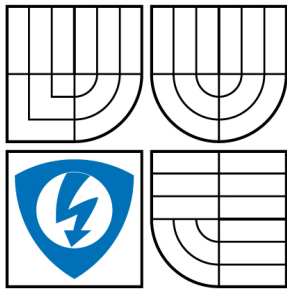


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

OVĚŘENÍ PARAMETRŮ USB MODULŮ

USB MODULES VERIFICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

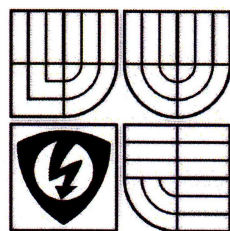
LUBOMÍR KOZINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Kozina Lubomír

Ročník: 3

ID: 78141

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Ověření parametrů USB modulů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou HW určeného pro sběr dat v laboratorních podmínkách. Vytvořte příslušné programové funkce v LabView a ověřte parametry dostupných USB modulů fy National Instruments - zejména vlastnosti AD převodníků a vstupních obvodů, přeslech mezi kanály v různých režimech funkce, potlačení souhlasného napětí atd.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

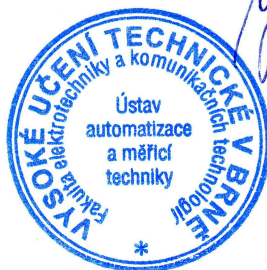
Termín zadání: 1.2.2008

Termín odevzdání: 2.6.2008

Vedoucí projektu: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení:

Bytem:

Narozen/a (datum a místo):

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta

se sídlem

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: _____

Vedoucí/ školitel VŠKP: _____

Ústav: _____

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabyvá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

V bakalářské práci na téma *Ověření parametrů USB modulů* jsem se zabýval moduly firmy National Instruments, především modulem NI USB-6008, který jsem používal a testoval jako A/D převodník. Používal jsem software Measurement & Automation Explorer a LabVIEW 7.1.

Klíčová slova

analogově digitální převodník (A/D), doba vzorkování, synchronní vzorkování, LabVIEW

Annotation

In the bachelor's thesis on the topic *USB modules verification* I was engaged in National Instruments modules, especially in module NI USB-6008. I have been using and testing this module like A/D converter. I have been using Measurement & Automation Explorer and LabVIEW 7.1 software.

Key words

analog-to-digital converter (ADC), sampling time, synchronous sampling, LabVIEW

Bibliografická citace

KOZINA, Lubomír. *Ověření parametrů USB modulů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 31s. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Ověření parametrů USB modulů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

1. A/D PŘEVODNÍKY [3]	7
1.1 Vzorkování.....	7
1.1.1 Aliasing.....	8
1.2 Kvantování.....	9
1.2.1 Počet kvantizačních úrovní.....	10
1.2.2 Kvantizační šum	10
2. OVĚŘENÍ PARAMETRŮ MODULU USB-6008 FIRMY NATIONAL INSTRUMENTS	12
2.1 Software	12
2.2 Hardware.....	13
2.2.1 National Instruments USB-6008.....	13
2.2.2 HP 33120A Function Generator	13
2.2.3 Agilent 33220A Function Generator	13
2.3 Rychlost vzorkování a převodu.....	14
2.4 Rozlišovací schopnost.....	15
2.5 Přeslech mezi kanály – STATICKÝ	16
2.6 Přeslech mezi kanály – DYNAMICKÝ	17
2.7 Potlačení souhlasného napětí	19
2.8 Doba vzorkování	21
2.8.1 Výpočet doby vzorkování.....	22
2.8.2 Výpočet doby vzorkování v LabVIEW	23
2.8.3 Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí	25
2.8.4 Přepočítání na synchronní vzorkování.....	27
3. ZÁVĚR	29
4. LITERATURA	31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Ukázka spojitého signálu se zvětšeným detailem [3].....	7
Obrázek 2: Vzorkování spojitého signálu [3]	8
Obrázek 3: Kvantování vzorků signálu [3]	9
Obrázek 4: Analogový signál rekonstruovaný z digitálních hodnot [3]	11
Obrázek 5: Měření statických přeslechů na vstupu AI2 v diferenciálním režimu.....	16
Obrázek 6: Měření statických přeslechů na vstupu AI2 v režimu RSE.....	17
Obrázek 7: Měření dynamických přeslechů na vstupu AI2 v diferenciálním režimu	18
Obrázek 8: Měření dynamických přeslechů na vstupu AI2 v režimu RSE	19
Obrázek 9: Potlačení souhlasného napětí.....	20
Obrázek 10: Doba vzorkování	22
Obrázek 11: Ukázka z prostředí aplikace pro výpočet doby vzorkování.....	24
Obrázek 12: Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí – LabVIEW	26
Obrázek 13: Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí – MS Excel	27
Obrázek 14: Přepočítání na synchronní vzorkování.....	28

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Potlačení souhlasného napětí	20
---	----

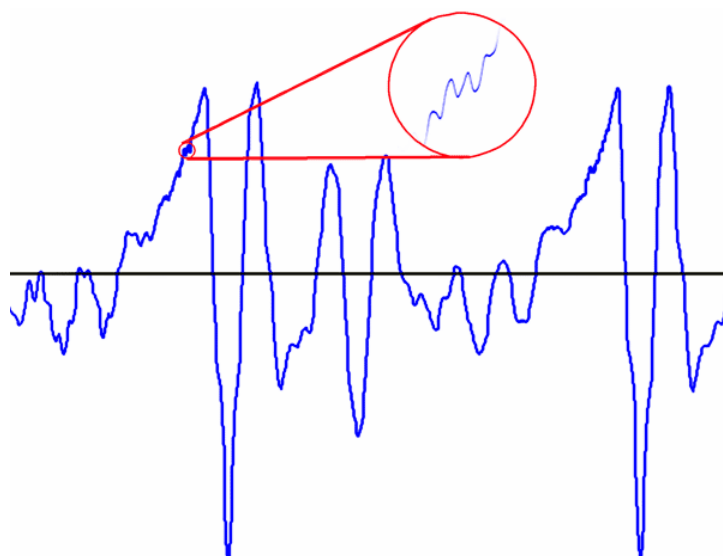
1. A/D PŘEVODNÍKY [3]

Analogově digitální převodník (zkratky A/D, v angličtině i ADC) je elektronická součástka určená pro převod spojitého (neboli analogového) signálu na signál diskrétní (neboli digitální). Většina veličin je totiž analogového charakteru (napětí, teplota, tlak, lidský hlas, apod.). Důvodem tohoto převodu je umožnění zpracování původně analogového signálu na číslicových počítačích. V digitální podobě se také dají signály daleko kvalitněji zaznamenávat, uchovávat a přenášet. Opačný převod z digitálního signálu na analogový zajišťuje D/A převodník.

Převod spojitého signálu na diskrétní sestává ze dvou fází. Nejprve se provede vzorkování signálu, a potom následuje kvantování.

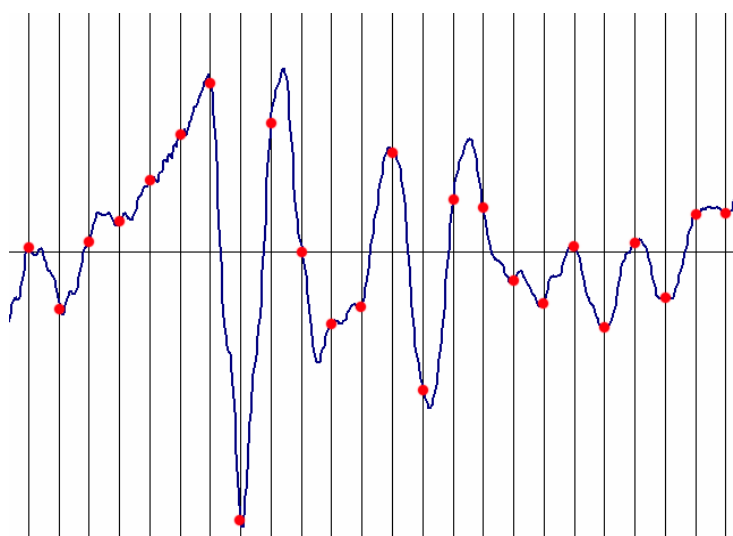
1.1 VZORKOVÁNÍ

Úsek spojitého 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. Obrázek 1 znázorňuje cca 15 ms zvukového signálu odpovídajícího malému úseku zvuku hlásky „Á“.



Obrázek 1: Ukázka spojitého signálu se zvětšeným detailem [3]

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 (tyto vzorky jsou znázorněny červenými kolečky viz Obrázek 2). 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.



Obrázek 2: Vzorkování spojitého signálu [3]

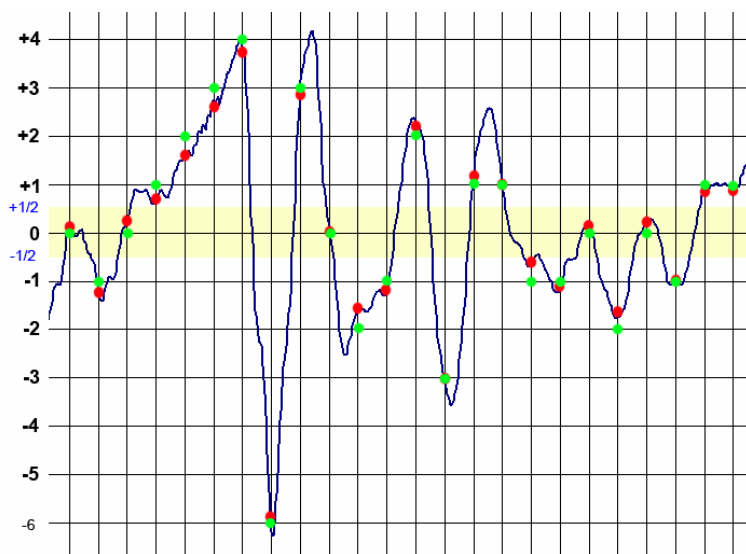
1.1.1 Aliasing

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), dojde, jak praví Shannonův teorém, k úplnému a nenávratnému zkreslení signálu díky jevu nazývajícimu 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.

1.2 KVANTOVÁNÍ

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.

Veličina na svislé ose může například nabývat pouze celočíselných hodnot viz Obrázek 3. 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 naznačeny zelenými kolečky viz Obrázek 3. 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, vyjadřují ji délky pomyslných úseček mezi červenými a zelenými kolečky viz Obrázek 3. Velikost této chyby se pohybuje v intervalu $+1/2$ až $-1/2$ kvantizační úrovně.



Obrázek 3: Kvantování vzorků signálu [3]

1.2.1 Počet kvantizačních úrovní

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

1.2.2 Kvantizační šum

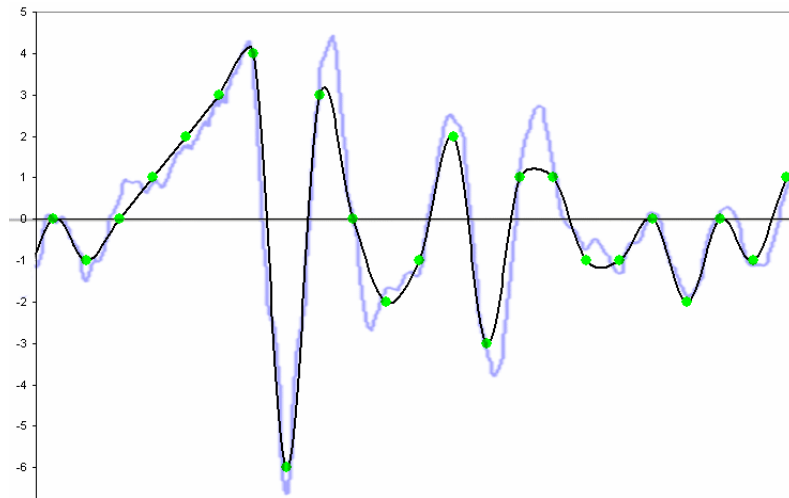
Pokud bychom vynesli velikosti chyb od jednotlivých vzorků do grafu, získali bychom náhodný signál, kterému se říká kvantizační šum. Velikost šumu je zvykem vyjadřovat jako poměrné číslo v decibelech, a sice jako poměr užitečného signálu ku šumu. Protože číslo ve jmenovateli zlomku - kvantizační chyba 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.

Odstup signál-šum (SNR) závisí na počtu kvantovacích úrovní. Pro sinusový signál teoreticky platí vztah

$$SNR = 6.02 \cdot N + 1,76 \quad [dB], \quad [5]$$

kde N je efektivní počet bitů (kvantizačních úrovní).

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 4 znázorňuje zpětným D/A převodem zrekonstruovaný analogový signál, zatímco šedá čára je původní analogový signál, ze kterého byl A/D převodníkem získán signál digitální (zelená kolečka).



Obrázek 4: Analogový signál rekonstruovaný z digitálních hodnot [3]

2. OVĚŘENÍ PARAMETRŮ MODULU USB-6008 FIRMY NATIONAL INSTRUMENTS

2.1 SOFTWARE

Všechna měření karty NI USB-6008 jsem prováděl pomocí programů Measurement & Automation Explorer (v.4.3.0f0) a LabVIEW 7.1. Tento software komunikuje s kartou pomocí ovladače NI-DAQmx (v.8.6.0f6) dodávaného společně s kartou.

Prostředí Measurement & Automation Explorer slouží pro správu a konfiguraci zařízení a rozhraní, v našem případě se jedná o kartu USB-6008. V testovacích panelech se dají provádět jednoduchá měření, jsou však určena spíše pro orientaci a přehled o jednotlivých vstupech/výstupech karty. A v neposlední řadě se zde dají vytvářet úlohy (NI-DAQmx Tasks), ve kterých se vybírají a následně konfigurují kanály karty. Tyto úlohy se potom dále využívají při aplikacích v programu LabVIEW.

V prostředí LabVIEW jsem pak vytvářel aplikace, využíval jsem úlohy vytvořené v prostředí Measurement & Automation Explorer a pomocí těchto úloh jsem se snažil otestovat a ověřit parametry karty NI USB-6008, především A/D převodníku s postupnou aproximací.

2.2 HARDWARE

2.2.1 National Instruments USB-6008

Sériové číslo: 121AEF6

Analogové vstupy: 8 RSE, 4 Diferenciální

ADC rozlišení: 11-bit RSE, 12-bit Diferenciální

Vstupní rozsah analogových vstupů: ± 10 V

Max. rychlost vzorkování: 10 kS/s

A/D převodník: BURR-BROWN ADS7870 12-bit ADC

2.2.2 HP 33120A Function Generator

RAMP – Pilovitý signál

Frekvenční rozsah: 100 μ Hz – 100 kHz

Doba trvání sestupné hrany: 100 ns (typicky)

Linearita: $< 0,1$ % špičkového výstupu

Amplituda: 50 mVpp – 10 Vpp

2.2.3 Agilent 33220A Function Generator

RAMP – Pilovitý signál

Frekvenční rozsah: 100 μ Hz – 200 kHz

Doba trvání sestupné hrany: < 13 ns (obdélkový signál)

Linearita: $< 0,1$ % špičkového výstupu

Amplituda: 20 mVpp – 20 Vpp

2.3 RYCHLOST VZORKOVÁNÍ A PŘEVODU

Rychlost vzorkování vstupního signálu patří mezi nejvýznamnější parametry A/D převodníků. U A/D převodníků je rychlost převodu obvykle shodná s rychlostí vzorkování, resp. naopak, rychlost vzorkování vyplývá z nejkratší možné doby převodu. Doba převodu může být určena jako doba, která uplyne od okamžiku přivedení vstupního analogového napětí na vstup převodníku, až do doby, kdy je výstup převodníku k dispozici platné výstupní datové slovo. Může být rovněž vyjádřena počtem úplných převodů za jednotku času nebo počtem bitů za jednotku času.

V dokumentaci ke kartě USB-6008 je udávaná vzorkovací rychlost 10 kS/s. Rychlost vzorkování se tedy zadává v počtech vzorků za sekundu. V programu LabVIEW jsem mohl využívat celý rozsah 1 – 10 000 vzorků za sekundu pro obě možná zapojení (Differential / RSE), ovšem pouze v případě, že jsem využíval jen jeden analogový vstup. Při použití více analogových vstupů se maximální rychlost rozdělila mezi použité vstupy, tedy při použití 3 vstupů byla maximální rychlost vzorkování 3,33 kS/s pro každý vstup. Ovladače NI-DAQmx zajišťovaly dodržování maximální rychlosti vzorkování a při pokusu o překročení maxima se objevilo upozornění a měření bylo přerušeno.

2.4 ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST

Rozlišovací schopnost je určena počtem úrovní, na něž je rozdělen rozsah dovoleného vstupního napětí (maximální rozsah -10 V až +10 V). Rozlišovací schopnost se rovná *kvantizačnímu kroku* a je v přímé souvislosti s počtem bitů vstupního datového slova n . Platí pro ni vztah:

$$Q = \frac{1}{2^n - 1}$$

Tento A/D převodník pracuje pro diferenciální zapojení analogových vstupů v rozlišení 12-bit a je přepínáno celkem mezi 8 rozsahy (± 1 V až ± 20 V). Pro rozsah ± 10 V by tedy teoretická velikost kvantizačního kroku (LSB) pro diferenciální zapojení měla být rovna $\frac{10 - (-10)}{2^{12} - 1} = 4,8840\text{mV}$. Při reálném měření vyšla velikost kvantizačního kroku 5,0950 mV pro rozsah ± 10 V. Pro rozsah ± 1 V by teoretická velikost kvantizačního kroku (LSB) pro diferenciální zapojení měla být rovna $\frac{1 - (-1)}{2^{12} - 1} = 0,4884\text{mV}$. Při reálném měření vyšla velikost kvantizačního kroku 0,5098 mV pro rozsah ± 1 V.

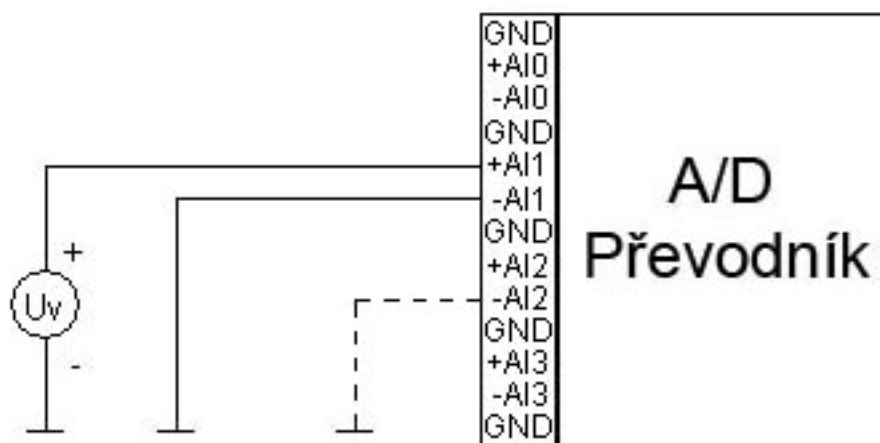
Při zapojení analogových vstupů v režimu RSE (referenced single-ended) pracuje A/D převodník v rozlišení 11-bit v rozsahu ± 10 V. Pro rozsah ± 10 V by teoretická velikost kvantizačního kroku (LSB) pro RSE zapojení měla být rovna $\frac{10 - (-10)}{2^{11} - 1} = 9,7700\text{mV}$. Při reálném měření vyšel opět větší kvantizační krok 10,1942 mV pro rozsah ± 10 V.

Ve všech aplikacích vytvořených v LabVIEW je nastaven měřicí rozsah A/D převodníku ± 10 V.

Odchylku vzniklou kvantováním nazýváme kvantizační chyba. Kvantizační chyba může dosahovat maximální hodnoty rovné polovině velikosti kvantizačního kroku (LSB).

2.5 PŘESLECH MEZI KANÁLY – STATICKÝ

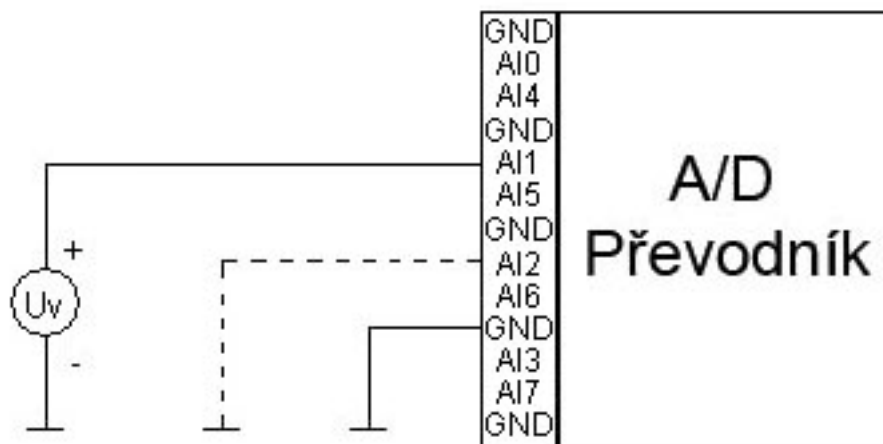
Při měření statických přeslechů na analogových vstupech v diferenciálním režimu jsem přivedl napětí 10 V na analogový vstup AI1 viz Obrázek 5. Nastavil jsem co nejvyšší rychlost vzorkování 5 kS/s a sledoval, jestli se na analogovém vstupu AI2 neobjeví nějaký signál. Ovšem na vstupu AI2 se objevovaly jen dvě kvantizační úrovně nejbližší 0 V, tedy žádné přeslechy se na vstupu AI2 neobjevují. Když jsem navíc uzemnil $-AI2$ (naznačeno přerušovaně na obrázku 5), objevil se na vstupu AI2 signál o velikosti 3,35 V. Když jsem uzemnil $-AI2$ spolu s $+AI2$, na vstupu AI2 se opět objevovaly jen dvě kvantizační úrovně nejbližší 0 V a žádné přeslechy.



Obrázek 5: Měření statických přeslechů na vstupu AI2 v diferenciálním režimu

Při měření přeslechů na analogových vstupech v režimu RSE jsem přivedl napětí 10 V na analogový vstup AI1 viz Obrázek 6. Nastavil jsem opět rychlost vzorkování 5 kS/s a sledoval analogový vstup AI2. Jenže na analogovém vstupu AI2 se objevil signál o velikosti 1,408 V, tedy žádné přeslechy (tato hodnota je na všech analogových vstupech při měření v režimu RSE, přičemž na žádný vstup není připojen žádný signál). Když jsem navíc uzemnil AI2 (naznačeno přerušovaně na

obrázku 6), na vstupu AI2 se opět objevovaly jen dvě kvantizační úrovně nejbližší 0 V a žádné přeslechy.

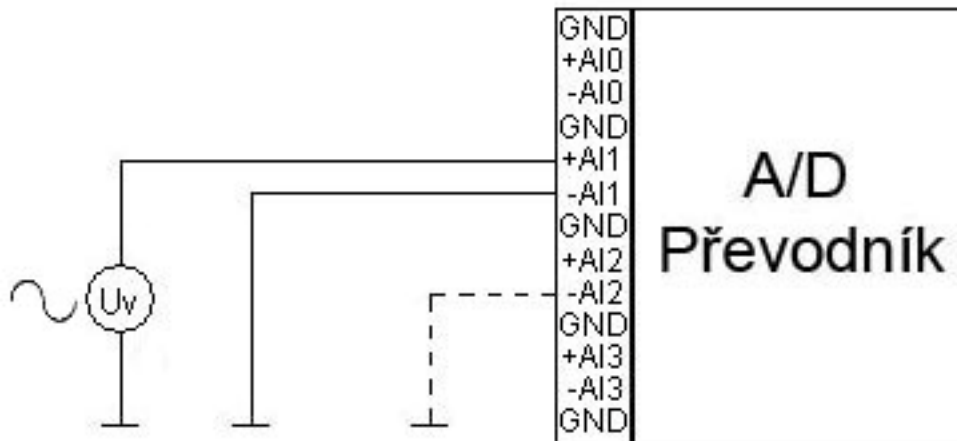


Obrázek 6: Měření statických přeslechů na vstupu AI2 v režimu RSE

Statické přeslechy jsem měřil i mezi jinými analogovými vstupy než AI1 a AI2, ovšem převodník se vždy choval tak, jak jsem popsal výše.

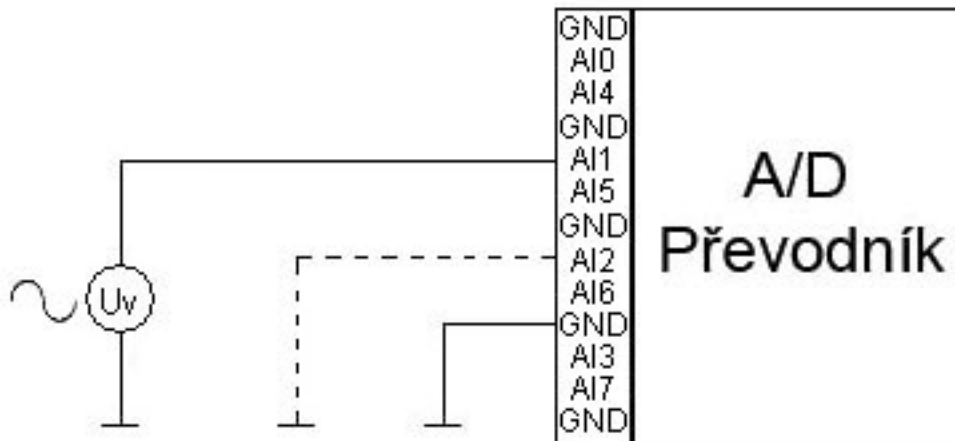
2.6 PŘESLECH MEZI KANÁLY – DYNAMICKÝ

Při měření dynamických přeslechů na analogových vstupech v diferenciálním režimu jsem přivedl sinusový signál o frekvenci 5 a 10 kHz a amplitudě VPP 8 V na analogový vstup AI1 viz Obrázek 7. Nastavil jsem co nejvyšší rychlost vzorkování 5 kS/s a sledoval, jestli se na analogovém vstupu AI2 neobjeví nějaký signál. Ovšem na vstupu AI2 se objevovaly jen dvě kvantizační úrovně nejbližší 0 V, tedy žádné přeslechy se na vstupu AI2 neobjevují. Když jsem navíc uzemnil $-AI2$ (naznačeno přerušovaně na obrázku 7), objevil se na vstupu AI2 signál o velikosti menší než 0,5 V (záleželo jaká část sinusovky se zrovna vzorkovala). Když jsem uzemnil $-AI2$ spolu s $+AI2$, na vstupu AI2 se opět objevovaly jen dvě kvantizační úrovně nejbližší 0 V a žádné přeslechy.



Obrázek 7: Měření dynamických přeslechů na vstupu AI2 v diferenciálním režimu

Při měření přeslechů na analogových vstupech v režimu RSE jsem přivedl sinusový signál o frekvenci 5 a 10 kHz a amplitudě VPP 8 V na analogový vstup AI1 viz Obrázek 8. Nastavil jsem opět rychlost vzorkování 5 kS/s a sledoval analogový vstup AI2. Jenže na analogovém vstupu AI2 se objevil signál o velikosti 1,408 V, tedy žádné přeslechy (tato hodnota je na všech analogových vstupech při měření v režimu RSE, přičemž na žádný vstup není připojen žádný signál). Když jsem navíc uzemnil AI2 (naznačeno přerušovaně na obrázku 8), na vstupu AI2 se opět objevovaly jen dvě kvantizační úrovně (0,013 V a 0,0027 V), tedy žádné přeslechy (podobné hodnoty jsou na všech analogových vstupech při měření v režimu RSE, přičemž na žádný vstup není připojen žádný signál a všechny vstupy jsou uzemněny).



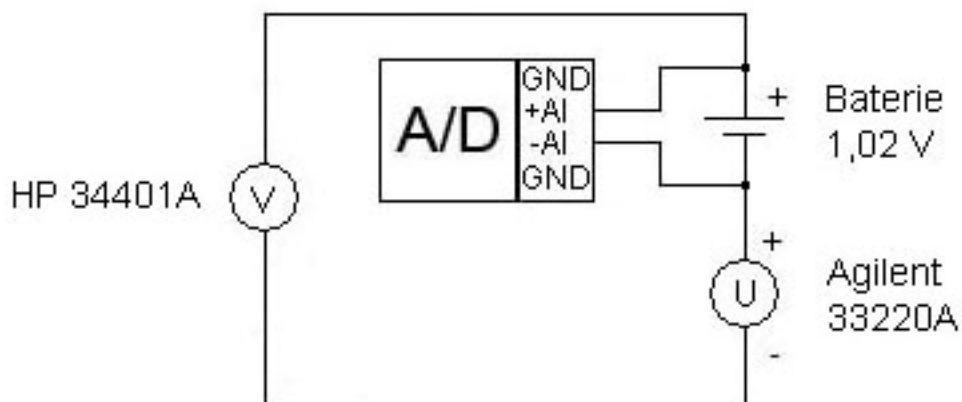
Obrázek 8: Měření dynamických přeslechů na vstupu AI2 v režimu RSE

Dynamické přeslechy jsem měřil i mezi jinými analogovými vstupy než AI1 a AI2, ovšem převodník se vždy choval tak, jak jsem popsal výše.

2.7 POTLAČENÍ SOUHLASNÉHO NAPĚTÍ

Tímto měřením jsem ověřoval schopnost analogových vstupů A/D převodníku v diferenciálním režimu potlačit různé potenciály napětí připojené na svorky daného analogového vstupu a zaznamenat opravdu jen rozdíl napětí mezi svorkami. Zapojení je znázorněno na obrázku 9. Generátor Agilent 33220A jsem používal jako zdroj stejnosměrného napětí, jehož hodnoty jsem nastavoval v rozsahu -10 V až $+10\text{ V}$ a zaznamenával jsem hodnoty naměřené na analogovém vstupu AI. Voltmetr jsem používal pouze pro kontrolu zapojení. Tento parametr jsem ověřoval na analogových vstupech AI1, AI2, AI3 v diferenciálním režimu.

Jak je vidět z tabulky 1, analogové vstupy v diferenciálním režimu pracují bezchybně. Pouze u analogového vstupu AI1 neustále přeskakovaly 2 kvantizační úrovně $1,01535\text{ V}$ a $1,02045\text{ V}$ nejbližší hodnotě napětí baterie $1,02\text{ V}$. Hodnoty se ovšem měnili velice rychle a nezávisle na napětí nastaveném na generátoru Agilent 33220A.



Obrázek 9: Potlačení souhlasného napětí

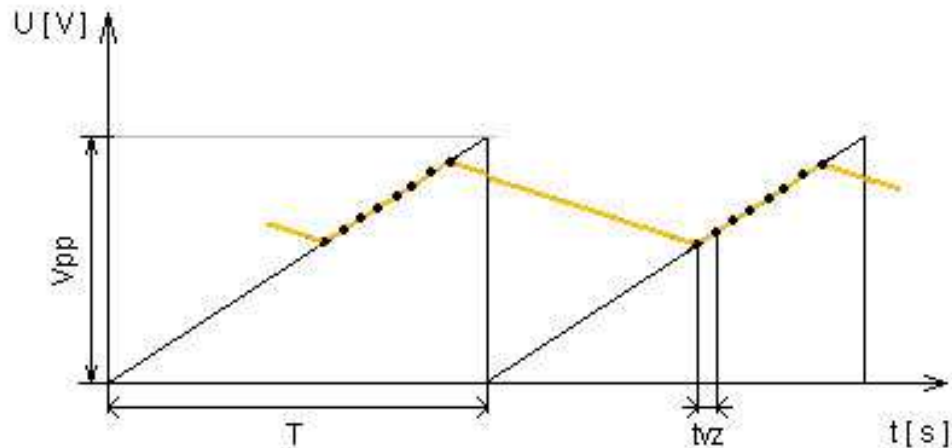
Agilent 33220A [V]	HP 34401A [V]	AI1 A/D [V]	AI2 A/D [V]	AI3 A/D [V]
-10,0	-8,973	1,02045	1,01810	1,01782
-9,0	-7,974	1,02045	1,01810	1,01782
-8,0	-6,976	1,02045	1,01810	1,01782
-7,0	-5,976	1,02045	1,01810	1,01782
-6,0	-4,978	1,02045	1,01810	1,01782
-5,0	-3,978	1,02045	1,01810	1,01782
-4,0	-2,982	1,02045	1,01810	1,01782
-3,0	-1,982	1,02045	1,01810	1,01782
-2,0	-0,092	1,02045	1,01810	1,01782
-1,5	-0,482	1,02045	1,01810	1,01782
-1,0	0,018	1,02045	1,01810	1,01782
-0,5	0,518	1,02045	1,01810	1,01782
0,0	1,018	1,02045	1,01810	1,01782
0,5	1,518	1,02045	1,01810	1,01782
1,0	2,018	1,02045	1,01810	1,01782
1,5	2,518	1,02045	1,01810	1,01782
2,0	3,017	1,02045	1,01810	1,01782
3,0	4,017	1,02045	1,01810	1,01782
4,0	5,017	1,02045	1,01810	1,01782
5,0	6,015	1,02045	1,01810	1,01782
6,0	7,014	1,02045	1,01810	1,01782
7,0	8,013	1,02045	1,01810	1,01782
8,0	9,013	1,02045	1,01810	1,01782
9,0	10,012	1,02045	1,01810	1,01782
10,0	11,011	1,02045	1,01810	1,01782

Tabulka 1: Potlačení souhlasného napětí

2.8 DOBA VZORKOVÁNÍ

Jedná se o dobu, za kterou A/D převodník uloží hodnotu signálu z jednoho analogového vstupu (AI0 – AI7). Až po uplynutí této doby může začít vzorkovat signál na následujícím analogovém vstupu v pořadí.

Tuto dobu jsem měřil a počítal následujícím způsobem. Na libovolný počet analogových vstupů A/D převodníku jsem přivedl stejný signál. Pro toto měření je nejvhodnější pilovitý signál – RAMP, protože se u něj dá snadno vypočítat strmost. Je třeba dosáhnout co nejvyšší strmosti, aby byl rozdíl mezi navzorkovanými hodnotami dvou po sobě následujících analogových vstupů co největší. Strmost se zvyšuje se zvyšující se frekvencí pilovitého signálu. Jak jsem již dříve uvedl, modul USB-6008 firmy National Instruments dokáže vzorkovat nejrychleji 10 000 S/s (vzorků za sekundu) pro jeden analogový vstup. Pro více analogových vstupů se rychlost vzorkování rovnoměrně rozděluje mezi použitý počet vstupů. Použil jsem 3 analogové vstupy AI1, AI2, AI3, rychlost vzorkování jsem zvolil 3 kS/s. Pilovitý signál jsem získal z generátoru HP 33120A (Function Generator / Arbitrary Waveform Generator), jeho frekvenci jsem zvolil stejnou jako rychlost vzorkování, tedy $f = 3 \text{ kHz}$, perioda $T = 333 \mu\text{s}$, napětí špička-špička $V_{pp} = 4 \text{ V}$. Všechny vstupy AI1 – AI3 budou tedy vždy vzorkovat rameno pilovitého signálu jednou za jeho periodu. Díky všem těmto skutečnostem budu moci zjistit dobu, mezi vzorkováním jednotlivých analogových vstupů AI1, AI2, AI3. Na obrázku 10 je pro názornost naznačeno všech 8 analogových vstupů, maximální rychlost vzorkování by v tomto případě byla 1250 S/s.



Obrázek 10: Doba vzorkování

2.8.1 Výpočet doby vzorkování

Pilovitý signál: $f = 3 \text{ kHz}$, $T = 333 \text{ } \mu\text{s}$, $V_{pp} = 4 \text{ V}$

Rychlost vzorkování A/D převodníku: 3 kS/s

Nejdřív vypočítám strmost pilovitého signálu:

$$s = \frac{V_{pp}}{T} = \frac{4}{333 \cdot 10^{-6}} = 12012,012 \frac{\text{V}}{\text{s}} \cong 12 \frac{\text{mV}}{\mu\text{s}}$$

Zjistím si 2 po sobě navzorkované hodnoty ze vstupů AI2 a AI3:

Pro vstup AI2 je tato hodnota $U_{AI2} = 1,71953 \text{ V}$

Pro vstup AI3 je tato hodnota $U_{AI3} = 1,97367 \text{ V}$

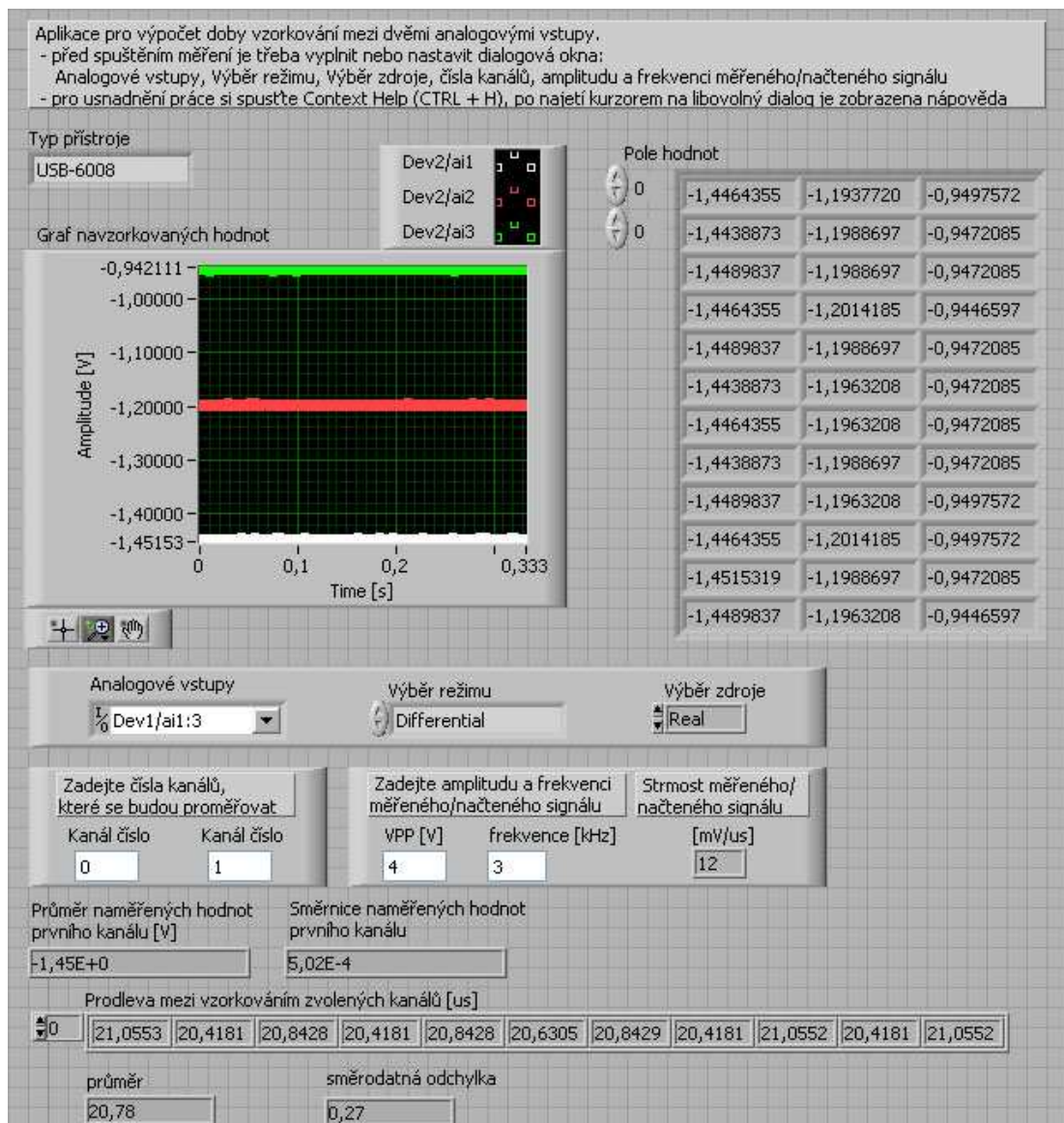
Doba vzorkování t_{vz} se tedy vypočte:

$$t_{vz} = \frac{U_{AI3} - U_{AI2}}{s} = \frac{1,97367 - 1,71953}{12012,012} = 21,16 \mu\text{s}$$

2.8.2 Výpočet doby vzorkování v LabVIEW

Všechny tyto výpočty probíhají automaticky v aplikaci vytvořené v prostředí LabVIEW. Uživatel pouze zvolí v položce *Výběr zdroje*, zda bude výpočet probíhat z aktuálně naměřených hodnot (Real), nebo z hodnot již dříve navzorkovaných a uložených (Disk). Pokud se bude výpočet provádět z aktuálně naměřených hodnot, musí uživatel navíc v položce *Analogové vstupy* zvolit, které analogové vstupy chce k měření použít a v položce *Výběr režimu* musí zvolit, v jakém režimu tyto vstupy budou (Differential/RSE). Na výběr jsou vždy jen vstupy na aktuálně připojených kartách. Poté vybere, mezi kterými analogovými vstupy se bude doba vzorkování počítat a nakonec zadá napětí špička-špička V_{pp} [V] a frekvenci [kHz] měřeného pilovitého signálu. Pro usnadnění při vyplňování potřebných položek doporučuji zobrazit Context Help (CTRL + H), poté stačí najet kurzorem na danou položku a je zobrazena nápověda s popisem této položky.

Program po spuštění ukáže typ připojeného přístroje, vypíše naměřené hodnoty a vykreslí je do grafu, vypočítá strmost pilovitého signálu, vypočítá dobu vzorkování mezi zvolenými analogovými vstupy pro každé rameno pilovitého signálu a zobrazí průměnou dobu vzorkování včetně směrodatné odchylky viz Obrázek 11. Na obrázku 11 je ukázáno stejné měření, ze kterého byl vytvořen ruční výpočet v kapitole 2.8.1.

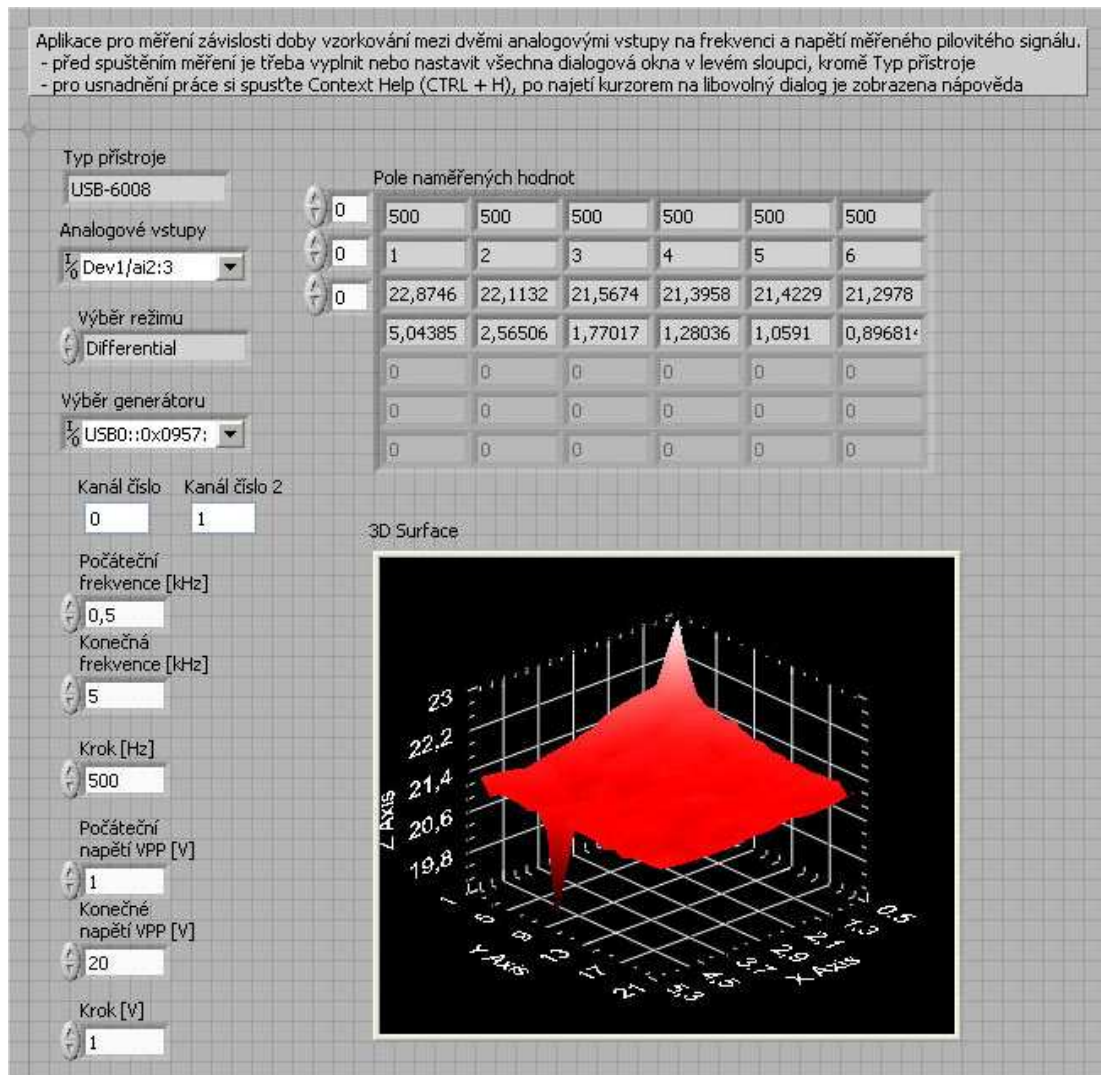


Obrázek 11: Ukázka z prostředí aplikace pro výpočet doby vzorkování

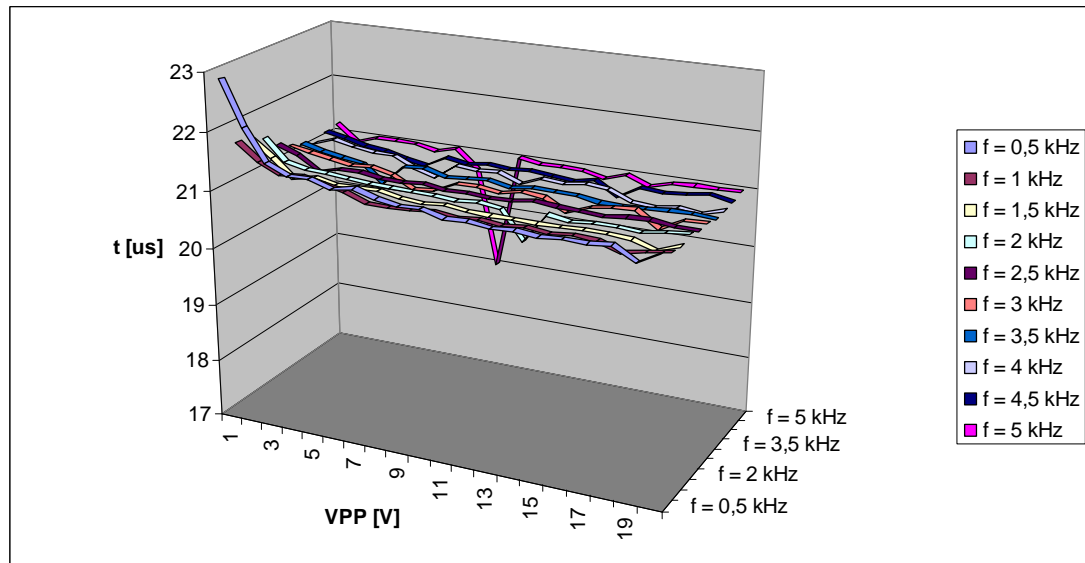
2.8.3 Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí

Pro získání závislosti doby vzorkování mezi dvěma analogovými vstupy na frekvenci a napětí měřeného pilovitého signálu slouží další aplikace vytvořená v prostředí LabVIEW. Uživatel musí v položce *Analogové vstupy* zvolit, které analogové vstupy chce k měření použít a v položce *Výběr režimu* musí zvolit, v jakém režimu tyto vstupy budou (Differential/RSE). Na výběr jsou vždy jen vstupy na aktuálně připojených kartách. V položce *Výběr generátoru* uživatel z nabídky zvolí aktuálně používaný generátor (z řady Agilent 33xxx). Názvy připojených zařízení jsou definovány v softwaru Measurement & Automation Explorer. Poté vybere, mezi kterými analogovými vstupy se bude doba vzorkování počítat a nakonec je třeba zadat, na jakém rozsahu frekvence a napětí pilovitého signálu bude závislost vypočítána. Pro usnadnění budou tyto hodnoty po spuštění programu postupně nastavovány i na připojeném generátoru. Je tedy třeba zadat počáteční a konečnou hodnotu frekvence pilovitého signálu a krok, s jakým se bude frekvence měnit. Stejně je třeba zadat počáteční a konečnou hodnotu napětí pilovitého signálu a krok, s jakým se bude napětí měnit. Pro správnou funkčnost této aplikace je třeba mít připojen k PC generátor z řady Agilent 33xxx. Pro usnadnění při vyplňování potřebných položek doporučuji zobrazit Context Help (CTRL + H), poté stačí najet kurzorem na danou položku a je zobrazena nápověda s popisem této položky.

Program po spuštění ukáže typ připojeného přístroje, vypíše vypočítané hodnoty dob vzorkování mezi zvolenými analogovými vstupy a vykreslí 3D závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí měřeného pilovitého signálu viz Obrázek 12. Vypočítané hodnoty dob vzorkování jsou vidět v okně *Výstup XML*, ze kterého se dají zkopírovat do externího tabulkového editoru (např. MS Excel), kde se dají dále zpracovávat. Příklad takového zpracování je vidět na obrázku 13. Jsou zde použity stejné hodnoty jako ve výpočtu na obrázku 12. Z obrázku 13 vyplývá, že doba vzorkování $t_{vz} \approx 21 \mu s$ pro všechny proměřené hodnoty frekvence a napětí.



Obrázek 12: Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí – LabVIEW



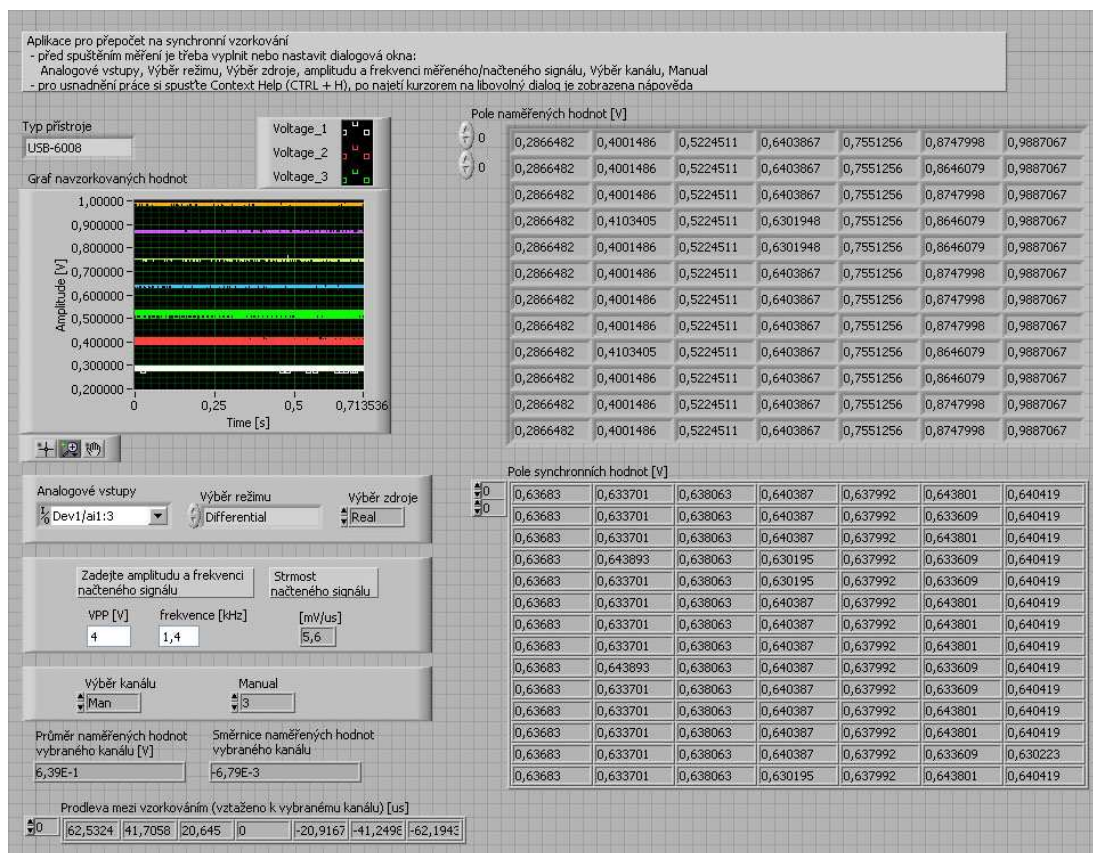
Obrázek 13: Závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí – MS Excel

2.8.4 Přepočítání na synchronní vzorkování

Testovaná karta NI USB-6008 nedokáže vzorkovat synchronně všemi analogovými vstupy. Proto jsem vytvořil další aplikaci v prostředí LabVIEW, která naměřené hodnoty ze všech analogových vstupů přepočítá a díky tomu se tyto navzorkované hodnoty ze všech analogových vstupů dají považovat za synchronně navzorkované (pro pilovitý signál). Uživatel pouze zvolí v položce *Výběr zdroje*, zda bude výpočet probíhat z aktuálně naměřených hodnot (Real), nebo z hodnot již dříve navzorkovaných a uložených (Disk). Pokud se bude výpočet provádět z aktuálně naměřených hodnot, musí uživatel navíc v položce *Analogové vstupy* zvolit, které analogové vstupy chce k měření použít a v položce *Výběr režimu* musí zvolit, v jakém režimu tyto vstupy budou (Differential/RSE). Na výběr jsou vždy jen vstupy na aktuálně připojených kartách. Poté zadá napětí špička-špička V_{pp} [V] a frekvenci [kHz] měřeného pilovitého signálu. Jako poslední musí uživatel v položce *Výběr kanálu* zvolit, ke kterému z analogových vstupů vybraných v položce *Analogové vstupy* bude přepočítání vztaženo. Pokud uživatel zvolí v položce *Výběr kanálu* možnost Auto, bude přepočítání vztaženo k prostřednímu analogovému vstupu v pořadí (v případě sudého počtu použitých analogových vstupů bude přepočítání vztaženo k vyššímu

z prostřední dvojice). Pokud uživatel zvolí v položce *Výběr kanálu* možnost *Man*, musí v položce *Manual* určit, ke kterému analogovému vstupu bude přepočten vztažen. Pro usnadnění při vyplňování potřebných položek doporučuji zobrazit Context Help (CTRL + H), poté stačí najet kurzorem na danou položku a je zobrazena nápověda s popisem této položky.

Program po spuštění ukáže typ připojeného přístroje, vypíše naměřené hodnoty a vykreslí je do grafu, vypočítá strmost pilovitého signálu, zobrazí průměr naměřených hodnot prostředního/vybraného analogového vstupu, vypíše průměrné hodnoty dob vzorkování vztažené k prostřednímu/vybranému analogovému vstupu a v okně *Pole synchronních hodnot* vypíše přepočítané hodnoty všech analogových vstupů, které byly k měření zvoleny. Příklad přepočtu na synchronní vzorkování při použití sedmi analogových vstupů je vidět na obrázku 14.



Obrázek 14: Přepočtení na synchronní vzorkování

3. ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou HW určeného pro sběr dat v laboratorních podmínkách, seznámit se s prostředím LabVIEW a ověřit parametry modulu USB-6008 firmy National Instruments.

Prvním parametrem modulu USB-6008, který jsem ověřoval, byla rychlost vzorkování a převodu. V dokumentaci karty je uváděna rychlost 10 kS/s. Této rychlosti lze ve skutečnosti dosáhnout, ovšem pouze při použití jednoho analogového vstupu v libovolném režimu (Diferenciální / RSE). Při použití více analogových vstupů se tato rychlost rovnoměrně rozděluje (snižuje) mezi použité vstupy.

Při ověřování rozlišovací schopnosti u analogových vstupů v diferenciálním režimu byla teoreticky vypočtená velikost nejmenšího kvantizačního kroku (LSB) 4,884 mV pro rozsah ± 10 V. Hodnota pro rozsah ± 10 V zjištěná v reálu však byla vyšší – 5,095 mV. Velikost nejmenšího kvantizačního kroku u analogových vstupů v režimu RSE (referenced single-ended) pro rozsah ± 10 V zjištěná reálně byla 10,194 mV, což je opět vyšší hodnota než teoreticky vypočítaná – 9,770 mV. Tuto chybu zřejmě způsobuje software (ovladač), žádnou jinou příčinu jsem nezjistil.

Při měření statických a dynamických přeslechů mezi analogovými vstupy v diferenciálním režimu se mezi těmito vstupy žádné přeslechy nevyskytují ani v případě, když vstupy, na kterých jsem měřil přeslechy, byly neuzemněny. Při měření statických a dynamických přeslechů mezi analogovými kanály v režimu RSE se po uzmenění vstupů, na kterých jsem přeslechy měřil, opět žádné přeslechy nevyskytovaly.

Při ověřování schopnosti analogových vstupů A/D převodníku v diferenciálním režimu potlačit souhlasné napětí připojené na svorky daného analogového vstupu se karta chovala bezchybně. Měření jsem prováděl na třech analogových vstupech AI1, AI2, AI3 v diferenciálním režimu a naměřené hodnoty vždy odpovídaly jen rozdílu napětí mezi svorkami (1,02 V) a velikost souhlasného napětí v rozsahu $- 10$ V až $+ 10$ V na ně neměla žádný vliv.

Měřením doby vzorkování jsem se zabýval nejdéle. Při vytváření aplikace v prostředí LabVIEW jsem poměrně pomalu nabýval znalostí a zkušeností

s ovládáním, nastavováním a volbami tohoto softwaru. Výpočet doby vzorkování probíhá automaticky v aplikaci popsané v kapitole 2.8.2.

Tato aplikace posloužila jako základ pro další aplikaci, díky které získáme závislost doby vzorkování na frekvenci a napětí měřeného pilovitého signálu popsané v kapitole 2.8.3. Z grafu na obrázku 13 je vidět, že doba vzorkování se pohybovala kolem 21 μ s na proměřeném rozsahu pilovitého signálu. Vypočítané hodnoty dob vzorkování v této aplikaci lze zkopírovat do externího tabulkového editoru (např. MS Excel), kde se dají dále zpracovávat.

Poslední aplikace pro přepočítání na synchronní vzorkování je popsána v kapitole 2.8.4. Testovaná karta NI USB-6008 totiž nedokáže vzorkovat synchronně všemi analogovými vstupy. Tato aplikace naměřené hodnoty ze všech zvolených analogových vstupů přepočítá na základě průměrné doby vzorkování vypočítané stejným způsobem jako v aplikaci pro výpočet doby vzorkování. Díky tomuto přepočtu se navzorkované hodnoty ze všech analogových vstupů dají považovat za synchronně navzorkované (pro pilovitý signál).

4. LITERATURA

- [1] RAUTH, A.,D., RANDAL, T., V. Analog-to-Digital Conversion. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, October 2005, 1094-6969.
- [2] LINNENBRINK, E., T., BLAIR, J., RAPUANO, S., DAPONTE, P., BALESTRIERI, E., VITO, L., MAX, S., TILDEN, J., S. ADC Testing. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, April 2006, 1094-6969.
- [3] WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. A/D převodník [online]. 2006, poslední revize 6.11.2007 [cit. 2007-12-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_převodník>.
- [4] LAVICKÝ, M. Analogově číslicové převodníky [online]. 2005 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z: <<http://lavicky.webpark.cz/projekt/index.html>>.
- [5] HÁZE, J., VRBA, R., FUJCIK, L., SAJDL, O. Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu. Učební text – elektronická skripta, [online], Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006. Dostupné z: <<http://www.feec.vutbr.cz/et/>>
- [6] Texas Instruments, Incorporated [SBAS124,C][M], 12-Bit ADC, MUX, PGA and Internal Reference Data Acquisition System (Rev. C), [online]. 28.3.2008 [cit. 2008-04-19]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/gpn/ads7870>>.

