojů měřeného signálu (obvykle 8 až 16, výjimečně až 64). U některých levnějších typů multifunkčních desek bývá zesílení přístrojového zesilovače nastaveno pomocí přepínačů na desce nebo je dokonce přístrojový diferenciální zesilovač zcela

vynechán a výstup multiplexeru je pak připojen přímo na vstup vzorkovacího S/H obvodu.

Vzorkovací S/H obvod definuje okamžik odběru vzorku vstupního napětí a zajišťuje, aby během převodu bylo na vstupu (obvykle 12-ti až 16-ti bitového) A/D převodníku s postupnou aproximací konstantní napětí. Zde je třeba vzít v úvahu, že tento použitý způsob A/D převodu nepotlačuje sériové rušení nežádoucím střídavým nebo impulsním signálem (na rozdíl od integračních A/D převodníků používaných obvykle u číslicových voltmetrů). Proto je často nutné předřadit před vstup multifunkční desky filtr potlačující toto rušení. Činnost multiplexeru a přepínání zesílení zesilovače řídí většinou speciální řídicí registr, který umožňuje předvolbu režimu přepínání multiplexeru a přepínání zesílení přístrojového zesilovače synchronně s přepínáním kanálů. V souvislosti s tím musí být řízeno časování vzorkovacího obvodu tak, aby k ovzorkování došlo až po ustálení napětí na výstupu přístrojového zesilovače. V případě, že takovýto řídicí registr není použit, je nutné při vícekanálovém režimu před každým odměrem vždy znovu programově nastavit aktivní kanál a požadované zesílení. V tomto případě pak není možné při přenosu dat do paměti počítače použít režim DMA.

Základní časování je řízeno čítačem/časovačem, který je v řadě případů možno též využít pro měření frekvence impulsů TTL úrovně, měření doby trvání impulsu nebo pro generování impulsu definované délky či posloupnosti impulsů definované frekvence. Referenční frekvence časovače (obvykle v rozmezí 100 kHz až 10 MHz) je dodávána z interního krystalem řízeného oscilátoru. Nastavená vzorkovací frekvence A/D kanálu je pak dána podělením referenční frekvence v programovatelné děličce čítači s přednastavením. Řada výrobců k tomu využívá zejména u kvalitnějších zásuvných desek integrovaný programovatelný čítač/časovač typu Intel 8254 nebo AMD 9513.

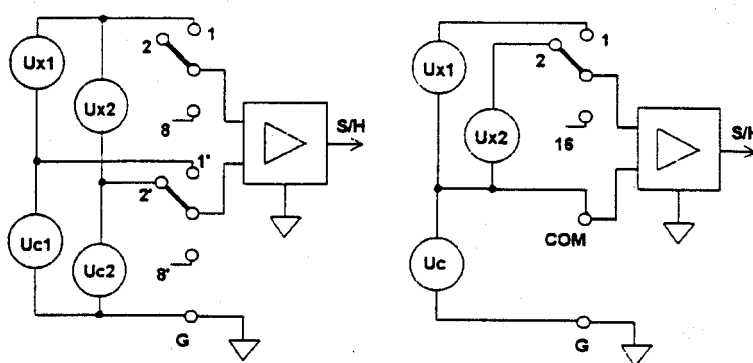
Pro generování analogových signálů jsou na multifunkční desce většinou k dispozici 1 až 4 D/A převodníky (8-mi až 16-ti bitové) s možností využití interního nebo externího zdroje referenčního napětí. Při generování periodických průběhů je pro časování u většiny multifunkčních desek opět využít interní čítač/časovač. Pokud tento režim není u některých typů desek možný napětí na výstupu D/A převodníku se mění v okamžiku zápisu dat do příslušného registru. To pak prakticky znemožňuje generování periodických průběhů s definovanou frekvencí, neboť doba mezi zápisy je dána dobou trvání příslušného cyklu v programu (čekací smyčky). Ta však kromě jiného závisí na hodinové frekvenci počítače, což například znemožňuje přenositelnost na počítač s jinou hodinovou frekvencí.

Pro případ, že je nutné řídit další přepínače v měřicí sestavě, ovládat výkonové spínače, číst číslicové výstupy z proměřovaného zařízení apod., je na multifunkční desce k dispozici DIO kanál, většinou v konfiguraci 4 až 24 TTL vstupů/výstupů.

Z hlediska uživatele je třeba o nejvíce pozornosti věnovat bloku analogového vstupu. U nejlevnějších a tedy i nejjednodušších desek bývá často vynechán diferenciální přístrojový zesilovač a měřené napětí z výstupu multiplexerů je přivedeno přímo na vstup vzorkovacího obvodu. V tomto případě je třeba si uvědomit, že společná vstupní svorka je přímo spojena s analogovou zemí desky a většinou i s číslicovou zemí počítače.

Důsledkem toho je nízká odolnost proti rušení, problémy se zemními smyčkami atd. Tyto problémy je možné snáze řešit v případě, že mezi multiplexer a vzorkovací

obvod je vložen diferenciální přístrojový zesilovač. Přitom je pochopitelně též nutné změnit uspořádání multiplexeru tak, aby umožňoval jak plně diferenciální připojení jednotlivých vstupů. tak připojení, kdy jedna svorka všech vstupních kanálů je společná, ale není přitom propojena s analogovou zemí desky a lze tedy využít všech pozitivních vlastností přístrojového zesilovače tzv. pseudodiferenciální zapojení. V praxi jsou ve většině případů použity dva multiplexery zapojené dle obr. 2.2, jež je možno jednoduše pomocí přepínače umístěného na desce propojit jako jeden multiplexer s dvojnásobným počtem vstupů.



Obr. 2.2 Realizace diferenciálního zapojení multiplexeru

Obě základní zapojení dle obr 2.2 umožňují potlačení souhlasného rušení (rušivého napětí na vstupu, které vzniká díky napětí  $U_{C1}$  mezi analogovou zemí multifunkční desky a invertující resp. společnou vstupní svorkou). Přitom je však třeba vzít v úvahu řešení celého analogového bloku, takže ve většině případů je koeficient potlačení souhlasného rušení ve srovnání s číslicovými voltmetry poměrně nízký (70 až 90 dB) a závisí mimo jiné též na způsobu napájení zesilovače (galvanické oddělení napájení zásuvné desky). Mimo to k potlačení souhlasného rušení dochází obvykle pouze v případě poměrně nízkých hodnot souhlasného napětí  $U_C$  (diferenciální vstup bez galvanického oddělení). Maximální hodnota povoleného souhlasného napětí  $U_{Cmax}$  závisí také na velikosti vstupního napětí  $U_x$  a u měřicích desek s přepínatelným zesílením též na nastaveném zesílení  $G$ . Maximální velikost povoleného souhlasného napětí lze obvykle definovat vztahem

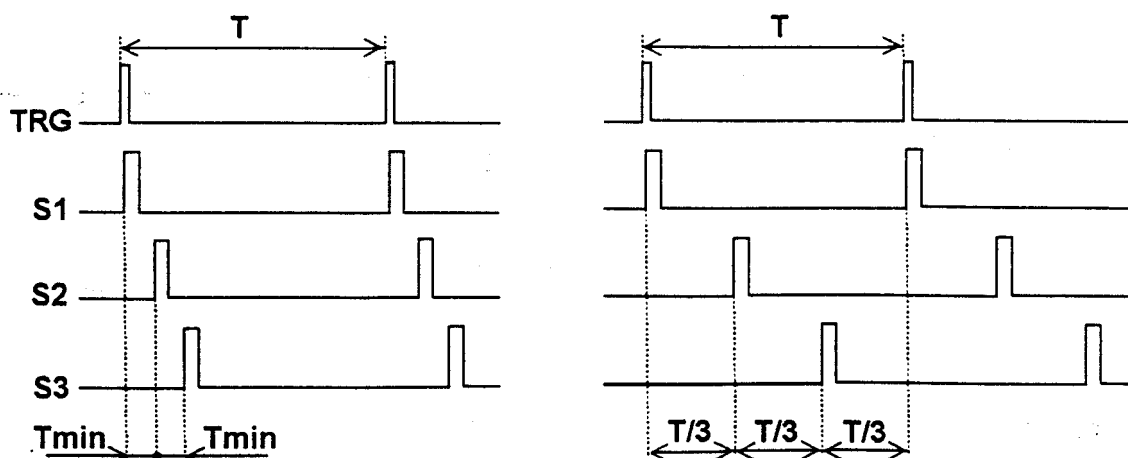
$$U_{Cmax} = (X - U_x \cdot G / 2)$$

kde  $X$  je typická hodnota pro použitou desku obvykle okolo 10 V.

Pro zvýšení potlačení souhlasného rušení je možné použít galvanicky oddělené předzesilovače dodávané jako příslušenství k zásuvným měřicím deskám. V tomto případě dosahuje potlačení souhlasného rušivého napětí hodnot 100 až 160 dB a povolená velikost souhlasného napětí až stovek V.

Při dynamických měřeních je dále třeba si uvědomit, že napětí připojená k jednotlivým vstupním kanálům nejsou vzorkována současně, ale postupně. Způsob časování přepínání kanálů v závislosti na nastavené vzorkovací rychlosti závisí na řešení ovladače (driveru) pro řízení karty z vyššího programovacího jazyka. Můžeme rozlišit dva základní přístupy k řešení tohoto problému.





Obr. 2.3 Dva způsoby řízení časování a řízení A/D převodu a multiplexeru

1. V okamžiku příchodu spouštěcího impulsu se postupně vzorkují všechny aktivní kanály maximální vzorkovací rychlostí a následuje čekání na další spouštěcí impuls. Frekvence spouštěcích impulsů (vzorkovací frekvence jednoho kanálu  $f_{sp}=1/T$ ) je nastavena programem a musí být nižší než  $f_{vzmax}/k$ , kde  $k$  je počet aktivních kanálů a  $f_{vzmax}=1/T_{min}$  je maximální vzorkovací frekvence při použití jednoho kanálu.
2. V okamžiku příchodu spouštěcího impulsu se ovzorkuje 1. aktivní kanál, k ovzorkování dalšího aktivního kanálu dojde až po době  $T_c=T/k = 1/(k.f_{sp})$ , kde  $k$  je počet aktivních kanálů a  $f_{sp}$  programem nastavená frekvence spouštěcích impulsů (vzorkovací frekvence jednoho kanálu), přičemž pro její maximální velikost platí totéž, co v případě 1.

Dle použitého způsobu časování při přepínání kanálů lze programově korigovat nesynchronnost odměrů v jednotlivých kanálech. Pokud je nezbytné vzorkovat všechny kanály synchronně, je třeba použít zásuvnou měřicí desku se vstupy, kde každému kanálu musí být předřazen samostatný S/H obvod.

Při přepínání kanálů maximální vzorkovací rychlostí je třeba si uvědomit, že v případě maximálního rozdílu vstupních napětí na dvou po sobě přepínaných kanálech může vlivem konečné doby ustálení vzorkovače a přístrojového zesilovače dojít k chybě až několik LSB, přičemž tato chyba může být různá při přepínání z  $-U_{max}$  na  $+U_{max}$  a naopak. K obdobnému jevu dochází též u některých desek při synchronním přepínání zesílení a kanálů (různé zesílení na různých kanálech). Způsob uspořádání vstupních obvodů a jejich kvalita určuje rozhodujícím způsobem zejména přesnost měření a odolnost zásuvných měřicích desek proti rušení. Mimo výše popsaných problémů vznikajících při vícekanálových měřeních se při tomto uspořádání projevují ještě další negativní vlivy způsobující pokles přesnosti zejména při měření nízkých napětí. Veškerá rušivá napětí vznikající v obvodu multiplexeru se v tomto případě totiž zesilují společně s napětím měřeným. Z tohoto důvodu bývá udávaná chyba měření pro zesílení 100 resp. 500 až o řád vyšší, než pro zesílení jedna, kdy většinou odpovídá rozlišovací schopnosti převodníku. Obdobně se projevuje i drift S/H obvodů. kdy při malých vstupních napětích může drift S/H obvodu způsobit významné chyby měření.

Z hlediska přesnosti měření je proto v případě měření malých napětí (desítky mV či menší) vhodné předřadit před vstup každého kanálu předzesilovač s výstupním napětím řádově jednotky V a použít měřicí desku s přepínáním zesílení pouze v malém rozsahu (obvykle x1, x2, x4, x8). Tím lze současně dosáhnout i optimálního využití rozsahu A/D převodníku.

## 2.1 Základní druhy převodníkových měřících karet

Převodníkové karty můžeme z nejjednoduššího hlediska rozdělit na:

**1) Karty základní** – jedná se o měřicí karty, které nemají v sobě zabudovaný časovač, generování přerušení ani obvody pro přímý přístup do paměti (DMA). Při použití těchto karet se kladou velké nároky na programátora, který musí tyto chybějící články nahradit dobře provedeným programem.

**2) Karty obsahující časovací obvod a generující přerušení** – pomocí časovacího obvodu lze nastavit časování vzorkování, které probíhá na pozadí, podle hodinových pulzů generovaných kartou. Generování přerušení můžeme využívat např. pro zjištění ukončení A/D převodu. Tato karta není již tak náročná k programování jako karta základní, protože časování zajišťuje časovací obvod a karta sama generuje přerušení při ukončení A/D převodu.

**3) karta obsahující řadič DMA a časovací obvod** – časovací obvod zaručuje časování vzorkování. Data jsou mechanismem DMA přesunuta do datového bufferu v paměti počítače bez účasti procesoru. Data z bufferu pak mohou být programem kdykoliv později použita. Při přenosu dat řízeném řadičem DMA může procesor vykonávat jinou činnost, přičemž se jedná o nejrychlejší a nejbezpečnější způsob přenosu dat mezi kartou a pamětí počítače.

**4) Karty inteligentní** – jsou to karty, které mají vlastní řídicí čip, vlastní procesor a paměť. Karta pomocí procesoru si sama určuje jak ovládat jednotlivé vstupy a jaké operace má provádět. Data jsou pak uchovávány přímo v paměti obsažené na kartě. Tyto inteligentní karty se používají např. jako karty osciloskopické.

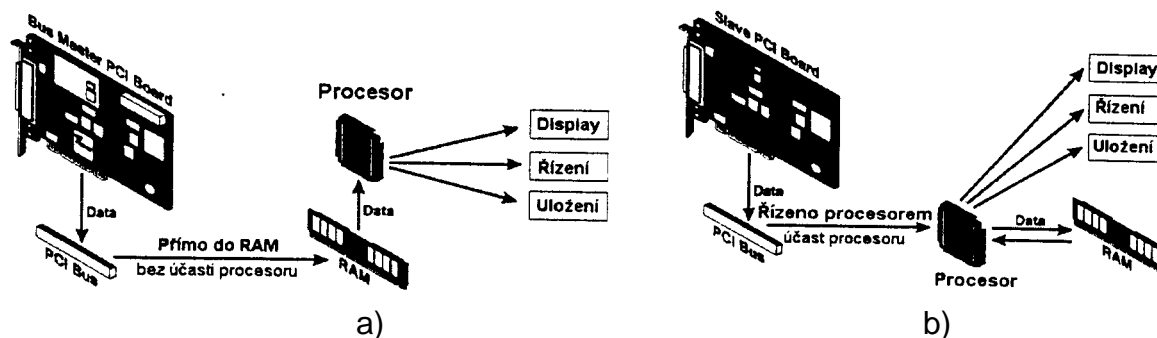
### 2.1.1 Desky pro vysoké vzorkovací rychlosti

Pro vzorkovací rychlost vyšší než stovky kilovzorků za sekundu [kS/s] není možné hodnoty jednotlivých odměřit přenášet přímo do paměti počítače. Z tohoto důvodu musí deska pro vysoké vzorkovací rychlosti obsahovat vlastní paměť dat. Paměť může sloužit pro záznam všech dat (obvyklá velikost až 1 MB) nebo pouze omezenou velikost a pak pracuje jako FIFO paměť (obvyklá velikost 1 kB).

Některé desky pro vysoké vzorkovací rychlosti obsahují též rychlý D/A převodník a lze je využít též pro generování programovatelných průběhů s dobou trvání periody kratší než jednotky ms při stovkách až tisících bodů na periodu.

### 2.1.2 Desky pro sběrnici PCI

Sběrnice PCI se stala druhým sběrnicovým standardem, který nalezneme v současných počítačích PC. Jedná se o sběrnici, která je 32 bitová a standardně zvládá přenosy rychlostí 33 Mb/s. Takže po svém rozšíření se objevily první měřicí karty pro sběrnici PCI, a to zejména pro vysoké vzorkovací frekvence.



Obr. 2.4 Příklad módu přenosu dat z karty PCI do paměti počítače  
a) Master b) Slave

### 2.1.3 Desky s galvanicky oddělenými čís. vstupy a výkonovými čís. výstupy

Desky s galvanicky oddělenými vstupy slouží ke vstupu dvouúrovňových signálů (i jiné než TTL úrovně) z čidel indikujících stav zařízení (zapnuto/vypnuto, zavřeno/otevřeno, přítomnost/nepřítomnost objektu). Vstupní obvody jsou opticky oddělené, rozsah vstupních napětí bývá obvykle v rozmezí od 5 do 50V.

### 2.1.4 Desky čítačů a časovačů

U většiny multifunkčních desek lze nejvýše jeden z čítačů z bloku čítače/časovače použít pro měření frekvence či generování TTL průběhů s definovanými časovými parametry. U některých multifunkčních desek nelze bloku čítače/časovače využít k tomuto účelu vůbec. Vzhledem k tomu, že frekvence je často využívána jako měřitelná veličina, jsou v nabídce řady firem desky vícekanálových čítačů/časovačů doplněné obvykle dalšími číslicovými vstupy/výstupy.

Ve většině případů se zde používají integrované programovatelné několikanásobné čítače/časovače typu AmD 9513 nebo Intel 8254. Obvod 8254 je standardně v počítačích PC a taktéž je používán na kartách firmy ADVANTECH.

### 2.1.5 Desky s analogovými filtry

Při použití multifunkčních desek či desek pro vysoké vzorkovací rychlosti pro dynamická měření vznikají problémy s aliasingem. Často se používají pevně nastavené filtry (pasivní resp. aktivní) dodávané jako příslušenství, či součást svorkovnic a předzesilovačů, nelze přeladovat dle parametrů zpracovávaného signálu. Pro universální použití se proto vyrábí zásuvné desky s programovatelnými

antialiasing filtry kombinované většinou s předzesilovači s programovatelným zesílením.

### 2.1.6 Desky pro řízení krokových motorků

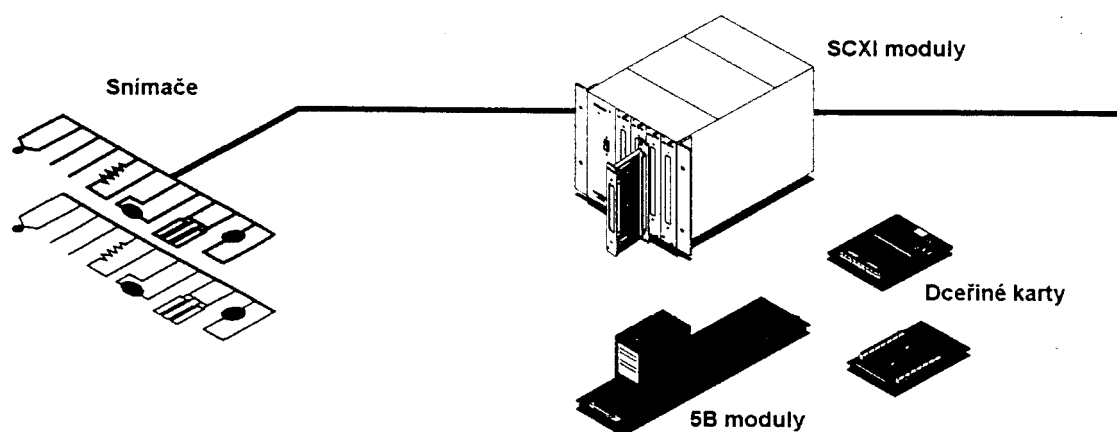
V nabídce zásuvných měřicích desek řady výrobců jsou též desky umožňující řízení jednoho až tří krokových motorků. Jsou obvykle osazeny jednočipovým mikropočítačem, který řídí programovatelné časovače a generuje další řídicí signály pro generování směrů, rychlosti a počtu kroků. Výstupní spínací obvody jsou řešeny jako opticky oddělené s otevřeným kolektorem. Dodávané programové vybavení s kartami umožňuje snadno ovládat úhel natočení a rychlost otáčení motorků včetně plynulého rozběhu a doběhu.

### 2.1.7 Desky měřicích přístrojů

Ve formě zásuvných desek se vyrábějí celé přístroje jako jsou digitální osciloskopy, multimetry, funkční generátory. Tyto přístroje jsou v podstatě ve své činnosti nezávislé na počítači tj. při své činnosti s výjimkou zobrazování nezatěžují vlastní procesor. Jsou vždy dodávány s příslušným softwarem.

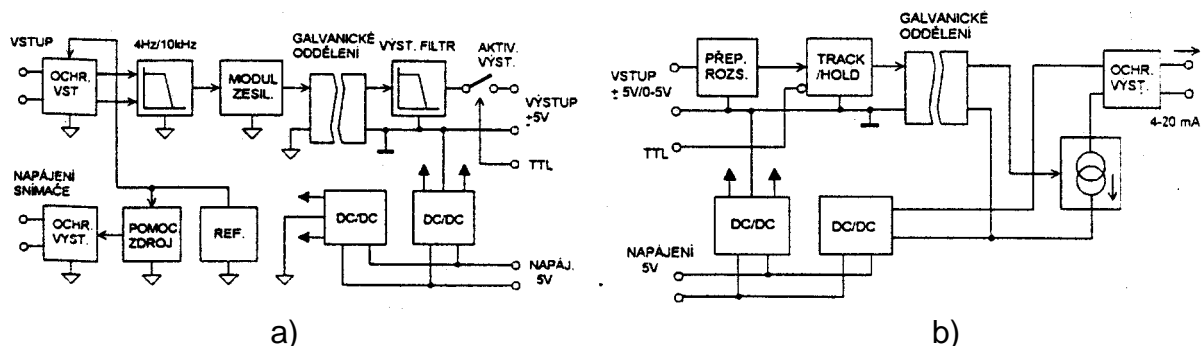
## 2.2 Moduly úpravy signálu

V řadě případů při laboratorním používání a v převážné většině při průmyslovém nasazení nelze připojit vstupy zásuvných měřicích desek přímo k zařízení, jehož parametry měříme. V těchto případech je nutné zejména při použití multifunkčních desek doplnit zapojení o obvody či moduly pro přizpůsobení a úpravu signálu. Většina výrobců zásuvných měřicích desek proto doplňuje svůj výrobní program o příslušenství, do něhož patří nejen potřebné propojovací kabely a svorkovnice, ale též moduly pro přizpůsobení resp. předzpracování signálu. Na obr. 2.5 je příklad různých variant těchto modulů.



Obr. 2.5 Příklad různých modulů pro úpravy signálu

S ohledem na nízkou odolnost proti rušení u převodníků s postupnou aproximací (které se v převážné většině měřicích desek používají) je většinou nezbytná filtrace vstupních signálů. Pro potlačení impulsního a vysokofrekvenčního rušení či zamezení aliasingu je možné ve většině případů osadit připojovací bloky se svorkovnicemi jednoduchými pasivními RC filtry. Také aktivní moduly pro přizpůsobení či předzpracování signálu jsou standardně osazovány aktivními dolnofrekvenčními filtry obvykle 2. řádu s tlumením na mezi aperiodicity. Zde si je však třeba uvědomit, že použití těchto filtrů ovlivňuje amplitudu i fázi měřených harmonických signálů a tvar neharmonických signálů, zejména impulsních průběhů.

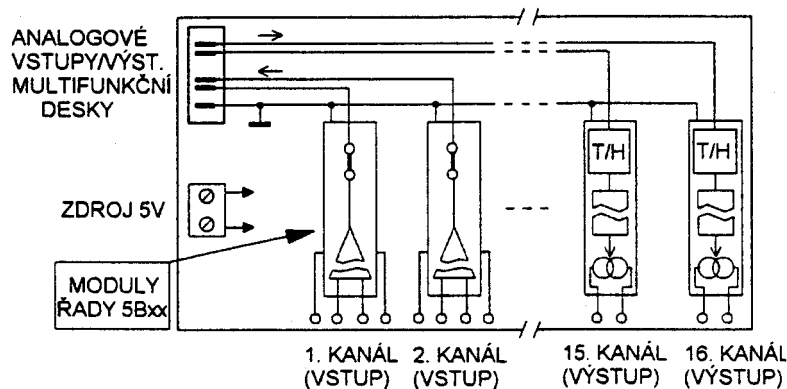


Obr. 2.6 Schéma principiálního zapojení modulu  
a) vstupního b) výstupního

Pro galvanické oddělení vstupů a výstupů měřicích desek se používají moduly, které mimo oddělovacích zesilovačů často obsahují také zdroj referenčního napětí resp. proudu pro napájení senzorů a filtry pro filtraci signálu. V této oblasti se řada výrobců sjednotila na systému modulů, který je známý pod označením 5Bxx, kde xx je jednotné označení modulu s příslušnými parametry. Jedná se o moduly s galvanickým oddělením vstupu a výstupu, které fungují jako předzesilovače, filtry, zdroje proudu resp. převodníky pro přímé připojení řady senzorů neelektrických veličin.

Typické principiální zapojení vstupního modulu je na obr. 2.6 a) a výstupního modulu na obr. 2.6 b). Je zde zajištěno plné galvanické oddělení pro napětí do 1500 V, ochrana vstupních resp. výstupních svorek až do napětí 240 V a dále možnost odpojení výstupu ze vstupního modulu resp. vstupu do výstupního modulu TTL signálem. Chyba převodu je u těchto modulů menší než 0,05 % z rozsahu, nelinearita menší než 0,02% z rozsahu. Dolnofrekvenční propust pro omezení rušení je podle typu modulu nastavena na frekvenci 4 Hz nebo 10 kHz. Moduly většiny výrobců mají jednotné rozměry 58x58x1 5mm a jednotné konektory, takže je možné je navzájem zaměňovat.

Moduly se zasouvají do rámu obvykle pro 2, 8, či 16 modulů, je zde zajištěn rozvod napájení +5 V a většinou je zde k dispozici též čidlo teploty pro studené konce termočlánků. Základní připojení modulů na vstup multifunkční desky (zapojení rámu modulů) je na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Schéma lišty pro SB moduly

Novým přístupem k řešení průmyslového využívání zásuvných měřicích desek do PC je systém SCXI (Signal Conditioning eXtension for Instrumentation), který vyplňuje určitou mezeru mezi modulárními systémy s autonomní sběrnici a systémy se zásuvnými měřicími deskami doplněných moduly řady 5Bxx. Moduly pro předzpracování signálu zde mají formu zásuvných desek a jsou soustředěny do samostatné skříně. Výhodou tohoto uspořádání je vyšší odolnost proti rušení zejména při zpracování malých signálů, rozšířené možnosti multiplexování, možnost synchronního vzorkování více kanálů a kompaktní řešení celého systému.

Pro galvanické oddělení vstupních logických signálů (indikace sepnutí výkonových spínačů resp. přítomnost napájecího napětí) a řídicích signálů (spínání silových stykačů) se používají buď speciální DIO desky s galvanickým oddělením a výkonovými spínači nebo v případě multifunkčních desek opět unifikované moduly. Obdobou řady 5Bxx z analogové oblasti jsou v oblasti číslicových vstupů a výstupů unifikované moduly řady SSR.

## 2.3 Chyby A/D převodníků

Chyby, které jsou způsobené odchylkami v zesílení a chybami offsetu mohou být odstraněny buď hardwarovou, nebo softwarovou kalibrací. Při hardwarové kalibraci je na vstup převodníku přiváděno známé analogové napětí a pomocí kalibračních potenciometrů je se nastavují hodnoty tak aby binární hodnota odpovídala přesně přiváděnému napětí. Alternativně je možné provádět softwarově kompenzaci offsetových chyb. Ve druhém případě je nutné určit jak dalece se odchyluje převedená hodnota od skutečného napětí a pomocí opravné softwarové rutiny kompenzovat odchylku způsobenou chybou.

Další chyby, které mají vliv na přesnost měření jsou způsobené šumem. Šum snižuje rozlišovací schopnost A/D převodníku, protože jakmile úroveň šumu dosáhne hodnoty napětí odpovídajícího 1LSB, A/D převodník nedokáže rozlišit mezi nárůstem signálu signálem o 1LSB a šumem. Tyto chyby se dají odstranit zvýšením vzorkovací frekvence a následným průměrováním signálu. V ideálním případě platí že, šířka kódu je stejná pro všechny napěťové kroky a převodní charakteristika (binární kód ku analogovému napětí) je lineární závislost.

### **2.3.1 Integrální, diferenciální nelinearita, relativní přesnost a systémový šum převodníkové karty**

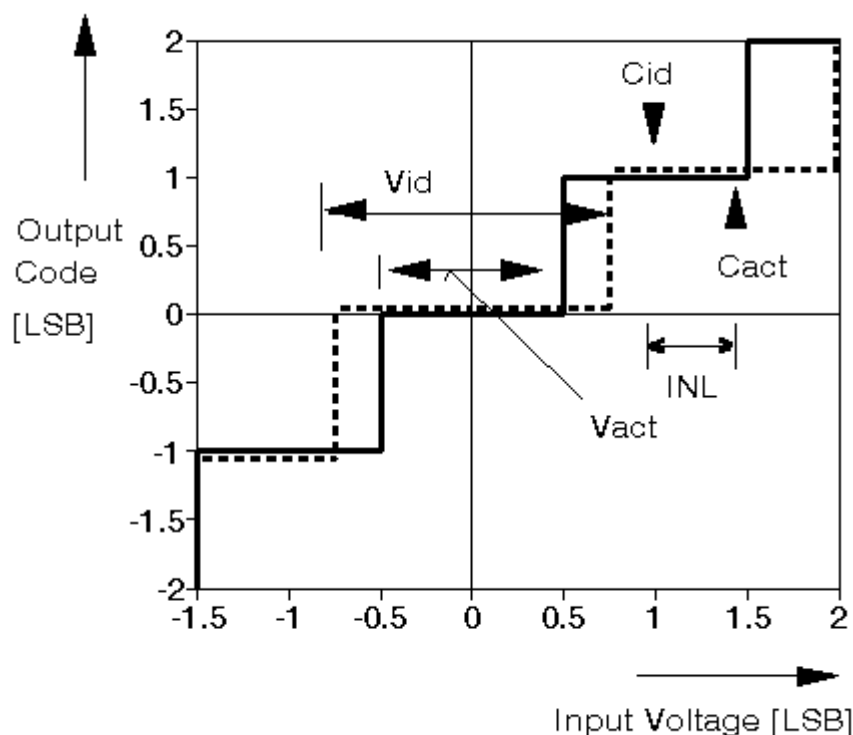
Integrální nelinearita pro danou A/D převodníkovou kartu udává jak se skutečná převodní charakteristika odchyluje od ideální, zatímco diferenciální nelinearita říká jak se od sebe odlišuje šířka kódu.

**Relativní přesnost** je měřítkem nelinearity A/D převodníku. Udává maximální odchylku od ideální převodní charakteristiky. **Relativní přesnost** je zhruba ekvivalentní hodnotě integrální nelinearity, jelikož relativní přesnost zahrnuje jednak nelinearitu, jednak kvantizační neurčitost, která se obvykle předpokládá právě . Přestože je kvantizační neurčitost ideálně může být odlišná pro každý možný digitální kód a odpovídá analogové šířce kódu. **Hodnota relativní přesnosti** zaručuje, že součet kvantizační neurčitosti a chyby A/D převodu nepřekročí udanou hodnotu.

**Integrální nelinearita** bývá nesprávně označována jako měřítko linearity převodní charakteristiky A/D převodníkových karet. Firmy vyrábějící A/D převodníkové karty definují integrální nelinearitu ustanovením, že střední hodnota analogového napětí pro jakýkoliv kód se nebude odlišovat od ideální převodníkové charakteristiky více než . Tato specifikace je zavádějící, jelikož i při splnění hodnot integrální nelinearity může být kterákoliv z počátečních či koncových hodnot šířky kódu zcela mimo povolený rozsah což znamená že relativní přesnost je tedy mimo toleranci.

**Diferenciální nelinearita** je měřítkem odchylky šířky kódu od hodnoty odpovídající 1LSB. Specifikace pro diferenciální nelinearitu o velikosti zaručuje, že žádný kód nebude mít šířku 0 LSB a žádný nedosáhne hodnoty 2LSB.

**Systémový šum** je velikost šumu, která se objeví na výstupu A/D převodníkové karty, když je na vstup přiveden nulový vstupní signál. Tato hodnota nemusí nutně představovat velikost reálného šumu přítomného v systému, pokud je šum menší než 0,5 LSB své efektivní hodnoty. Šum jehož hodnota je menší než tato způsobuje na výstupu kmity jejichž velikost je funkcí toho jak blízka je střední hodnota reálného šumu velikosti šířky kódu. Je-li jeho velikost blízka střední hodnotě mezi dvěma kódy kmitá výstup A/D převodníku mezi těmito dvěma hodnotami a šum se blíží hodnotě 0,5 LSB. Je-li střední hodnota signálu blízka střední hodnotě šířky kódu a šum je relativně malý jsou i kmity na výstupu málo časté a šum na výstupu se blíží hodnotě 0 LSB. Od závislosti mezi střední hodnotou měřeného signálu a efektivní hodnotou šumu lze odvodit i charakter šumu.



Obr. 2.8 Princip vzniku chyby A/D převodníku

Obrázek 2.8 ilustruje popsané poměry. Relativní přesnost je odchylkou mezi napětím způsobujícím změnu na výstupu A/D převodníku a jí odpovídající střední hodnotou kódu na ideální charakteristice vyjádřenou v jednotkách LSB. Poznamenejme, že pro ideální A/D převodníkovou kartu by byla relativní přesnost , jelikož relativní přesnost zahrnuje jak nelinearitu převodní charakteristiky (která je v tomto případě nulová), tak kvantizační neurčitost. Integrální nelinearita je horším případem rozdílu středů kódu ideální a skutečné charakteristiky. Konečně diferenciální nelinearita je rozdíl mezi šířkami kódu ideálního a skutečného, vyjádřená opět v jednotkách LSB. Toto lze pak matematicky vyjádřit dle výše uvedeného grafického znázornění následovně:

$C_{id}$  .....střed kódu 1 pro ideální A/D převodníkovou kartu

$C_{act}$  .....střed kódu 1 pro skutečnou (reálnou) A/D převodníkovou kartu

$$INL = C_{act} - C_{id} \quad (2.1)$$

$$DNL = v_{act} - v_{id} \quad (2.2)$$

$$RP = MAX(Re1, Re2) \quad (2.3)$$

kde je:

INL .....je integrální nelinearita

DNL .....je diferenciální nelinearita

RP .....je relativní přesnost



## 2.4 Přístup při programování převodníkových karet

Programová obsluha převodníkové karty spočívá v řízení její činnosti a přenosu dat mezi kartou a počítačem. S kartou se obvykle komunikuje prostřednictvím registrů, ke kterým se přistupuje prostřednictvím vstupních a výstupních portů nebo jsou registry mapovány do adresového prostoru paměti.

Registry jsou řídící, stavové a datové. Nemusí však vždy jít o jednoúčelové registry, karta může například v některém registru obsahovat data i stavové informace, v jiném pak stavové a řídící informace a podobně. Řídící registr obsahuje informace, podle kterých je řízena činnost bloků karty. Může jít o způsob časování, přenosu dat kanálem přímého přístupu do paměti a další. Stavový registr obsahuje informace o režimu a průběhu činnosti bloků karty. Jde například o stavové bity indikující dokončení A/D převodu, přetečení časovače a podobně. Datové registry pak zajišťují přenos vlastních dat.

Data z karty mohou být získávány pomocí programové smyčky, přerušení, nebo v režimu přímého přístupu do paměti.

### Programová smyčka ( Polling )

V programové smyčce je testován bit indikující připravenost dat. Jsou-li data připravena, je proveden jejich programový přesun. Nevýhodou je, že vše zajišťuje procesor, který je během měření zcela zaneprázdněn a nesmí se věnovat jiné činnosti (přerušení).

### Využití přerušení

Na kartě je zápisem do příslušných řídících registrů naprogramován způsob generování přerušení. Zdrojem přerušení může být například ukončení A/D převodu. Dále je potřeba naprogramovat obslužný program, řadič a vektor přerušení počítače, jako pro každé jiné hardwarové přerušení. Po vyvolání přerušení zajistí obslužný program přenos dat.

Obsluha karty je pomalejší než u programové smyčky, protože obslužný program přerušení musí m.j. zajistit zachování obsahu použitých registrů procesoru, či reinitializovat řadič přerušení. Obsluha desky však může probíhat na pozadí jiné činnosti.

### Využití obvodu časování

Základní aplikace zajistí nastavení časování vzorkování, které bude probíhat na pozadí. Aplikace se pak stará jen o přesun naměřených dat do paměti počítače z paměti (registrů) karty. Pro časování se využívají hodinové pulsy generované obvody karty. Data z karty však musí být čtena dostatečnou rychlostí, a proto je zde omezena frekvence vzorkování.

### Přímý přístup do paměti ( DMA )

Přenos dat je řízen řadičem DMA a procesor může provádět jinou činnost, která nevyžaduje spolupráci datové sběrnice. Programová obsluha spočívá v naprogramování řadiče DMA, vymezení datového bufferu v paměti počítače a zajištění generování požadavku na přenos dat při ukončení převodu. Přímý přístup do paměti je nejrychlejším způsobem přenosu dat mezi kartou a počítačem.

## **S KONTROLNÍ OTÁZKY TEORETICKÉ**

1. (2 body) Popište princip A/D převodníku.
2. (2 body) Popište základní metody A/D převodu.
3. (2 body) Jaké jsou základní chyby A/D převodníku ?
4. (2 body) Popište princip D/A převodníku.
5. (4 body) Na blokovém schématu popište princip činnosti převodníkové karty.
6. (2 body) Vysvětlete princip součinnosti a řízení A/D převodníku a multiplexoru
7. (4 body) Rozeberte chyby převodníkových karet, vysvětlete pojmy integrální a diferenciální nelinearita.
8. (2 body) Jaké jsou možnosti programování převodníkových karet ?

## **\* KORESPONDENČNÍ ÚKOL**

Navrhněte a nakonfigurujte měření pomocí PC karty ADAB dle zadání v příloze. Naměřená data zpracujte a proveďte jejich vyhodnocení.

Hodnocení: 30 bodů

## **— SHRUTÍ**

### **Nové poznatky:**

- princip A/D a D/A převodu
- chyby D/A převodníků
- využití D/A a A/D převodníků na multifunkčních převodníkových kartách
- princip činnosti a základní funkce multifunkčních převodníkových karet
- možnosti měření pomocí převodníkových karet
- základní principy programování převodníkových karet

### **Nové pojmy :**

A/D, D/A převodník, kvantování, multiplexer, DMA, přerušení, ISA a PCI sběrnice.

## **Ñ KLÍČ K TEORETICKÝM OTÁZKÁM**

1. Kapitola 1.1, Obr. 1.1
2. Kapitoly 1.1.1 až kapitola 1.1.4
3. Kapitola 1.1.5

4. Kapitola 1.2
5. Kapitola 2, obr. 2.1
6. Kapitola 2, obr. 2.3
7. Kapitola 2.3, obr. 2.8
8. Kapitola 2.4

## **\$ AUTOKONTROLA**

Pokud jste získali minimálně 12 bodů z teoretických otázek a minimálně 15 bodů z korespondenčního úkolu, můžete pokračovat dále ve studiu. V případě nezvládnutí teoretických otázek si ve zkráceném čase příslušnou kapitolu zopakujte. V případě nezvládnutí korespondenčního úkolu kontaktujte svého tutora, konzultujte nepochopené problémy a úkol znovu vypracujte.