

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



PRŮMYSLOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2013

© prof. Dr. Ing. Petr Novák

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3032-2



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	ANALOGOVÉ VSTUPY.....	3
1.1	Úvod	4
1.2	Princip převodu.....	6
1.2.1	Vzorkování.....	6
1.2.2	Kvantování.....	10
1.3	Cvičení.....	14
1.4	Kontrolní otázky:	15
2	LITERATURA	16



1 ANALOGOVÉ VSTUPY



OBSAH KAPITOLY:

Úvod

Analogové vstupy



MOTIVACE:

Cílem této přednášky je seznámit posluchače s technickým řešením vazby počítače s analogovým okolím, konkrétně s analogovými vstupními signály (z pohledu řídicího systému).

Budete umět:

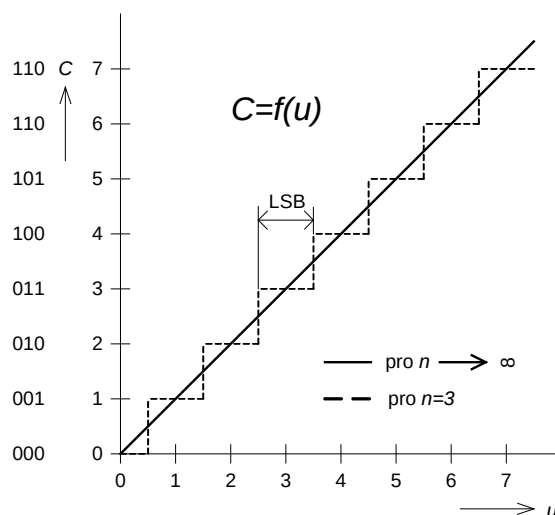
- popsat typy analogových vstupů,
- orientovat se ve výběru vhodných typů karet a modulů,
- porozumět základním obvodům analogového převodníku,
- orientovat se v názvosloví.

Rovněž si doplníte odbornou terminologii z této oblasti.

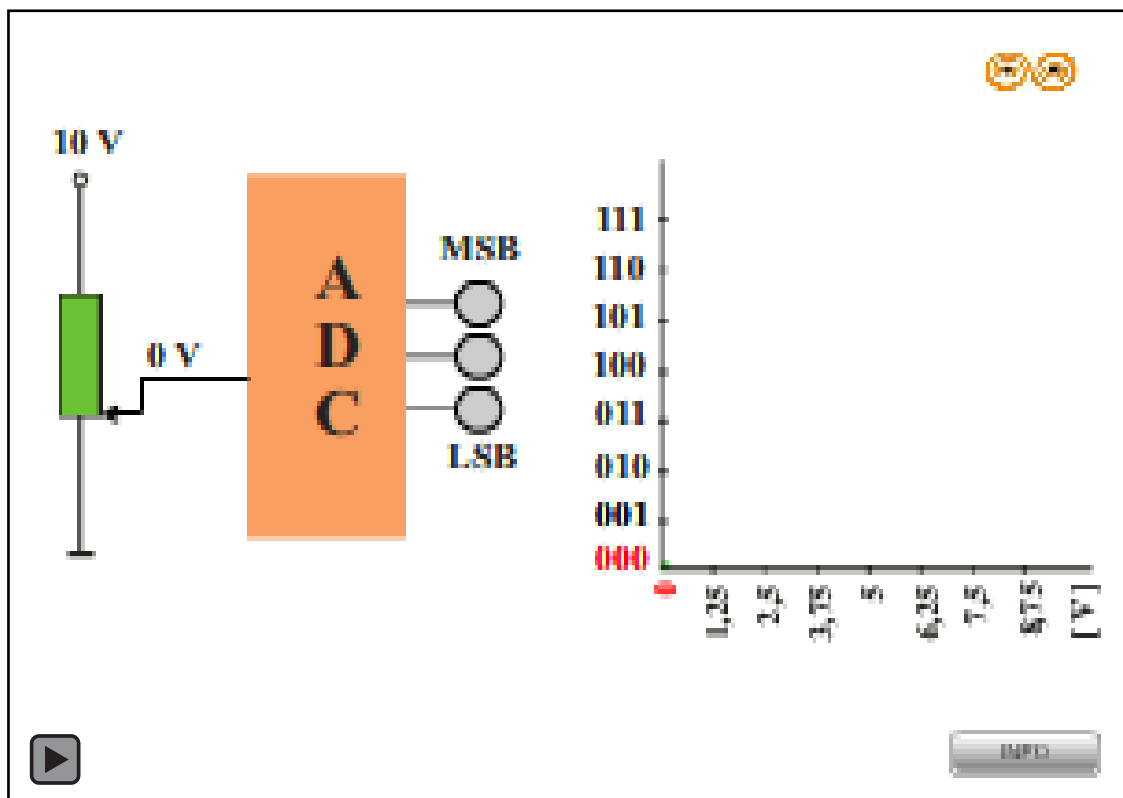


1.1 ÚVOD

Pro převod signálů senzorů s analogovým výstupem (ten může být napěťový nebo proudový) do číslicové podoby se používají analogově/digitální (A/D) převodníky (v angličtině i ADC). A/D převodníky bývají realizovány nejčastěji formou PC karet, popřípadě ve speciálních případech (zpracování nízkoúrovňových signálů apod.) jako vnější měřicí moduly. Další (běžnou) možností jsou distribuované A/D moduly. Mezi typické senzory s analogovým výstupem, nebo s převodem na analogový signál patří: termočlánky, odporové teploměry, senzory osvětlení, senzory plynů, kapalin, akcelerometry, inklinometry, senzory polohy, tlaku, tenzometry (můstková měření), bezkontaktní senzory měření vzdálenosti a celá řada dalších. Opačný převod z digitálního signálu na analogový zajišťuje [D/A převodník](#).

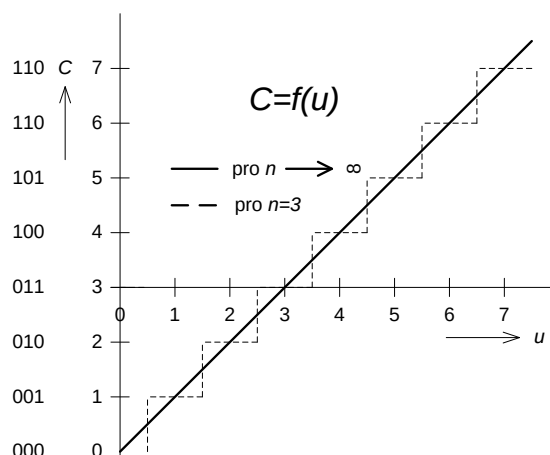


Obr. 1.1 Převodní charakteristika A/D převodníku (s unipolárním vstupním rozsahem).



Animce 1.1 Princip obecného A/D převodu, zde $U_{\text{vst}}=0-10\text{V}$, převodník je 3bitový, rozsah do 8,75V.



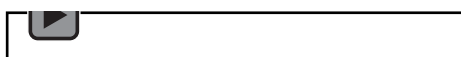


Obr. 1.2 Převodní charakteristika A/D převodníku (s bipolárním vstupním rozsahem).

Vstupní signál A/D převodníku bývá bipolární (Obr. 1.2) nebo unipolární (Obr. 1.1) napěťový, nebo méně často proudový.



Audio 1.1 Úvod



Mezi základní statické parametry patří¹: [21]:

- rozsah a typ vstupu – unipolární/bipolární,
- integrální a diferenciální nelinearita (integral – INL, differential nonlinearity –DNL),
- rozlišení převodníku (resolution),
- přesnost (accuracy),
- chyba monotónnosti,
- chyba nastavení nuly (offset error),
- hystereze a další.

K hlavním dynamickým parametrům patří

- odstup signál-šum (signal to noise ratio - SNR),
- efektivní počet bitů (effective number of bits - ENOB),
- harmonické zkreslení (total harmonic distortion - THD),
- odstup signál-šum a zkreslení (signal to noise and distortion - SINAD),
- dynamický rozsah bez parazitních složek (spurious free dynamic range - SFDR),
- krátké přechodové špičky (glitches),
- šum - vrcholový, efektivní (noise - rms, peak),
- doba přepnutí a ustálení a další.

Důvodem, proč některé parametry nejsou (zpravidla) uváděny v jednotkách volt (nebo proudu) je, že vyjádření pomocí počtu bitů je obecnější z pohledu na zvolený vstupní rozsah.

¹ U A/D převodníků určených pro přesná laboratorní měření bývají uváděny ještě další parametry, jako diferenciální nelinearita, relativní přesnost, absolutní přesnost, atd. Tyto parametry uvádí firma National Instruments u svých převodníků.



Jinak řečeno, přesnost vyjádřená v bitech nezávisí na zvoleném vstupním rozsahu, kdežto přesnost vyjádřená v napěťových (proudových) jednotkách ano.

Mějme například A/D převodníkovou kartu PCL-818L s následujícími parametry: rozlišitelnost 12 bitů, nastavený vstupní napěťový rozsah +/- 10V, přesnost a linearita shodně +/- 1bit.

Potom rozlišitelnost vyjádřena ve voltech, respektive hodnotou LSB2 bitu:

$$LSB = \frac{rozsah}{2^n - 1} \quad [V]$$

$$LSB = \frac{20000}{2^{12} - 1} = 4,884 \text{ mV}$$

kde n vyjadřuje počet bitů převodníku.

Vyjádřením n – počtu bitů převodníku, získáme důležitý vztah pro určení počtu bitů, který musí A/D převodník mít, aby byl schopen zajistit rozlišení LSB na daném vstupním rozsahu:

$$n = \frac{\log(\frac{rozsah}{LSB} + 1)}{\log 2} \quad [-]$$

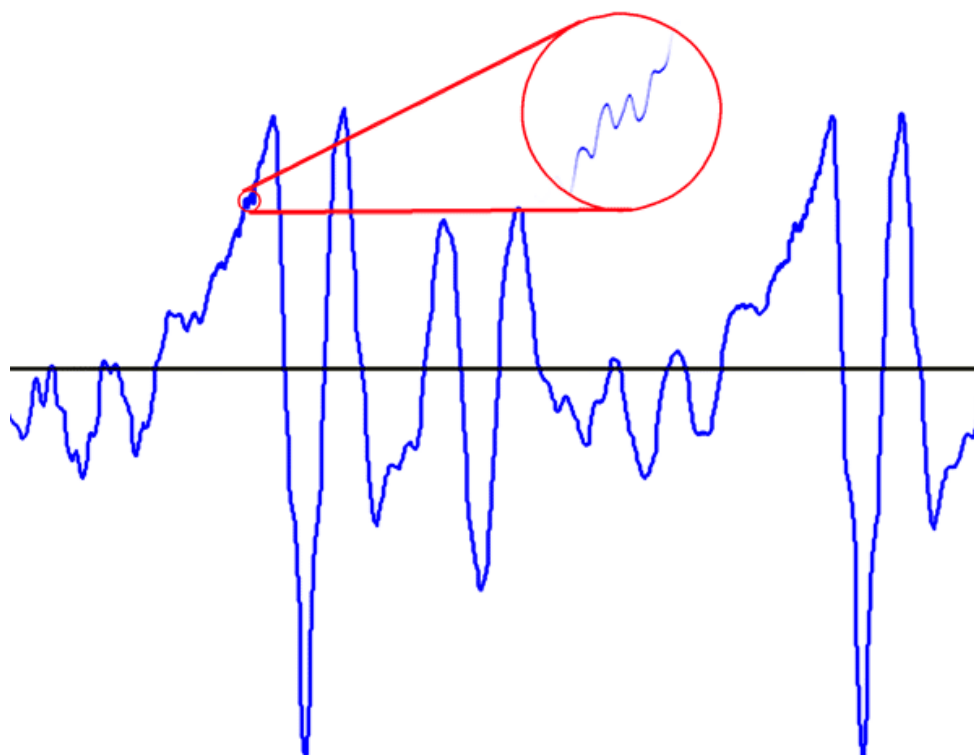
Pro výsledné n musíme vybrat nejbližší vyšší dostupný počet bitů. Tedy – když např. vyjde n=12,24, musíme vybrat kartu s rozlišením 14 bitů (13bitová neexistuje...), nebo vyšším.

1.2 PRINCIP PŘEVODU

(Převzato z Wikipedie - [30])

Převod A/D sestává ze dvou fází. Nejprve se provede vzorkování signálu, a potom následuje kvantování.

1.2.1 Vzorkování

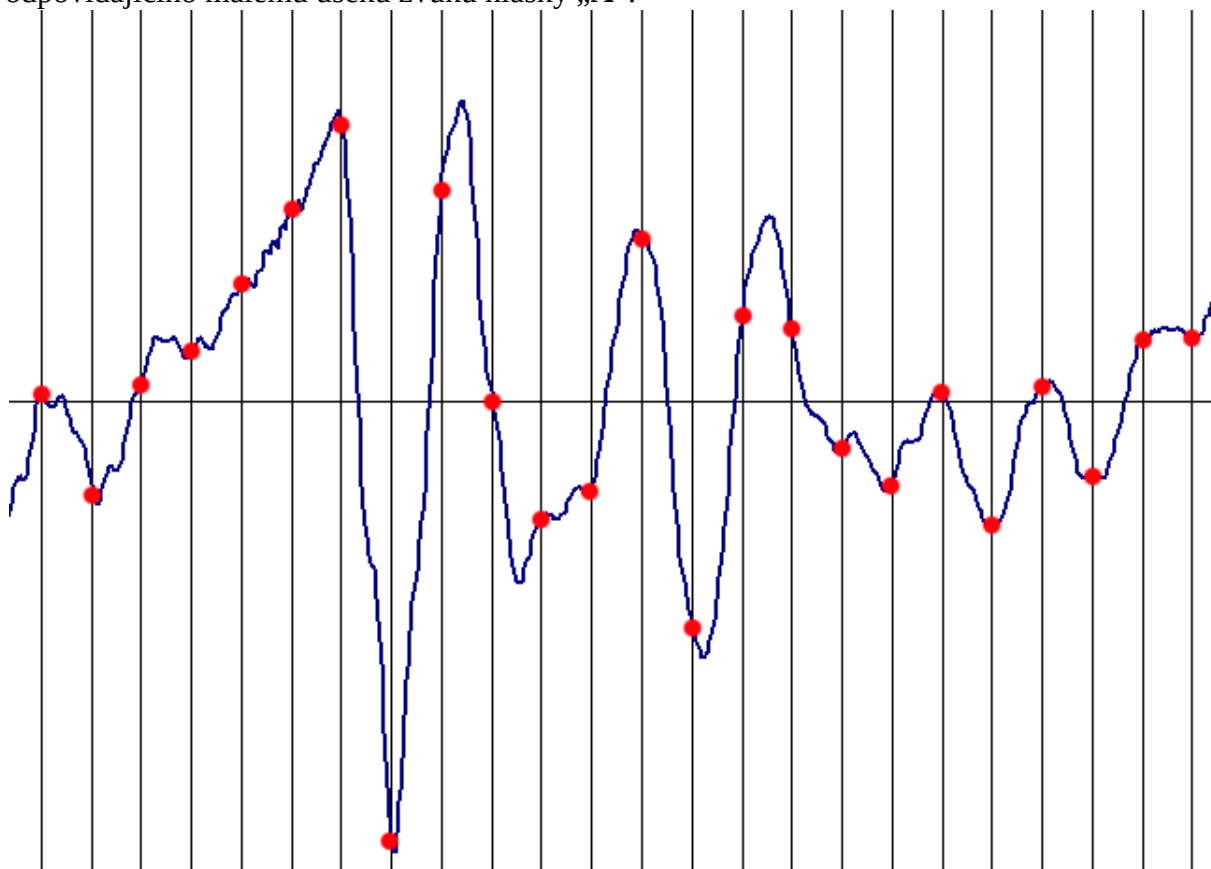


Obr. 1.3 Ukázka spojitého signálu se zvětšeným detailem

² Least Significant Bit - nejméně významný bit, bit s nejnižší vahou



Úsek A signálu se sice dá donekonečna zvětšovat a pozorovat tak jeho nekonečně malé detaily, ale protože počítače mají pouze konečnou kapacitu paměti a ani nejsou nekonečně rychlé, musíme se u reálného vzorkování při A/D převodu omezit pouze na nezbytně nutné množství vzorků, které budeme dále zpracovávat. Na obrázku je cca 15 ms zvukového signálu odpovídajícího malému úseku zvuku hlásky „Á“.



Obr. 1.4 Vzorkování spojitého signálu

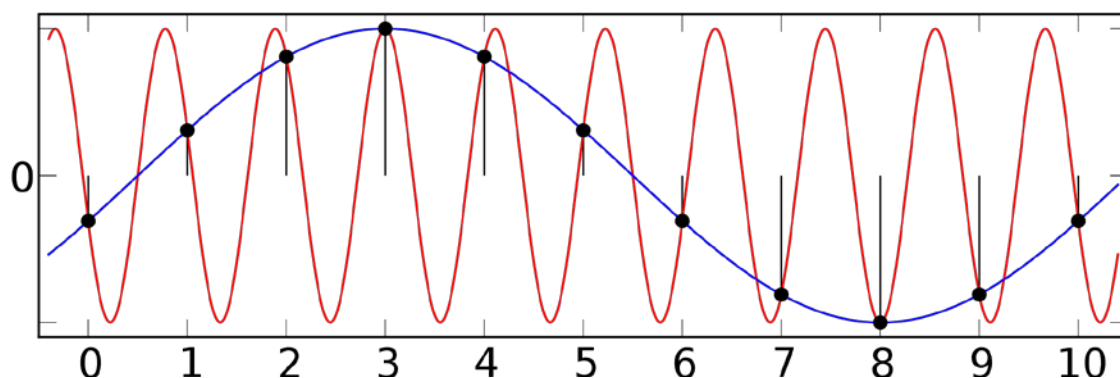
Vzorkování se provede tím způsobem, že rozdělíme vodorovnou osu signálu (v našem příkladu je na této ose čas) na rovnoměrné úseky a z každého úseku odebereme jeden vzorek (na obrázku jsou tyto vzorky znázorněny červenými kolečky). Je přitom zřejmé, že tak z původního signálu ztratíme mnoho detailů, protože namísto spojitě čáry, kterou lze donekonečna zvětšovat dostáváme pouze [množinu](#) diskrétních bodů s intervalem odpovídajícím použité vzorkovací [frekvenci](#).

Aliasing

Takový převod se nazývá [vzorkování](#), a aby nedocházelo k aliasingu, musí být vzorkovací frekvence větší než dvojnásobek nejvyšší frekvence harmonických složek obsažených ve vzorkovaném signálu - tzv. [Shannonův teorém](#) (někdy také nazývaný Nyquistův nebo Shannon-Nyquistův [teorém](#), v zemích bývalého [východního bloku](#) také Shannon-Kotělnikovův [teorém](#)). Pokud tuto podmínku nesplňuje, dochází k překrytí frekvenčních spekter vzorkovaného signálu a tedy ke ztrátě informace.

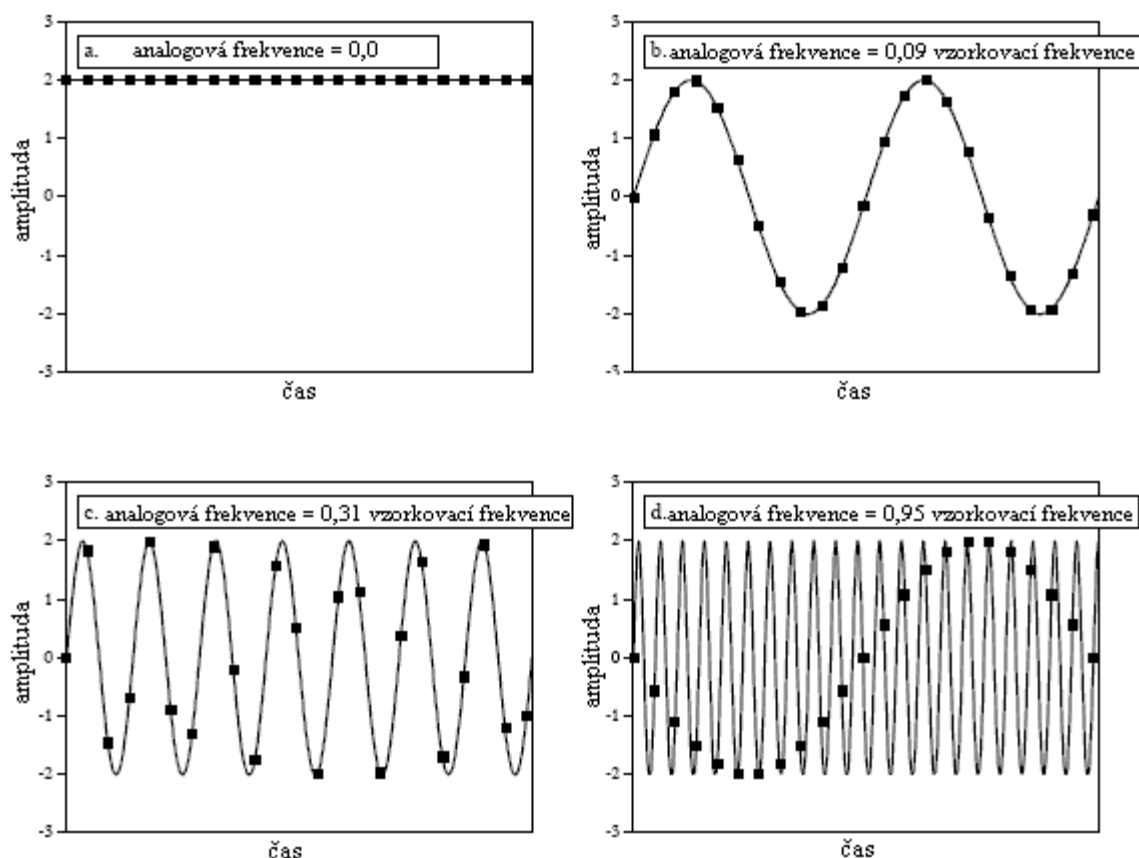
Slovo aliasing znamenající v češtině falšování přesně vystihuje jev, ke kterému dojde při nedodržení podmínky Shannonova teorému. Původní frekvence spojitě informace je totiž vzorkováním zcela zfalšována. Známou ukázkou aliasingu je například filmový záznam nějakého rychle se otáčejícího předmětu (například vrtule letadla).





Obr. 1.5 Chybně digitalizovaný (červený) signál a jeho aliasing – modře.

Obrázek níže zobrazuje několik sinusových průběhů před a po digitalizaci. Spojitý průběh zastupuje analogový signál na vstupu AD převodníku, zatímco body představují digitální signál na výstupu. Na obrázku a) je analogový signál konstantní stejnosměrný proud. Jelikož analogový signál je řada úseček mezi každým vzorkem, všechny informace potřebné k obnovení analogového signálu jsou obsaženy v digitálních datech. Zde je tedy vše z pohledu správnosti analogového převodu v pořádku. Jediná věc, která by šla optimalizovat, je vzorkovací frekvence – šla by samozřejmě snížit.



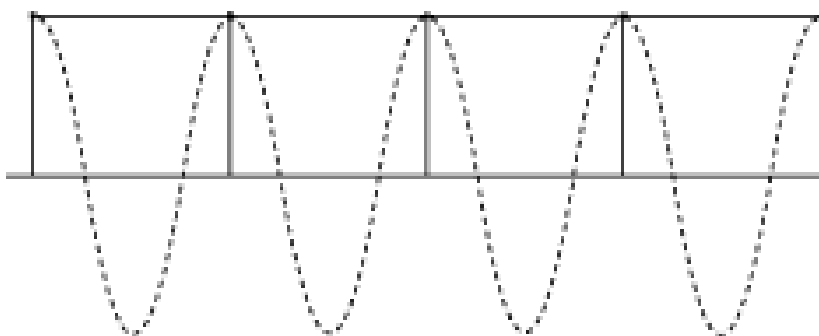
Obr. 1.6 Vzorkování – správné a nesprávné



Sinusoida znázorněná na obrázku b) má frekvenci 0,09 vzorkovacího kmitočtu. To znamená, že například sinusoida s 90 kmitů za sekundu je vzorkována 1000 vzorky za sekundu. Jinak řečeno je zde 11,1 vzorku kolem každé periody sinusoidy. Tato situace je o něco komplikovanější, než v předchozím případě, protože analogový signál nemůže být obnoven jednoduchým nakreslením úseček mezi body. Otázkou tedy je, jestli lze signál obnovit. Odpověď je ano, protože žádná jiná sinusoida, nebo kombinace sinusoid, nevytvoří tuto soustavu vzorků. Tyto vzorky odpovídají pouze jednomu analogovému signálu, a proto tedy může být analogový signál obnoven. Zde jde o správné vzorkování – dodrželi jsme Shannon-Kotělnikovův teorém.

Na obrázku c) je situace zase o něco složitější. Frekvence sinusoidy je zde 0,31 vzorkovací frekvence. Výsledkem je tedy pouze 3,2 vzorku na periodu. Vzorky jsou zde tak řídké, že nemohou přesně kopírovat původní analogový signál. Opět bychom se tedy ptali, zde lze tento signál obnovit, a opět je odpověď pozitivní. Ano, původní signál lze obnovit podobně, jako v předchozím příkladu, poněvadž všechny potřebné informace jsou obsaženy v digitální podobě. Zde se opět jedná o správné vzorkování.

Největší problém nastává u obrázku d), kde je frekvence signálu 0,95 frekvence vzorkovací, což odpovídá 1,05 vzorku na periodu. Zde tedy dochází k tomu problému, že vzorky zastupují zcela jiný sinusový průběh a data tedy nelze obnovit. Tomuto jevu, kdy během vzorkování dojde ke změně frekvence signálu říkáme aliasing, neboli vznik falešného signálu, kdy sinusoida zaujme frekvenci, která jí není vlastní. Není zde nic, co by naznačovalo, zda se jedná o frekvenci 0,95 a ne o frekvenci 0,05. Toto je dokonalý příklad nesprávného vzorkování. V extrémním případě, když je vzorkovací frekvence rovna např. frekvenci měřeného signálu, dojde k aliasingu původního signálu na stejnosměrný signál.



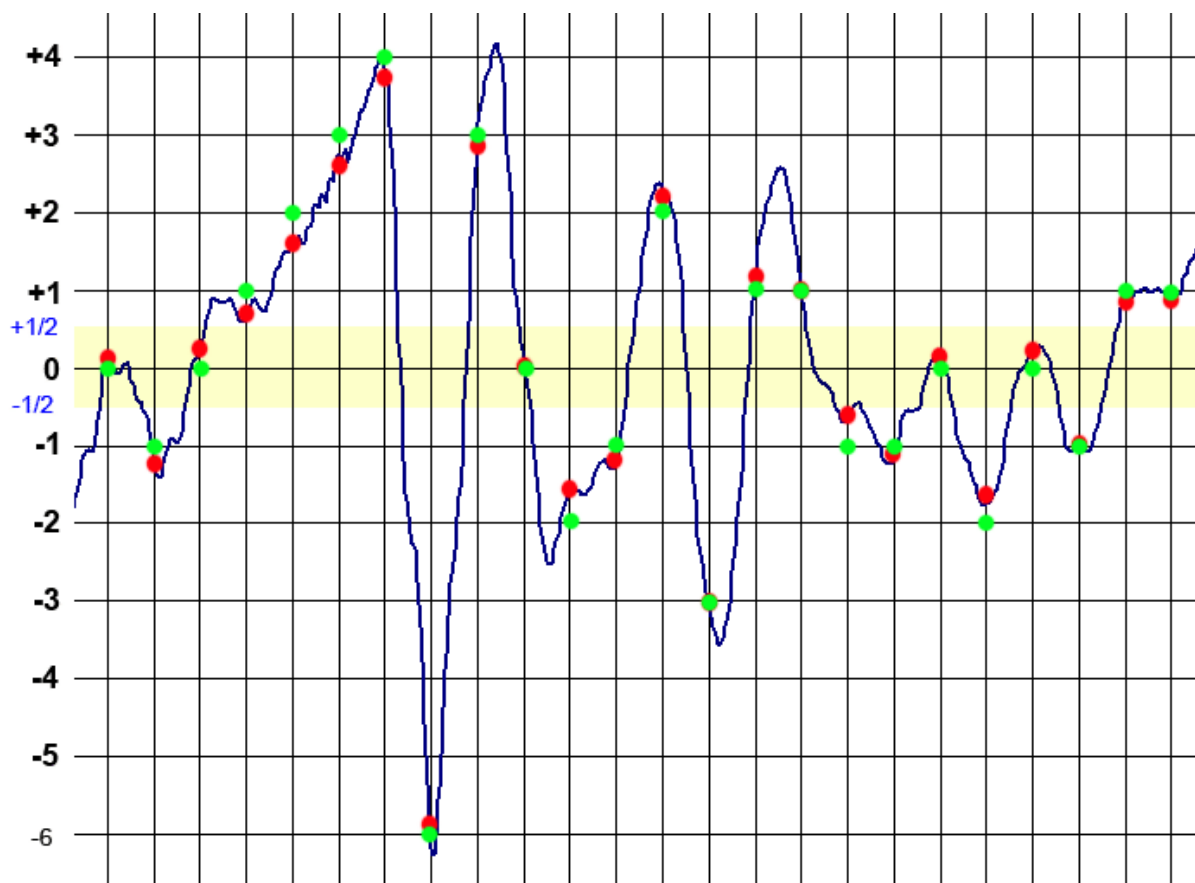
Obr. 1.7 Vzorkování pro $f_s = f_m$

Na chybách analogového převodu projevujících se aliasingem je důležité si uvědomit, že tyto již vzniklé chyby nelze odstranit ani odhalit.

Chyba vzorkování může ovšem být ještě daleko horší. Pokud se totiž v původním spojitém signálu vyskytuje frekvence vyšší než je polovina vzorkovací frekvence (nazývaná též Nyquistova frekvence) ($f_{vz} > 2f_{max}$), dojde - jak praví Shannonův teorém - k úplnému a nenávratnému zkreslení signálu díky jevu nazývanému se aliasing. Aliasingu se dá zabránit jedině takzvaným antialiasing filtrem, což je dolní propust, zařazená před převodníkem. Ta nedovolí frekvencím vyšším než je Nyquistova frekvence vstoupit do převodníku.

Například u záznamu hudby na CD je použita vzorkovací frekvence 44,1 kHz, takže na CD mohou být zachyceny frekvence zhruba do 22 kHz. Vzhledem k tomu, že rozsah frekvencí slyšitelný lidským uchem se uvádí jako 20 Hz - 16 kHz, je tak na CD možno zaznamenat slyšitelné spektrum v celé šíři.

1.2.2 Kvantování



Obr. 1.8 Kvantování vzorků signálu

Vzhledem k tomu, že počítače a další zařízení dále zpracovávající digitální signál umí vyjádřit čísla pouze s omezenou přesností, je potřeba navzorkované hodnoty upravit i na svislé ose. Protože se hodnota vzorku dá vyjádřit pouze po určitých kvantech, nazýváme tuto fázi A/D převodu kvantování.

Na obrázku může veličina na svislé ose například nabývat pouze celočíselných hodnot. Aby bylo možné určit, které hodnoty má po kvantování nabývat určitý vzorek, je třeba rozdělit prostor kolem jednotlivých hodnot na toleranční pásy (jeden takový pás je naznačen kolem hodnoty 0). Kterémukoliv vzorku, který padne do daného tolerančního pásu, je při kvantování přiřazena daná hodnota. Kvantované hodnoty jsou na obrázku naznačeny zelenými kolečky. Jak je vidět, kvantované hodnoty se ve většině případů liší od skutečných navzorkovaných hodnot. Velikost kvantizační chyby je vzdálenost mezi kvantovanými a původními navzorkovanými body, na obrázku ji vyjadřují délky pomyslných úsečky mezi červenými a zelenými kolečky. Velikost této chyby se pohybuje v intervalu $+1/2$ až $-1/2$ kvantizační úrovně.

Počet kvantizačních úrovní

Protože se digitální signál zpravidla zpracovává na zařízeních pracujících ve [dvojkové číselné soustavě](#), bývají počty kvantizačních úrovní A/D převodníků zpravidla rovny N -té mocnině čísla 2, přičemž nakvantovaný signál pak lze vyjádřit v N [bitech](#).

Kvantizační šum

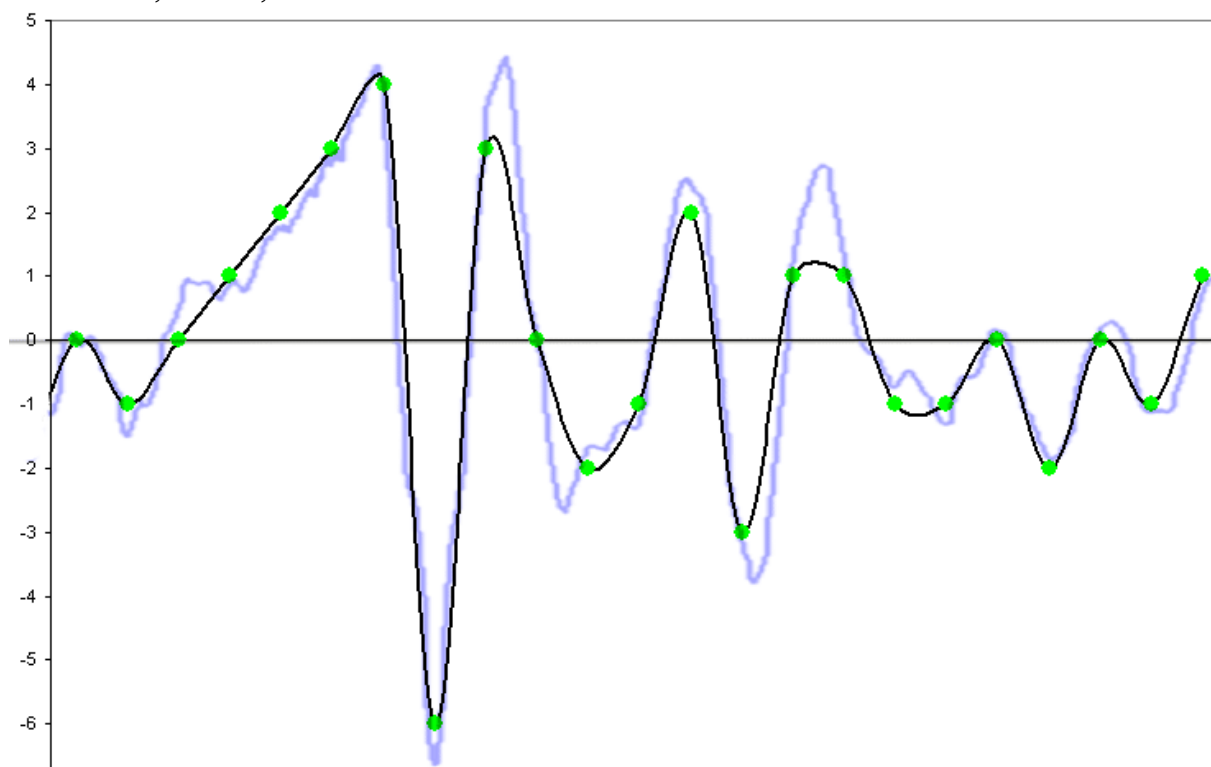
Pokud bychom vynesli velikosti chyb od jednotlivých vzorků do grafu, získali bychom náhodný signál, kterému se říká kvantizační [šum](#). Velikost šumu je zvykem vyjadřovat jako poměrné číslo v [decibelech](#), a sice jako poměr užitečného signálu ku šumu. Protože číslo ve jmenovateli zlomku - kvantizační chyba je u všech lineárních převodníků stejná (interval $+1/2$ až $-1/2$ kvantizační úrovně), závisí velikost kvantizačního šumu jen na čitateli zlomku, tedy



na velikosti užitečného signálu, což je maximální počet kvantizačních úrovní daného převodníku.

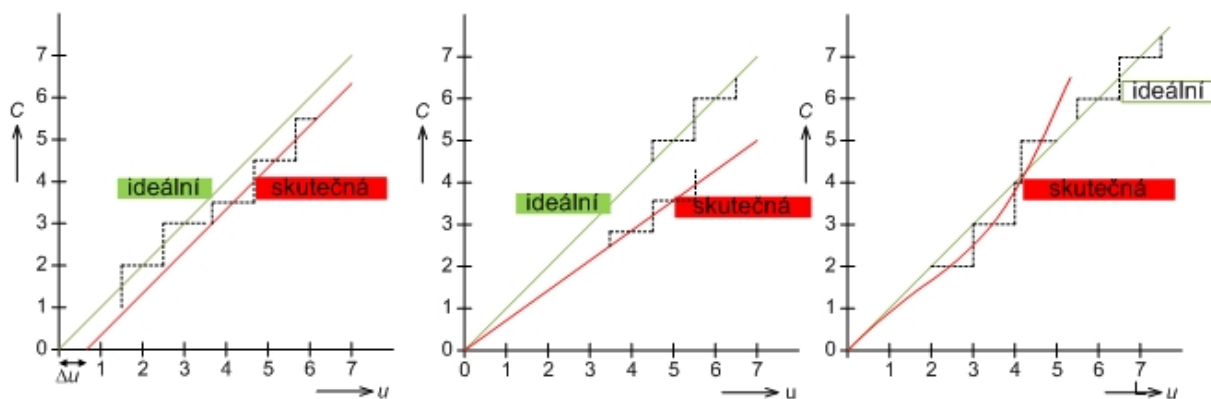
$$SNR_{A/D} = 20 \cdot \log 2^N \approx 6,02 \cdot N \text{ [dB]}$$

Například u 16 bitového kvantování použitého u záznamu hudby na CD je odstup signálu od šumu $16 \cdot 6,02 = 96,32 \text{ dB}$



Obr. 1.9 Analogový signál rekonstruovaný z digitálních hodnot

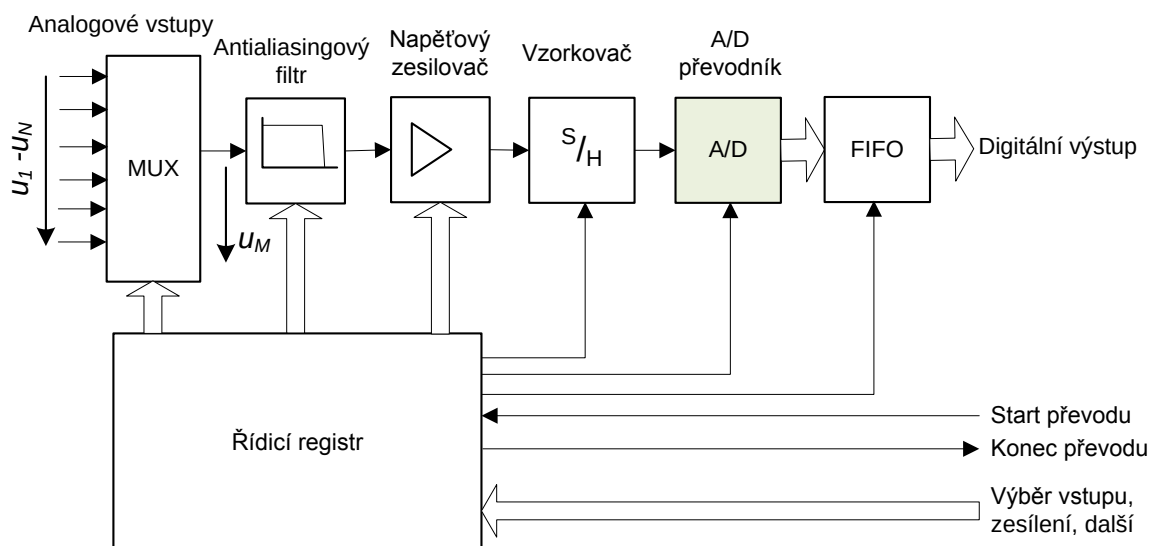
Díky diskretizaci původního spojitého signálu ve dvou osách nemůže ve většině případů signál zpětně převedený z digitální podoby do analogové přesně odpovídat původnímu signálu. Černá čára na obrázku znázorňuje zpětným D/A převodem zrekonstruovaný analogový signál, zatímco modrá čára je původní analogový signál, ze kterého byl A/D převodníkem získán signál digitální (zelená kolečka).



Obr. 1.10 Základní typy chyb A/D převodníků: (zleva) chyba posunu, chyba zisku, nelinearita.

Blokové schéma jednoduché analogové měřicí karty je znázorněno na Obr. 1.11.





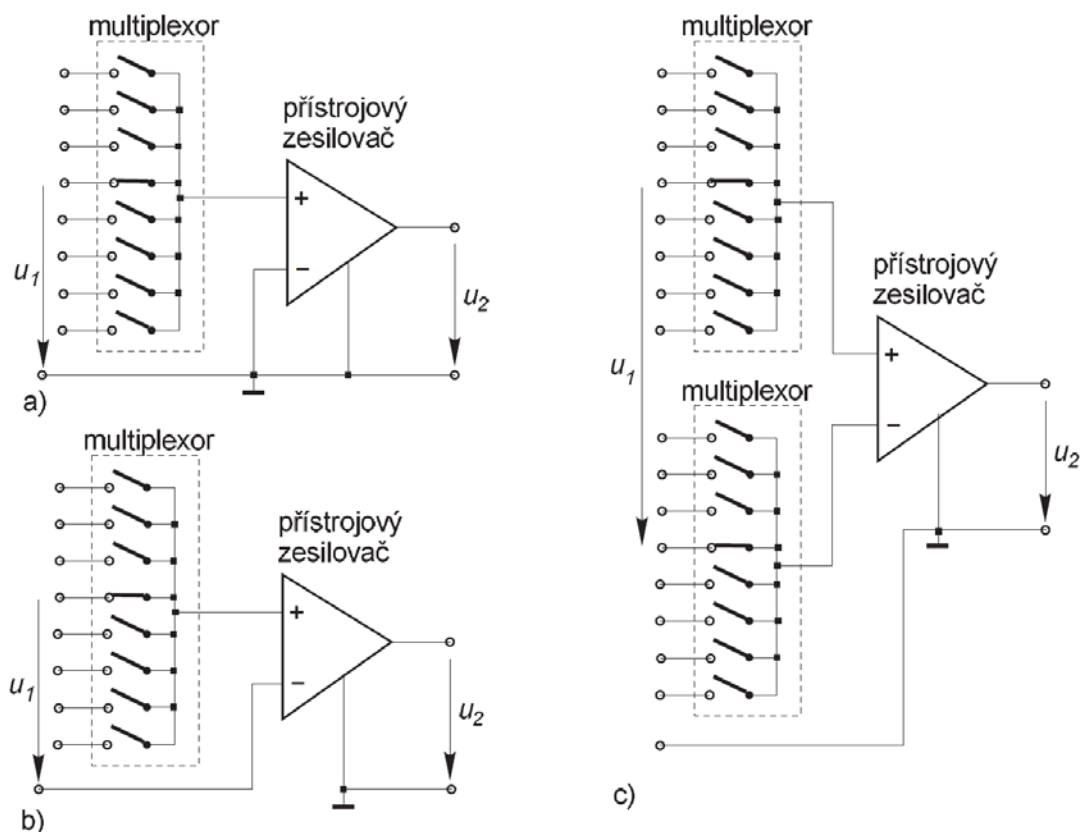
Obr. 1.11 Blokové schéma analogové měřicí PC karty (A/D analogově/číslíkový převodník; MUX – analogový multiplexor; S/H – vzorkovač – Sample/Hold).

Vstupní obvod analogové části je tvořen symetrickým nebo nesymetrickým (na našem obrázku nesymetrickým) analogovým multiplexorem MUX, což je vlastně vstupní přepínač vstupů (přepínač měřicích míst). Tedy – kartou můžeme měřit – POSTUPNĚ – více analogových signálů (napětí) připojených na vstupy multiplexoru. Hned na tomto místě poznamenejme, že existují speciální měřicí A/D karty, které jsou osazeny více A/D převodníky a tedy umožňují měřit více signálů SOUČASNĚ.

Výstup z multiplexoru je následně upraven tak, aby frekvenční spektrum signálu neobsahovalo vyšší kmitočtové složky než je polovina vzorkovací frekvence, což odpovídá i Nyquistově frekvenci. Tento modul – jedná se o dolní frekvenční propust – se zde nazývá antialiasingový filtr. Blíže viz odborná literatura týkající se digitalizace analogového signálu apod.

Takto upravený signál je zesílen zesilovačem s nastavitelným zesílením, které může být různé³ pro každý vstup (s jistými omezeními týkající se rychlosti vzorkování – viz manuál dané karty). Zesílení může být také menší než jedna – to je poměrně užitečné pro měření vyšších napětí než standardních 10V.

³ Neplatí pro starší typy karet, u kterých se zesílení nastavovalo na kartě ručně pomocí „jumperů“.



Obr. 1.12 Druhy vstupů A/D převodníku a) se společnou zemí SE, b) se společným měřicím bodem NRSE a c) diferenciální DIFF.

Zesílený signál je dále přiveden na vzorkovací obvod S/H – Sample/Hold, což je analogová paměť, která „drží“ aktuální hodnotu měřeného signálu po dobu převodu A/D převodníkem, který přímo následuje.

Výsledek převodu se u jednodušších karet (levnějších) ukládá do příslušného registru (registru) karty, kde si je musí příslušná aplikace přečíst. U lépe vybavených karet, umožňující rychlá měření rozsáhlého bloku vstupních dat, se výsledky A/D převodu ukládají buď do přímo do paměti počítače – pomocí DMA přenosu, nebo do vlastní vyrovnávací paměti instalované na kartě a zde označené jako FIFO. Jedná se o tzv. zásobník „First In-First-Out“.

Vstupní část A/D převodníku, tj. ta část, které je galvanicky spojena s měřeným signálem (např. výstupem senzoru), může být od dalších částí A/D převodníku ve speciálních případech galvanicky oddělena pomocí optoddělení.

Analogové vstupy – tedy u A/D karty vstupy multiplexoru – mohou být asymetrické (v literatuře označované jako SE – Single Ended), nebo symetrické (v literatuře označované DIFF – differential). Asymetrické vstupy měří vstupní signály proti jednomu společnému kontaktu, který, když je spojen se signálovou zemí se nazývá SE. V případě, že tento společný konec není spojen se zemí, tak se nazývá NRSE – viz Obr. 4.4 a) a b). Toto asymetrické zapojení je možno použít v případech:

- vstupní signál má vysokou úroveň (větší než 1V),
- přívody od zdroje analogového signálu jsou krátké (menší než 3m),
- všechny vstupní signály mohou být připojeny na společnou zem.

Zejména u poslední podmínky je potřeba být při konfiguraci velice opatrný – při jejím nedodržení může dojít i k poškození obvodu, v kterém měříme.



Pokud signál nesplňuje výše uvedená kritéria, musíme použít vstup typu DIFF. Ten používá – ke každému měřicímu místu – dva vstupní signály/přívody, které mají proti zemi stejnou impedanci – viz Obr. 4.4 c). Měřicí místa tedy mohou být na vzájemně různých potenciálech. Důležitou vlastností tohoto typu vstupu také je, že v případě rušivého napětí, které je přítomné na obou vstupních linkách vstupu vzájemně – v rozdílovém zesilovači – potlačí. Pouze ty nejlevnější měřicí karty mají pouze asymetrické – SE (Single Ended) – vstupy. Ostatní karty mají jak nesymetrické (SE), tak i symetrické (DIFF) vstupy. Režim těchto vstupů je možno nastavit jako SE, nebo DIFF. Taková karta má pak nař. 16 SE vstupů nebo 8 DIFF vstupů. Počet vstupů je v zásadě možné rozšířit –

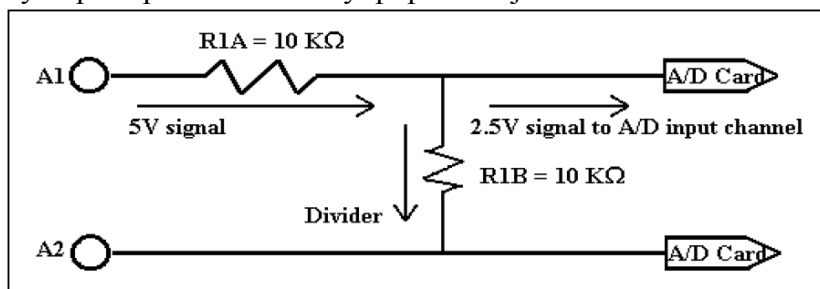
- použitím karty s větším počtem A/D vstupů,
- použitím více karet,
- použitím externího multiplexoru (přepínače měřicích míst).

Dalším parametrem analogových vstupů A/D karty je, zda jsou unipolární (pouze jedna polarita, respektive rozsah např. 0-5V), nebo bipolární (vstupní signál může mít obě polarity, např. rozsah +/- 10V).

Při výběru vhodné karty musíme zejména zohlednit:

- počet a typ A/D vstupů,
- zda jsou vstupy unipolární, nebo bipolární,
- počet bitů A/D převodníku,
- vstupní rozsahy a zesílení vstupního zesilovače,
- rychlost převodu,
- zda karta umožňuje „automatizované“ měření,
- a v neposlední řadě, zda k dané kartě existuje SW podpora od výrobce.

Problém spojený s úpravou (snížením) napětí převyšující vstupní rozsah A/D převodníku (nebo binárního vstupu) je v praxi poměrně častý. Proto jsou některé dceřiné montážní desky (svorkovnice) vybaveny výměnnými odporovými děliči – viz příklad DB-8125 na Obr. 1.13. Osazením odporů R1A a R1B získáme napěťový dělič, osazením R1A=0Ω a R1B nenulovou hodnotou získáme převodník proud/napětí a tedy možnost měřit signál proudové smyčky. Výpočet hodnoty odporu pro tento účel byl popsán na jiném místě tohoto textu.



Obr. 1.13 Vstupní část každého kanálu montážní desky DB-8125. Standardně má odpor R1A hodnotu 0Ω a R1B není osazen.

1.3 CVIČENÍ

1. Určete, kolika bitový převodník potřebujete pro zajištění těchto požadavků:
 - a) rozlišení 10mV na rozsahu +/- 10V
 - b) přesnost 0,01 %



2. Jak připojit signál proudové smyčky 0-20mA (5-20mA a pod) na napěťový (standardní) vstup A/D převodníku. – vysvětlení na cvičení.
3. Pro měření napěťového signálu na rozsahu $\pm 2,5\text{V}$ s maximálním kmitočtem 20kHz vyberte vhodný typ A/D převodníku včetně montážní desky (svorkovnice). Je požadována přesnost lepší než 0,05%.

Návod:

Vzhledem k maximálnímu kmitočtu budeme potřebovat kartu s vzorkovacím kmitočtem vyšším než je dvojnásobek maximálního kmitočtu měřeného signálu, z požadované přesnosti vypočteme minimální počet bitů převodníku. (Tento počet dorovnáme na nejvyšší z řady 10, 12, 14, 16, 18,...). Dále známe požadavek na vstupní rozsah – bipolární. Pro zajištění potlačení souhlasného rušivého signálu na vstupech zvolíme typ vstupu diferenciální. Známe všechny požadavky – vybereme vhodný typ měřicí karty (ta bude pravděpodobně obsahovat i binární vstupy a výstupy).

Pro danou kartu musíme ještě vybrat vhodnou externí desku – svorkovnici a propojovací kabel.

Na internetových stránkách dané karty také nalezneme uživatelský manuál s detailními technickými parametry a také s příklady zapojení měřených analogových signálů a také popis konektoru – názvy/čísla přípojných svorek – budeme potřebovat pro popis propojení.

1.4 KONTROLNÍ OTÁZKY:

1. Co je úkolem A/D převodníku?
2. Vysvětlíte rozdíl mezi SE a DIFF vstupem.
3. Co je vstupní rozsah A/D převodníku?
4. K čemu slouží antialiasingový filtr?
5. Co je to Sample/Hold obvod?
6. Jaký je rozdíl mezi unipolárním a bipolárním vstupem A/D převodníku?
7. Co je to LSB u A/D převodníku a jaký má rozměr?
8. Pomocí jakého vztahu určíme počet bitů A/D převodníku s ohledem na požadované rozlišení?

Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám.

4. Vazba řídicího systému s analogovým okolím prostřednictvím průmyslových karet a modulů.
10. Parametry A/D převodníků, výběr vhodného typu podle požadovaného použití.
11. Vzorkování, stanovení vzorkovací frekvence, terminologie, vznik chyb.



2 LITERATURA

- [1] Advantech *ADAM 4000 Series User's Manual*. (Uživatelský manuál Advantech), Taiwan: Advantech, 1997.
- [2] PC/104 consortium - <http://www.pc104.org>
- [3] <http://www.pc104.com>
- [4] <http://www.rtd.com>
- [5] VOJÁČEK, A.: Základní typy jednodeskových počítačů - Embedded SBC (<http://automatizace.hw.cz/plc-automaty/ART305-zakladni-typy-jednodeskovych-pocitacu--embedded-sbc.html>)
- [6] <http://www.acrosser.com>
- [7] <http://www.icpamerica.com>
- [8] <http://www.ieiworld.com/>
- [9] <http://www.adlinktech.com/>
- [10] <http://www.icpdas.com>
- [11] <http://www.kotlin.cz/>
- [12] <http://www.opto22.com>
- [13] http://www.uzimex.cz/soubory/20090529_ads50-10_cz.pdf
- [14] Screw Terminal Boards for PC based I/O Boards (Daughter Boards) (http://www.icpdas.com/products/DAQ/pc_based/pc_based_io.htm#4)
- [15] Pololu1186: (<http://www.pololu.com/catalog/product/1186%20target=>)
- [16] SG-3011: (<http://www.icpdas.com/products/DAQ/signal/sg-3011.htm>)
- [17] National Instruments: *Measuring Strain with Strain Gages – tutorial*. (<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3642>)
- [18] Advantech *PCL-812PG, Enhanced Multi-Lab Card*. (manuál k multifunkční kartě PCL-812-PG), Taiwan: Advantech, 1994, 173 p.
- [19] Sigma-delta converters: (<http://www.numerix-dsp.com/appsnotes/APR8-sigma-delta.pdf>)
- [20] katalog Sick/Stegmann – irc senzor DKS40 (<http://www.compel.ru/pdf/SICK/DKS40.pdf>)
- [21] VRBA, K. a kol.: *Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu*. Skriptum VUT Brno, 131 s., 2006
- [22] Advantech *PCL-818L User's Manual*. (Uživatelský manuál), Taiwan: Advantech, 1995.
- [23] <http://www.omegaoptics.com/Technology%20-%20Backplane.asp>
- [24] ICP *Icp – Design & Manufacture* (katalog). Taiwan: ICP, 2010.
- [25] NOVÁK, P. a NOSKIEVIČ, P. a KLEN, P. Řídicí systém pódiových stolů ve Smetanově síni v Obecním domě v Praze. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika*“ (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 36/1-7, ISBN 80-02-01153-8.
- [26] NOVÁK, P. Řídicí systém automatického řízení pohybu navařovací hubice při renovaci exponovaných míst kolejnic navařováním. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika*“ (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 24/1-3, ISBN 80-02-01153-8.



- [27] ŽÁČEK, J. Elektromagnetická kompatibilita a projektování elektrotechnických systémů. In *Automatizace* (časopis), 1998, č. 1, s. 10-16.
- [28] Mite: (<http://www.mite.cz>)
- [29] FIREMNÍ ČLÁNEK. Měření teploty v silech. In *Automa* (časopis) 1999, č. 5-6, s.32.
- [30] wikipedia: http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk
- [31] Vaughan, J.: *Application of B&K Equipment to Strain Measurements*. Bruel&Kjaer, Dánsko 1975
- [32] KLABOCH, L.: *Experimentální metody*. Skriptum fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha, 1982.
- [33] HÁZE, J. a spol. *Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu*. (skriptum). FEKT VUT V Brně, 139 s., 2010.
- [34] ŠTEFAN, R. Měřicí karty – jak správně vybírat. Au *Automa* (časopis) 2004, č.7, s.32.
- [35] ICP DAS PCI-1202/1602/1800/1802 Hardware User's Manual, 101 s., 2007
- [36] Amit *Zásady používání RS485* <www.amit.cz>

Internet

<http://nudaq.com/>

<http://www.icpdas.com.tw/>

<http://www.advantech.com/>

<http://axiomtek.com/>

<http://czech.ni.com/>

<http://www.omega.com/>

<http://www.tedia.cz/>

