

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Modul pro úpravu signálu při Hil testování

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh schéma zapojení a desky plošných spojů přizpůsobovacích obvodů pro multifunkční měřicí kartu PCI-6221 firmy National Instruments. Práce zahrnuje jednak popis zapojení vstupů a výstupů karet řady PCI-622x, tak popis jednotlivých obvodů pro úpravu analogových i digitálních signálů z úrovně běžných v automobilech na úroveň kompatibilní s měřicí kartou. Výsledné schéma zapojení a výkresy desky jsou součástí přílohy práce.

Klíčová slova

DAQ, galvanické oddělení signálu, přizpůsobení napěťových úrovní, PCI-6221, modul, měření v automobilu

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of the adaptation module for the multifunction acquisition card PCI-6221 by National Instruments. The thesis includes the description of input and outputs portfolio of the PCI-622x cards series. This is followed by the description of designed circuits for analogue and digital signals level adaptation from automotive levels to levels compatible with the acquisition card. The schematics diagram and printed circuit board drawings are included in thesis as attachments.

Key words

DAQ, Galvanic isolation, Voltage levels adaptation, PCI-6221, Module, Measurement in automotive

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 6.6.14

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Kubíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych chtěl poděkoval společnosti MBtech Bohemia, s.r.o. za finanční příspěvní na výrobu desky plošných spojů modulu pro úpravu signálu.

Obsah

1. ÚVOD.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
2. MĚŘÍCÍ KARTY OD FIRMY NATIONAL INSTRUMENTS.....	10
2.1 TYPY A POŽADAVKY NA VSTUPY A VÝSTUPY MĚŘÍCÍCH KARET.....	11
Digitální linky.....	11
Analogové vstupy.....	11
Analogové výstupy.....	12
Čítače a časovače.....	12
2.2 OVLADAČ A SOFTWARE.....	12
2.3 VSTUPY, VÝSTUPY A VLASTNOSTI MĚŘÍCÍCH KARET ŘADY 622X.....	13
2.4 PARAMETRY MĚŘÍCÍ KARTY PCI-6221.....	14
3. NÁVRH MODULU PRO ÚPRAVU SIGNÁLU K MĚŘÍCÍ KARTĚ PCI-6221.....	15
3.1 BLOKOVÉ SCHÉMA.....	16
3.2 NAPÁJENÍ HLAVNÍ DESKY A ROZŠIŘUJÍCÍCH MODULŮ.....	17
3.3 ČÍSLICOVÉ PORTY.....	18
Vstupní porty.....	18
Výstupní porty.....	21
3.4 ANALOGOVÉ VSTUPY A VÝSTUPY.....	24
Schéma zapojení.....	25
4. MĚŘENÍ ANALOGOVÝCH VSTUPŮ A VÝSTUPŮ.....	27
5. ZÁVĚR.....	31
POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	32
PŘÍLOHY.....	33

1. Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na realizaci modulu pro úpravu signálu při HiL testování v automobilovém průmyslu. Zabývá se realizací obvodů, díky kterým by se daly měřicí karty od společností National Instruments využít k měření signálů v napěťových hladinách používaných v automobilovém průmyslu. Hlavní důraz je kladen na řadu PCI-622x patřící do skupiny Low-Cost měřících karet. Primárně je tato práce zaměřena na přizpůsobení napěťových hladin pro měřicí kartu PCI-6221. Výsledný modul by měl být realizován na jediné desce plošných spojů s možností připojení rozšiřujících karet na tuto desku v případě jejich potřeby. Tímto by se mělo dosáhnout jeho velké modularity v širokém spektru využití. Po realizaci výsledného modulu, by se mělo přejít k ověření jeho funkčnosti a zhodnocení dosažených výsledků.

Druhá kapitola této práce se zabývá seznámením se s měřicími kartami, typy vstupních a výstupních druhů signálů, rešerší měřících karet řady PCI-622x a vzájemnou kompatibilitou mezi sebou.

Ve třetí kapitole je popsán vlastní návrh modulu. Realizace jednotlivých digitálních a analogových vstupů či výstupů. Je zde uvedeno blokové schéma, ze kterého se vychází při realizaci úpravy signálu pro jednotlivé vstupy nebo výstupy. Funkčnost jednotlivých obvodů je ověřena simulací nebo vlastním měřením na funkčním vzorku, které je v kapitole 4.

Seznam symbolů a zkratk

	Pin	Vývod z pouzdra součástky či přístroje
DAQ	Data acquisition	Sběr dat
I/O	Input/Output	Vstupy/výstupy
I	Input	Vstup
O	Output	Výstup
FPGA	Field Programmable Gate Array	Programovatelné hradlové pole
A/D	Analog/Digital	Analogově/Číslicový
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
OEM	Original Equipment Manufacturer	Výrobek jiného výrobce, prodáváný pod. vlastní zn.
PC	Personal Computer	Osobní počítač
PCI	Peripheral Component Interconnect	Sběrnice pro připojení periférií
	Rack	Police, přihrádka pro zabudování elektronických zař.
	Euroboard	Karta pro použití do racku
	Pinout	Rozmístění signálů na konektoru
	Jumper, Switch	Přepínač umístěný na desce plošných spojů
DPS		Deska plošných spojů
LED	Light Emitting Diode	Dioda vyzařující optické záření
	Napěťový Offset	Podíl stejnosměrné složky ve střídavém signálu
	Anti-aliasing	Zkreslení frekvenčního spektra signálu
FIFO	First in – First out	Vyrovňovací paměť typu „první dovnitř, první ven“
SR	Slew Rate	Rychlost přeběhu
OC	Open Collector	Otevřený kolektor
	Optocoupler	Optočlen, optron
	Bus Driver	Budič sběrnice
CTR	Current Transfer Ratio	Proudový přenosový činitel
DIR	Direct	Řízení směru
OE	Output Enable	Povolení výstupu u integrovaných obvodů
	Low Cost	Nízko nákladové
HiL	Hardware in the Loop	Testování ve smyčce

2. Měřicí karty od firmy National Instruments¹

Měřicí karty slouží pro sběr či odesílání dat k připojenému zařízení. Sběr dat (DAQ) je proces měření elektrické či fyzikální veličiny, jako je napětí, proud, teplota, tlak či zvuk. Sběr dat na bázi PC používá kombinaci modulárního hardwaru a flexibilního softwaru pro transformaci vašeho standardního přenosného či stolního počítače na uživatelsky definovaný měřicí či řídicí systém. Firma National Instruments má velmi širokou nabídku měřicí techniky, zde se zaměříme na typy karet připojitelných k PC. Měřicí karty od společnosti National Instruments můžeme rozdělit podle typu rozhraní pro připojení k PC na následující:

- USB
- PCI
- PCI Express
- Ethernet
- Bezdrátové (802.11)

Zařízení pracující na rozhraní USB jsou velmi výkonná, pokud využijeme jednoduchost a přenosnost USB rozhraní. Nabídka v této oblasti se pohybuje od levných a jednoduchých zařízení až po vysoce výkonné modulární systémy, které jsou vhodné pro různorodé aplikace, od jednoduchého ukládání dat, po vestavěné OEM systémy.

PCI je jedna z nejrozšířenějších vnitřních sběrnic v PC. Nabídka je podobná jako u USB karet, od levných multiplexovaných až po vysoce výkonné simultánní vzorkovací desky.

PCI Express jako nástupce sběrnice PCI zachovává softwarovou kompatibilitu, ale na místo paralelní je zde vysokorychlostní (2,5 Gb/s) sériová sběrnice. Na rozdíl od PCI, která sdílí stejnou šířku pásma se všemi zařízeními na sběrnici, každé zařízení na PCI Express komunikuje po vyhrazené šíři pásma. Se svou propustností a malým zpožděním se hodí na vysoce výkonné sběry dat.

Komunikace po Ethernetu dovoluje rozšířit sběr dat, ovládání na dálku a elektrická měření v kterékoliv laboratoři po celém světě. Umožňuje nám vysokorychlostní přenos dat a snadnost použití, prakticky kdekoliv v jednom.

Bezdrátové DAQ karty většinou dovolují kromě bezdrátového spojení pomocí protokolu 802.11 i komunikaci po Ethernetu. Oproti Ethernetu mohou pracovat, při přímém připojení

¹ ING. ŠTEFAN, Radim. Měřicí karty - jak správně vybrat. NATIONAL INSTRUMENTS CZECH REPUBLIC SPOL. S.R.O. *Odbornecasopisy.cz* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32427

senzoru i tam, kde nejsou síťové rozvody. Karty od National Instruments mají vestavěny obvody pro přizpůsobení signálu, samozřejmostí je zabezpečení přenosu nejnovějšími šifrovacími protokoly a přenos dat v reálném čase pro další zpracování.²

V této práci se budeme zabývat pouze kartami, které spolupracují na rozhraní PCI, především pak PCI kartami řady 622x ze série Low-Cost M Series Multifunction Data Acquisition .

2.1 Typy a požadavky na vstupy a výstupy měřících karet

Základní rozdělení vstupů/výstupů jednotlivých karet je na analogové a číslicové. Analogové dále dělíme na vstupní či výstupní, zatímco digitální linky jsou univerzální. Karta může také obsahovat čítače a časovače.

Digitální linky

Digitální linky má dnes většina měřících karet. Někdy jsou linky obousměrné, ovšem u galvanicky oddělených linek je směr signálu dán pevně. Karty nižší výkonnostní kategorie mají vstupy většinou statické, tzn. dovolují přechíst nebo vyslat pouze jeden jediný stav. Nové řady měřících karet od National Instruments dokáží vykonávat i pokročilé funkce díky architektuře FPGA. Pro rychlé delší záznamy nebo generování digitálních posloupností jsou určeny speciální karty (tzv. digital waveform generator) s hardwarově časovanými digitálními linkami a vyrovnávací pamětí o velikosti až několik megabajtů. Takové karty lze použít jako analyzátor logických stavů, rychlý binární generátor nebo univerzální rozhraní pro digitální komunikaci.

Analogové vstupy

U analogových vstupů je nejdůležitějším kritériem počet vstupů, rozlišení, napěťový rozsah a maximální vzorkovací frekvence. U maximální vzorkovací frekvence je dobré zaměřit se i na jiné parametry než na pouhé rozlišení A/D převodníku. Dokumentace ke kvalitním kartám obsahují také složky chyb (offset, chyba z údaje, šum jednotlivých rozsahů) a jejich závislosti na teplotě. Často je uvedena maximální rychlost A/D převodníku. Musíme si dát pozor na to, zda se rychlost vztahuje k jednomu vstupu do měřící karty nebo se vstupy přepínají pouze do jednoho převodníku. Pokud budeme mít převodník s vzorkovací frekvencí 100 kHz a budeme na něj přepínat 10 vstupů, získáme pouze 10 tisíc vzorků za sekundu na každém z nich. Navíc zde bude citelné zpoždění mezi jednotlivými vzorky, jak bude převodník přepínat mezi jednotlivými vstupy.

2 Měřící karty k PC. NI. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/merici-karty>

Některé karty mají na vstupu filtr typu dolní propust, aby nedošlo ke zkreslení frekvenčního spektra signálu (anti-aliasing) z důvodu nízké vzorkovací frekvence. U napěťových rozsahů je třeba dávat pozor na maximální povolené vstupní napětí, kvalitní karty bývají navíc osazeny ochranou proti přepětí.

Analogové výstupy

U analogových výstupů hodnotíme podobné parametry jako u vstupů. Důležitou vlastností je, zda jsou výstupy statické, to znamená, že rychlost změny na výstupu je dána pouze chováním softwaru a velmi záleží na rychlosti operačního systému. Naopak karty s hardwarově časovanými výstupy a vyrovnávací pamětí dokáží generovat velmi rychlé průběhy, nezávisle na rychlosti operačního systému. U napěťových rozsahů se nejčastěji setkáme s rozsahem ± 10 V. Rozlišení se pohybuje mezi 12 a 16 bity, u speciálních aplikací až 24 bitů.

Čítače a časovače³

Mezi nejčastější využití čítačů a časovačů u měřících karet patří počítání impulsů, dělení frekvence, vytváření signálů s požadovanou frekvencí a podobně. Také je můžeme použít pro připojení inkrementálních čidel. Důležitým parametrem čítače je jeho velikost, pokud ji překročíme, čítač takzvaně „přeteče“ a začne čítat znovu od nuly. Pokud by se tak stalo, může mít čítač vyveden patřičné výstupy, které informují o jeho „přetečení“. Velikost čítače je u dnešních karet v rozmezí mezi 24 a 32 bity. Také nás může zajímat směr čítání, buď čítá od nuly po nejvyšší hodnotu nebo obráceně. Potom můžeme mít čítače, které se po dosažení maxima (nebo minima) zastaví. Dále se uvádí maximální frekvence, kterou dokáže čítač zpracovat, popřípadě stabilita časové základny.

2.2 Ovladač a software

Dnešní moderní ovladače obsahují kromě programovacího rozhraní pro ovládání karty (LabVIEW, C, C++, C#, Visual Basic, atd.) i programové nástroje pro nastavení, testování a kalibraci měřící karty. U cenově dražších karet výrobce přikládá vedle ovladače i jednoduchý aplikační software.

Ovladač karty nejen ovlivňuje vývoj aplikačního softwaru, kdy s kvalitním rozhraním a funkcemi na vyšší úrovni je práce snazší, než při komunikaci s kartou na úrovni registrů, ale i rychlost běhu samotného programu. Zejména rychlost převodu A/D převodníku závisí na optimalizaci ovladače.

3 *Číslicové systémy a jazyk VHDL*. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-198-5.

Dalším problémem může být měření delšího časového úseku, kdy ovladač čeká na dokončení měření a až poté se může věnovat jiné činnosti. U většiny ovladačů je kvůli tomu potřeba použít pokročilejší programování (např. využití přerušení) nebo použít ovladače s jádrem s několika vlákny pro provedení programu. Úlohy se automaticky rozdělí na různá vlákna a jsou vykonány současně.

Pro rychlejší naprogramování aplikační úlohy výrobci karet často uvádějí na svých internetových stránkách ukázkové programy, které řeší podobné úlohy v používaném programovacím jazyce.

2.3 Vstupy, výstupy a vlastnosti měřících karet řady 622x

Měřicí karty řady 622x mají počet výstupních pinů 68 nebo 136, výjimkou je 37 pin u typu 6221. Všechny karty (kromě typu 6221 37 pin) mají shodné výstupní porty u prvního konektoru (1 až 68), druhý konektor (69 až 136) mají pouze typy 6224, 6225 a 6229. U druhého konektoru jsou spolu kompatibilní pouze karty 6224 a 6229. Počet vstupů/výstupů jednotlivých portů je uveden v Tabulce 1. Podrobnější informace viz Příloha 1 rešerše měřících karet.

Tabulka 1: Přehled měřících karet řady 622x

	PCI 6220	PCI 6221	PCI 6221 (37 pin)	PCI 6224	PCI 6225	PCI 6229
Počet pinů	68	68	37	136	136	136
Číslicové I/O porty	24	24	10	48	24	48
Analogové IN porty	16	16	16	32	8	32
Analogové OUT porty	0	2	2	0	2	4

Zdroj: National Instruments. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z:

<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-15/lang/cs>

2.4 Parametry měřicí karty PCI-6221⁴

Modul pro úpravu signálu je určen především pro tuto kartu. Je ale možné použít i jiný typ karty, který je kompatibilní. Více informací je uvedeno v Příloze 1. Zde jsou vypsány některé z parametrů měřicí karty, které nejsou uvedeny v předchozí tabulce 1:

- Vstupní rozsahy napětí analogových vstupů: $\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$, $\pm 0,2\text{ V}$
- Výstupní rozsahy napětí analogových výstupů: $\pm 10\text{ V}$
- Napěťová vazba analogových vstupů/výstupů: DC
- Vzorkovací frekvence analogových vstupů: 250 kS/s jeden kanál
250 kS/s vícekanálové vzorkování
- Rychlost aktualizace u analogových výstupů: 1 kanál 833 kS/s
2 kanály 740 kS/s
- Rozlišení A/D převodníku u analogového výstupu: 16 bitů
- Vstupní impedance analogových vstupů:
Karta zapnuta:
>10 G Ω , paralévní kapacita 100 pF
Karta vypnuta:
820 Ω
- Výstupní impedance analogových výstupů: 0,2 Ω
- Šířka pásma analogových vstupů: 700 kHz
- Vstupní klidový proud: $\pm 100\text{ pA}$
- Výstupní proud: $\pm 5\text{ mA}$
- Velikost vstupní FIFO: 4, 095 vzorků
- Ovládání směru digitálních portů: Každý programovatelný zvlášť

⁴ Low-Cost M Series Multifunction Data Acquisition - 16-Bit, 250 kS/s, up to 80 Analog Inputs. [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-15/lang/cs>

3. Návrh modulu pro úpravu signálu k měřicí kartě PCI-6221

Potřeba elektrického oddělení při přenosu signálu má mnoho důvodů. Mezi hlavní důvody asi patří bezpečné oddělení od vysokých napětí, které by mohlo způsobit škody na zdraví a majetku, dále také odstranění zemních smyček, způsobující rušení užitečného signálu a mnoho dalších aspektů. Nejvíce používané je oddělení pomocí optronu, kde se elektrický signál na vysílači převede na optický, přenesení se skrze dielektrikum a v přijímači se převede zpět na elektrický. Oddělení pomocí transformátoru je výhodné při přenášení větších výkonů v silnoproudých aplikacích, pro měřicí účely se moc nepoužívá, navíc je použitelný jen u střídavých obvodů.

Návrh vlastního modulu pro úpravu signálu vychází z potřeb pro měření v automobilovém průmyslu. Zde se nedají použít měřicí karty samostatně z důvodu vyšších úrovní napětí (viz předchozí kapitola o vstupních rozsazích napětí), než jaká je maximální dovolená hodnota na vstupu. Napětí v palubní síti automobilu se pohybuje v rozmezí 12 V až 14,4 V nebo i více, záleží na typu automobilu. Tento modul pracuje až do napětí 24 V u digitálních portů, u analogových do ± 15 V. Při návrhu vlastního modulu pro úpravu signálu byl kladen velký důraz na jeho modularitu a použití do racku spolu s napájecími obvody a měřicí kartou. Zde je připojen pomocí konektoru DIN 41612 typ C, který obsahuje všechny vstupy a výstupy měřicí karty společně s napájením modulu. Pinout DIN 41612 typ C k měřicí kartě PCI-6221 je Příloze 4. Rozměry modulu jsou standardizovány pro použití v racku dle normy IEC 60297-3 (1984-01), viz Tabulka 2. Velikost desky plošných spojů je 100x220 mm, vzhledem k počtu součástek na desce nelze použít menší rozměr hloubky.

Tabulka 2: Normalizované rozměry Eurokarty

Výška Eurokarty (tolerance +0/±0.3)					
100,00 mm	233,35 mm		366,70 mm		
Hloubka Eurokarty (tolerance +0/±0.3)					
100 mm	160 mm	220 mm	280 mm	340 mm	400 mm

Zdroj: IEEE Std 1101.1-1998. IEEE Standard for Mechanical Core Specifications for Microcomputers Using IEC 60603-2 Connectors. 2002. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=26489&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A988%29

Na čelním panelu jsou dva konektory D-SUB o velikosti 2x25 pin, 2x15 pin, rozdělení vstupů a výstupů je uvedeno v Tabulce 3. Existuje možnost rozšířit digitální I/O porty o dalších osm celkem, tzn. pokud využijí 8 portů na vstupy, nemohu již rozšířit výstupní porty. Podrobněji je tato problematika rozebrána v Příloze 2.

Tabulka 3: Rozdělení vstupů/výstupů na čelním panelu

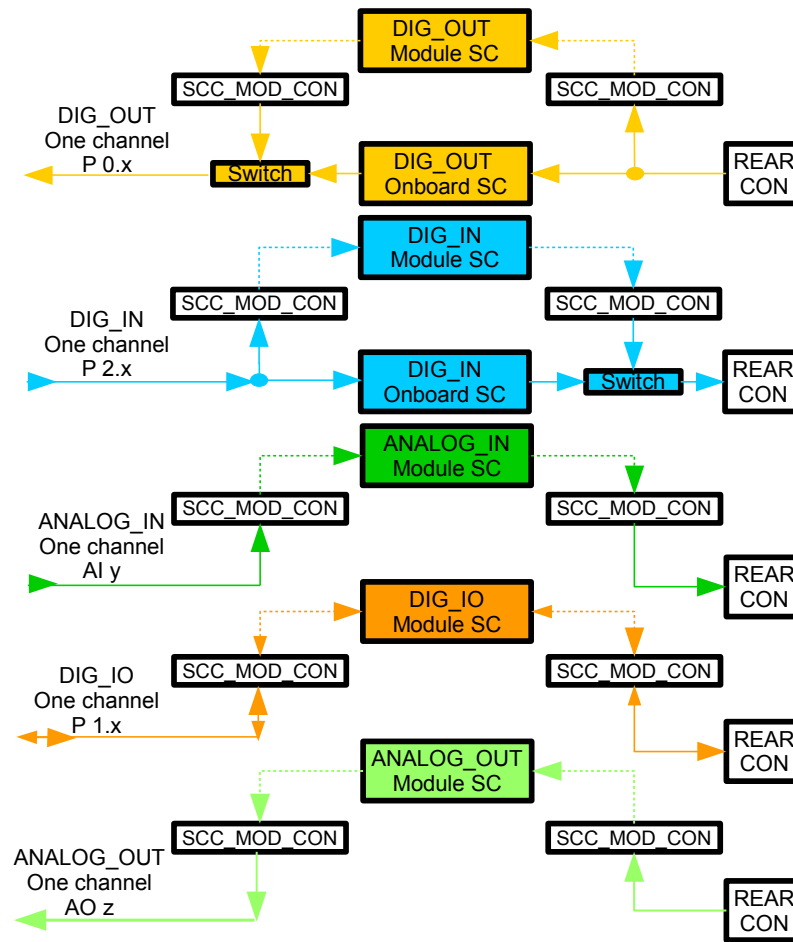
Konektor	Dig. in	Dig. out	Analog in	Analog out	Napájení
2x25 pin	8 (+8)	8 (+8)	-	-	+24V
2x15 pin	-	-	16	2	-

Modul obsahuje, kromě zadního a předních konektorů, také konektory se zámkem o velikosti 20 pinů. Ty jsou určeny pro rozšiřující moduly, které se mohou do hlavní desky přidávat dle potřeb měření. Pinout konektorů se zámkem je uveden v Příloze 3. Výkres hlavní desky je v Příloze 5.

3.1 Blokové schéma

Blokové schéma hlavní desky je uvedeno na Obrázku 1. Je na něm zobrazeno zpracování jednotlivých druhů příchozího signálu. Jsou zde nakresleny jednotlivé vstupy či výstupy měřící karty. Napájecí obvody nejsou umístěny na hlavní desce, ale napájení je sem přivedeno pomocí zadního konektoru.

Na hlavní desce jsou pouze digitální porty P0.0 až P0.7 a P2.0 až P2.7, brána P0 je určena pro vstupy a brána P2 pro výstupy. Pro analogové vstupy a výstupy jsou určeny pouze rozšiřující moduly, stejně tak pro port P1.0 až P1.7, které jsou univerzální. Digitální porty, které obsahuje hlavní deska se dají přepnout pomocí jumperů (na Obrázku 1 označeno jako switch) tak, aby je bylo možné také provozovat v případě potřeby na rozšiřujících modulech. Dále se dají pomocí dvojice jumperů přepínat referenční úrovně komparátoru pro digitální linky umístěné jak na desce, tak v rozšiřujících modulech. Konektory se zámkem jsou na Obrázku 1 označeny jako SCC_MOD_CON.

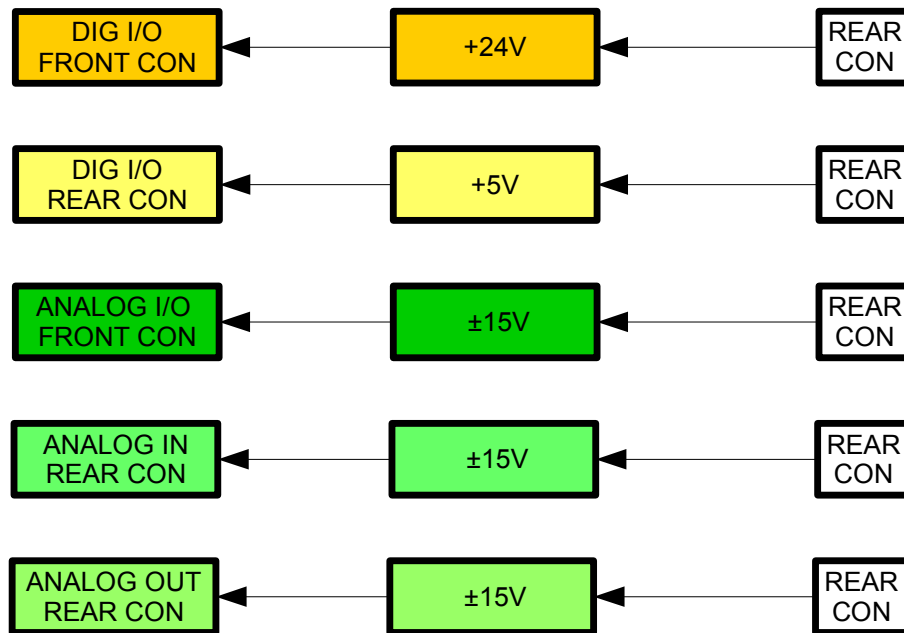


Obrázek 1: Blokové schéma hlavní desky, kde x je 0 až 7, y je 0 až 15 a z 0 až 2

3.2 Napájení hlavní desky a rozšiřujících modulů

Na hlavní desce je rozvedeno celkem pět navzájem oddělených napájení, jak symetrických pro analogové moduly, tak nesymetrické pro digitální linky. Číslicové linky na vstupu (čelní panel) jsou napájeny napětím 24 V, na straně měřicí karty napětím 5 V. Symetrické napájení analogových obvodů je na obou stranách ± 15 V, navíc je na straně měřicí karty oddělené mezi vstup a výstup. Rozvod napájení ilustruje Obrázek 2. Všechny napájecí větve mají ochranu proti přepětí pomocí jednosměrných transilů.

Napájecí obvody nejsou umístěny na hlavní desce z prostorových důvodů, pokud bychom chtěli umístit i tyto obvody na hlavní desku, museli bychom použít větší rozměry, které jsou uvedeny v Tabulce 2.



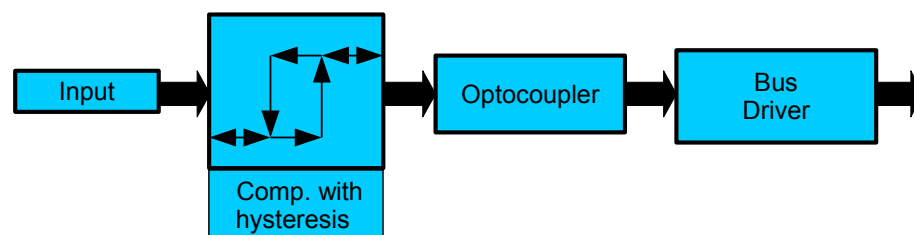
Obrázek 2: Blokové schéma napájení

3.3 Číslicové porty

Moduly pro číslicové porty slouží k úpravě a galvanickému oddělení pravoúhlého signálu. Jelikož je to signál diskretní, to znamená, že rozlišujeme pouze dva stavy, můžeme ho zpracovávat jednodušeji než spojitý signál. Zjednodušení je také v použitém optronu, který nepotřebuje mít vyvedenu zpětnou vazbu na zesilovač vstupního signálu pro kompenzaci nelinearity LED diody v optronu. Další výhodou diskretního signálu je možnost jeho rekonstrukce před samotným zpracováním. V následujících podkapitolách jsou uvedena možná řešení k úpravě a galvanickému oddělení signálu.

Vstupní porty

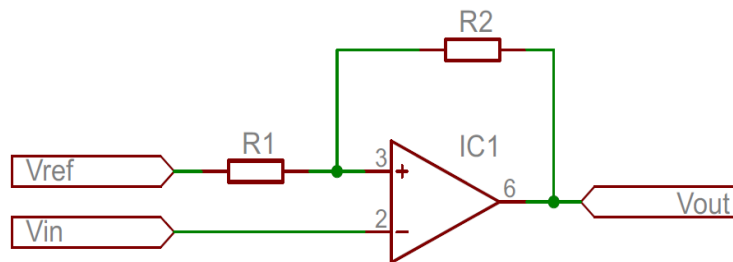
Principiální schéma úpravy a galvanického oddělení vstupního signálu na hlavní desce je na Obrázku 3.



Obrázek 3: Blokové schéma úpravy vstupního digitálního signálu

Vstupní signál je přiveden na invertující komparátor, kde se signál upraví na velikost 0 V až U_{sat} . komparátoru. Poté následuje optočlen, jehož výstupy jsou zapojeny jako open collector, který invertovaný signál převede zpět na neinvertovaný. Aby se mohl výstup proudově zatížit, je na konci celého bloku budič sběrnice, který zesiluje proud na výstupu.

Pro realizaci komparátoru je použit operační zesilovač LM358, jeho použití jako komparátoru je uvedeno na Obrázku 4.



Obrázek 4: Principiální schéma zapojení komparátoru s hystezí

Meze invertujícího komparátoru a překlápěcí úrovně vypočítáme pomocí následujících vztahů:⁵

$$U_{Horní} = U_H \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + U_{REF} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (1)$$

$$U_{Dolní} = U_L \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + U_{REF} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2)$$

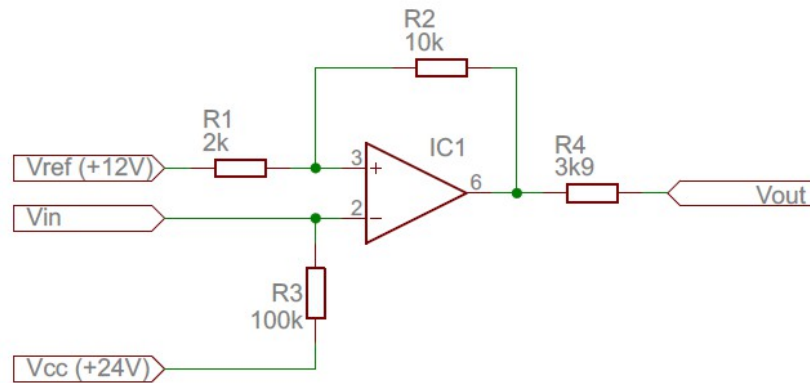
$$U_{Hysterezní} = (U_H - U_L) \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (3)$$

U_H a U_L označují vysokou a nízkou úroveň signálu na výstupu. Velikost hystereze závisí na velikostech odporů R_1 a R_2 , není závislá na velikosti referenčního napětí U_{ref} . Schéma zapojení komparátoru s hystezí je na Obrázku 5. Napájecí napětí je 24 V, referenční napětí může být polovina napájecího napětí nebo možné přepnout pomocí jumperu na externí zdroj reference, vyvedený na konektoru v čelním panelu hlavní desky. Pokud není na vstup přiveden signál, je na invertujícím vstupu komparátoru udržováno napájecí napětí 24 V pomocí rezistoru R_1 . Je to z důvodu možného rušení k udržení definované hladiny napětí. Rezistor R_4 slouží jako předřadný odpor pro LED diodu v optočlenu. Proud diodou je dán následujícím vztahem:

$$I_D = \frac{U_H}{R_4} \quad (4)$$

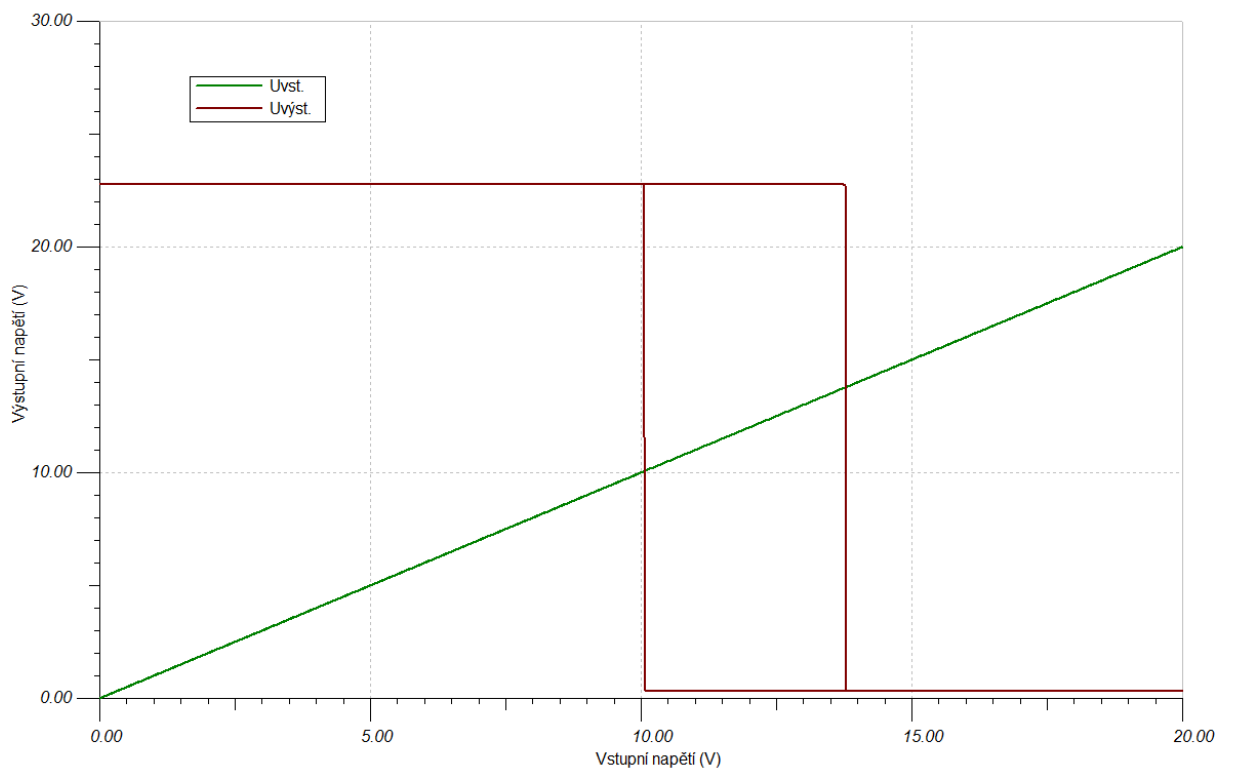
⁵ Moderní učebnice elektroniky 5: Operační zesilovače a komparátory. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-187-2.

Když za U_H dosadíme 24 V a za R_4 3,9 k Ω , je proud procházející LED diodou 6,2mA.



Obrázek 5: Schéma komparátoru s hysterezí použitého na hlavní desce

Převodní charakteristika komparátoru byla nasimulována pomocí programu TINA a je uvedena na Obrázku 6.



Obrázek 6: Nasimulovaná hysterezní smyčka komparátoru

Horní překlápěcí napětí ($U_{\text{Horní}}$) je 13,74 V, dolní překlápěcí napětí ($U_{\text{Dolní}}$) je 10 V a velikost hystereze ($U_{\text{hysterezní}}$) je 3,74 V. Všechny tyto hodnoty byly odečteny z Obrázku 6.

Galvanické oddělení zajišťuje optočlen ACPL-827, který v jednom pouzdře obsahuje dva optočleny. Zde je výčet jeho vybraných parametrů⁶:

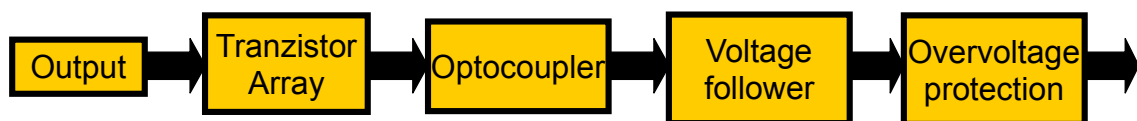
- Izolační napětí: 5 000 V
- CTR: min. 50%
- Doba odezvy: typ. 4 μs

Posledním obvodem na vstupních portech je budič sběrnice SN74HC245DB. Obsahuje osm vstupně výstupních pinů. Jeho výstupy jsou třístavové a typické zpoždění vstup-výstup je 12 ns, výstupní proud je až ± 6 mA při 5 V. Tento budič umožňuje také řízení směru procházejícího signálu pomocí pinu DIR, ale v této aplikaci je samozřejmě pouze jednosměrný. Dále je zde pin OE, který uvádí obvod do stavu vysoké impedance při stavu logická 1 a naopak⁷.

Schéma zapojení vstupních portů umístěných na hlavní desce je na listu číslo 1 v Příloze 5.

Výstupní porty

Výstupní digitální signál z měřicí karty je přiveden na tranzistorové pole, které spíná LED diody umístěné v optočlenech. Na kolektorovém výstupu optočlenů je připojen operační zesilovač, který je zapojen jako sledovač napětí. Velikost výstupního napětí je 12 V (polovina napájecího napětí 24 V) nebo se může referenční napětí přivést z externího zdroje přes D-SUB konektor. Blokové schéma je na Obrázku 7.



Obrázek 7: Blokové schéma úpravy výstupního digitálního signálu

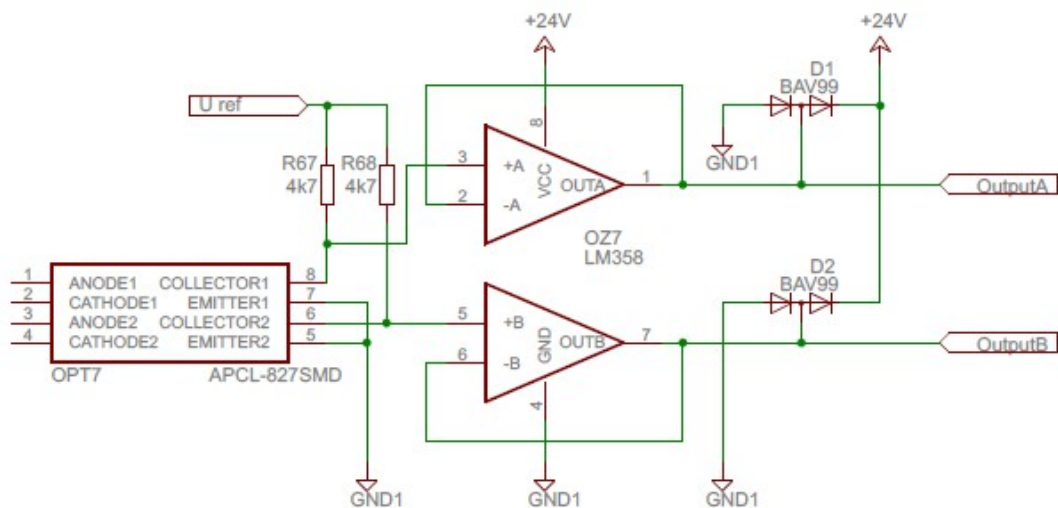
6 Avago Technologies: Data Sheet ACPL-8x7. [online]. [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1429EN>

7 Texas Instruments: Data Sheet SN74HC245. [online]. [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc245.pdf>

Na tranzistorové pole je použit integrovaný obvod A2982SLW, jehož výstupy jsou zapojeny jako open collector. Mezi jeho vlastnosti patří například:

- Kompatibilita s TTL, DTL, CMOS
- Výstupní proud až -500 mA
- Maximální vstupní napětí až 20V
- Výstupní napěťový rozsah 5 V až 50 V⁸

Na výstupu je připojena katoda LED diody optočlenu ACPL-827, který je popsán v předchozí kapitole. Anoda je připojena přes předřadný rezistor na napájecí napětí 5 V. Výstupní strana optočlenu je zapojena také jako open collector a tím vrací procházejícímu signálu jeho původní fázi. Výstup optočlenu nejlépe ilustruje Obrázek 8.



Obrázek 8: Schéma zapojení výstupu optočlenu

Pro posílení výstupního proudu je na kolektoru připojen operační zesilovač, který je zapojen jako sledovač napětí. Toto zapojení je vlastně neinvertující zesilovač se zesílením rovno jedné. Velikost i fáze napětí výstupního signálu napěťového sledovače je shodná s velikostí a fází napětí vstupního signálu. Má-li přitom zesilovač vysoký vstupní a malý výstupní odpor, což je u operačního zesilovače vyžadováno, je používán jako oddělovací obvod. Tohoto zapojení docílíme tak, že invertující vstup propojíme přímo s výstupem zesilovače. Občas se doporučuje nepropojovat nakrátko, ale vložit mezi invertující vstup a výstup rezistor. Je to kvůli ochraně invertujícího vstupu proti elektrostatickým napětím. V tomto případě může mít libovolnou hodnotu. Často je používána hodnota kolem 20 k Ω .⁹

⁸ Allegro Microsystems: Data Sheet A2982SLW. [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.allegromicro.com/~-/media/Files/Datasheets/A2981-2-Datasheet.ashx>

⁹ *Moderní učebnice elektroniky 5: Operační zesilovače a komparátory*. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-187-2.

Digitální výstupy z měřicí karty mají ochranu proti přepětí realizovanou dvojicí diod BAV99. Jsou umístěny v jednom pouzdru, jejich společný vývod je připojen k digitálnímu vstupu. Krajiní výstupy jsou připojeny k napájecímu napětí, anoda na zem a katoda na +24 V. Pokud například napětí na výstupním pinu překročí hodnotu

$$U_{MAX} = 24 + U_P \quad , \quad (5)$$

kde U_p označuje prahové napětí diody, svede se přepětí do napájecího pinu +24 V. Transil umístěný na této napájecí větvi zareaguje na přepětí a otevře se. Napětí poklesne a tím se ochrání všechny obvody umístěné na této větvi. V opačném případě, kdy se na výstupu objeví záporné napětí, jehož velikost je větší než prahové napětí diody připojené na zem, začne protékat proud ze zemní svorky do digitálního výstupu. Napětí na zemní svorce klesne a ochranné obvody zareagují stejným způsobem jako v prvním případě.

Schéma zapojení výstupních portů umístěných na hlavní desce je na listu číslo 2 v Příloze 5.

3.4 Analogové vstupy a výstupy

Jak již bylo zmíněno výše, signály pro analogové vstupy a výstupy jsou přivedeny na konektory pro rozšiřující moduly společně s jejich napájením. U analogových signálů je realizace elektrického oddělení o něco složitější než u digitálních portů, kde jsou pouze dvoustavové číslicové signály, proto musíme zajistit linearitu signálu, který prochází skrze optron. Tuto linearitu zajistíme pomocí zpětné vazby přes fotodiodu, která je přivedena na vstup zesilovače pro vysílací LED diodu. Její pomocí lze kompenzovat nelinearitu LED diody.

Mezi další požadavky patří činnost v dostatečném teplotním rozmezí a teplotní koeficient. Druhá fotodiody je identická s první, ta je standardně umístěna na výstupu optronu. Fotodiody mohou pracovat ve dvou režimech, buď ve fotooporovém nebo ve fotovoltaiickém režimu. Ve fotooporovém režimu jsou diody polarizovány v závěrném směru, kde je ochuzená vrstva širší a kapacita PN přechodu menší, hodí se tedy pro vyšší kmitočty¹⁰.

Jako jeden z možných použitelných optronů je HCNR200 nebo HCNR201, tyto optrony se liší pouze přesností převodního poměru zisku K_3 , který je dán poměrem

$$I_{PD2}/I_{PD1} \quad (5)$$

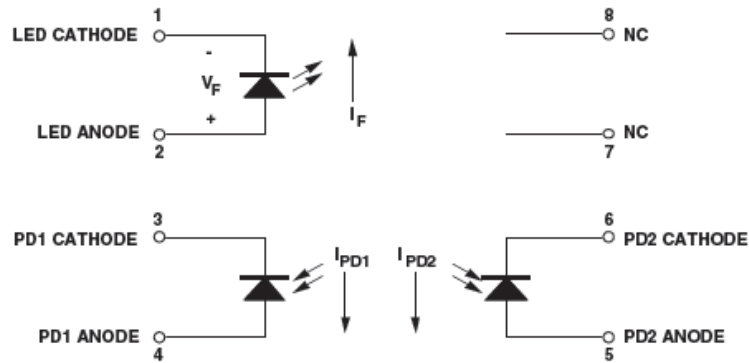
což jsou proudy procházející fotodiodami, viz Obrázek 9. Typicky se pohybuje na hodnotách $0,85 \leq x \leq 1,15$ respektive $0,95 \leq x \leq 1,05$.

Zde jsou některé vlastnosti tohoto optronu a schéma zapojení¹¹:

- Nízká nelinearita: 0.01%
- Nízký teplotní koeficient: -65ppm/°C
- Šíře pásma 0 až 1 Mhz

¹⁰ *Moderní učebnice elektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-184-1.

¹¹ Data Sheet - HCNR200 HCNR201. *Avago Technologies* [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-0886EN>

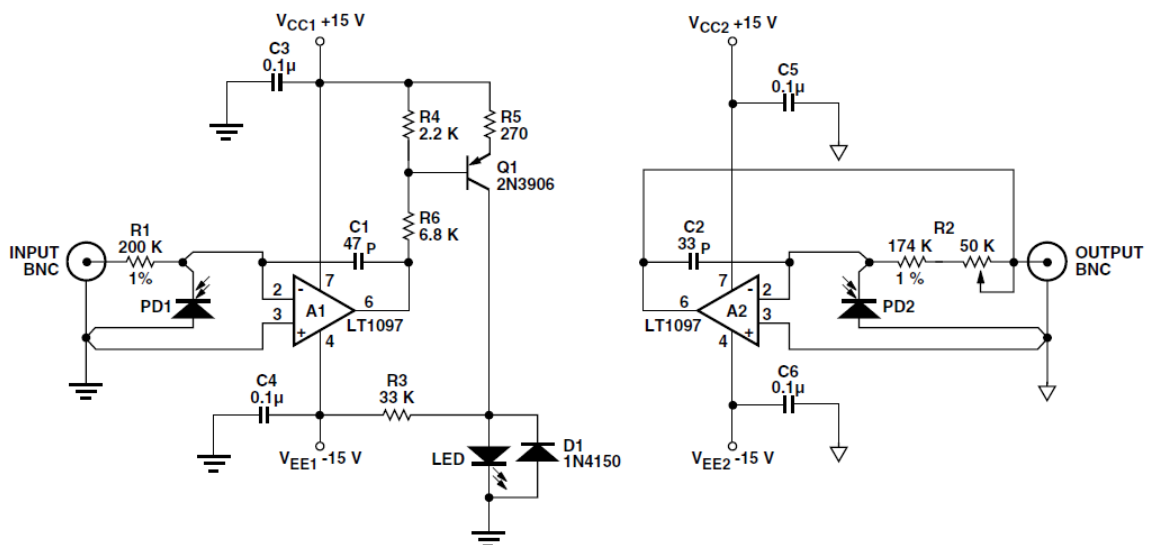


Obrázek 9: Schéma optronu HCNR200, HCNR201. Obrázek převzat z Data Sheet - HCNR200 HCNR201

Pro tento optron je uvedeno v dokumentaci použití s dvojicí operačních zesilovačů LT1097 jako jedno z možných řešení zapojení.

Schéma zapojení

Jedno z typických zapojení optronu HCNR200, HCNR201 je na Obrázku 10.



Obrázek 10: Jedno z typických zapojení HCNR200, HCNR201. Obrázek převzat z Data Sheet - HCNR200 HCNR201

Na horním schématu prochází přivedený signál přes R_1 na invertující vstup operačního zesilovače A_1 . Z výstupu A_1 pak na bázi PNP tranzistoru Q_1 , jehož pracovní bod je nastaven rezistorem R_4 , kde je signál zesílen pro LED diodu. Fotodioda PD_1 reguluje zesílení A_1 a kompenzuje tak nelinearitu LED diody. Proud fotodiódou, pokud zanedbáme proudy do A_1 a C_1 , je dán vztahem:

$$I_{PD1} = U_{vstupni} / R_1 \quad (6)$$

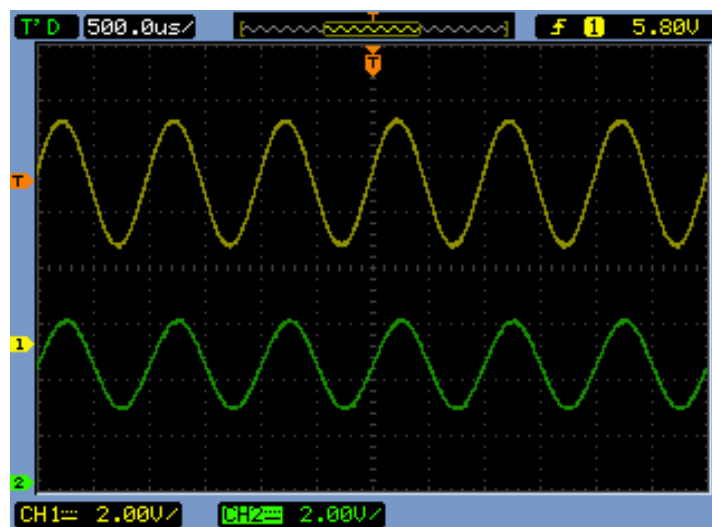
Na výstupu je k fotodiodě PD_2 připojen operační zesilovač A_2 jako převodník proudu na napětí. Výstupní napětí je dáno úbytkem napětí na odporu R_2 , jehož velikost lze regulovat a tím nastavit offset výstupního napětí. Kondenzátory C_3 , C_4 , C_5 , C_6 jsou zde jako blokovací kapacity.

U zapojení na Obrázku 10 je převodní poměr K_3 roven jedné. Pokud má analogový rozšiřující modul splňovat zadání, musí být na výstupu amplituda signálu nižší pro analogové vstupy, naopak tomu platí u analogových výstupů. Jedním z možných řešení je změna velikosti rezistoru R_1 . Pokud ho zvětšíme, zvýší se na něm úbytek napětí a amplituda na výstupu se nám sníží. U analogových výstupů může nastat problém při snižování velikosti R_1 , zde je potřeba správně nastavit pracovní bod tranzistoru Q_1 . Když bychom nastavili příliš velké zesílení, tranzistor by mohl začít zkreslovat vstupní signál, protože by se dostal mimo svou lineární charakteristiku nebo by narazil na limitaci danou napájecím napětím při velkém zesílení¹².

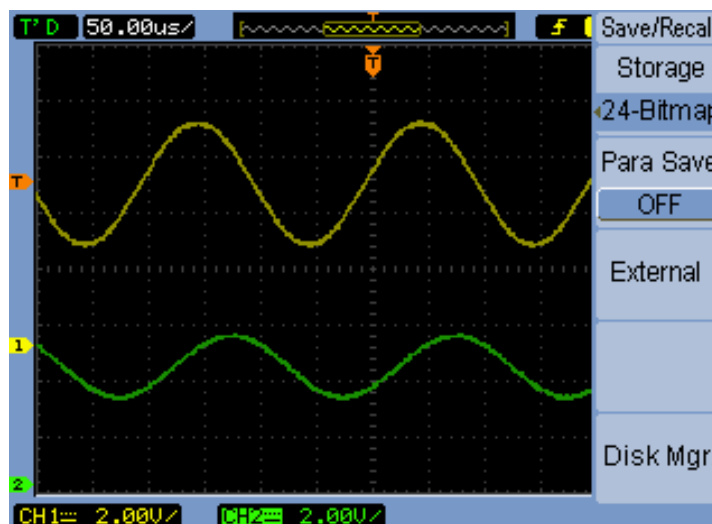
¹² *Moderní učebnice elektroniky 5: Operační zesilovače a komparátory*. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-187-2.

4. Měření analogových vstupů a výstupů

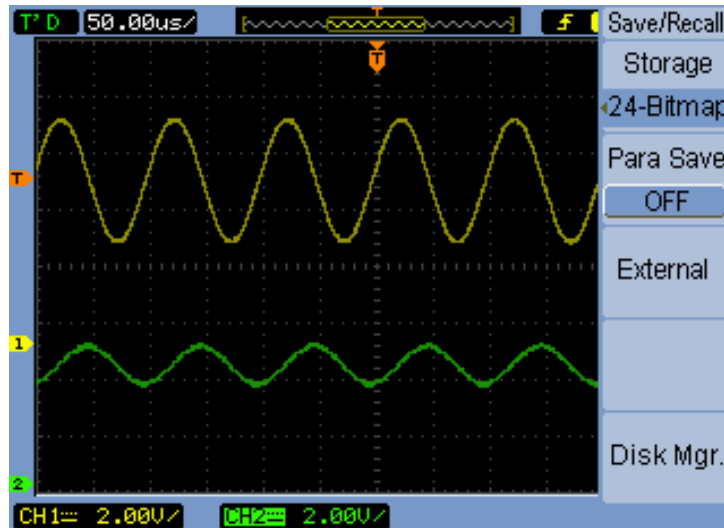
Funkčnost předchozího zapojení byla odzkoušena na nepájitelném poli. Napájecí napětí bylo zvoleno ± 15 V ze zdroje TESLA BK125, amplituda vstupního signálu 8 V a offset 5,75 V. Jako zdroj signálu byl použit funkční generátor Agilent 33220A, na zobrazení vstupního a výstupního průběhu byl použit osciloskop Agilent DSO1102B. Byly změřeny frekvence 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz, 20 kHz a 25 kHz. Vybrané průběhy signálu z osciloskopu (1, 5, 10 kHz) jsou na Obrázcích 11, 12, 13.



Obrázek 11: Průběhy napětí pro frekvenci 1 kHz



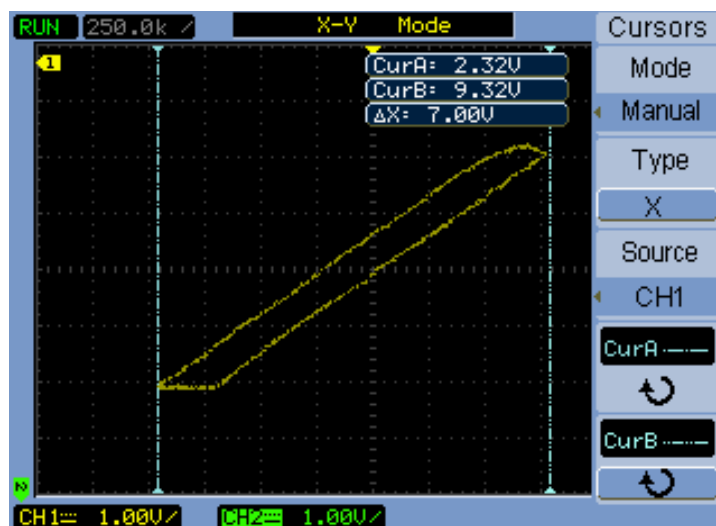
Obrázek 12: Průběhy napětí pro frekvenci 5 kHz



Obrázek 13: Průběhy napětí pro frekvenci 10 kHz

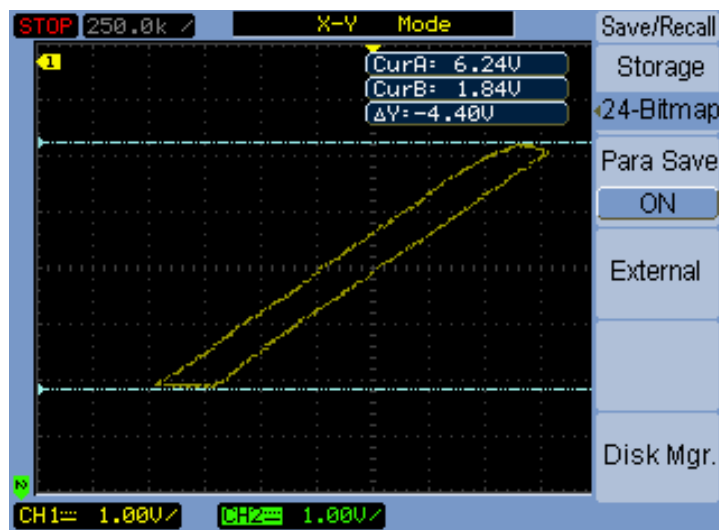
Jak je vidět na Obrázku 13 začíná se zde projevovat kmitočtové omezení daného zapojení, obvod se chová jako dolní propust. Amplituda na výstupu má nižší úroveň než na vstupu a zároveň je fázově posunuta.¹³

Dále byla změřena převodní charakteristika pro referenční kmitočet 1 kHz, zdrojem signálu byl pilový průběh s velikostí amplitudy 7 V (špička-špička) a napětovým offsetem 5,75 V. Průběh převodní charakteristiky a její úrovně jsou na Obrázcích 14, 15 a 16. Jednotlivé obrázky jsou popsány pomocí kurzorů CurA a CurB, velikosti napětí mezi kurzory jsou označeny ΔX nebo ΔY .

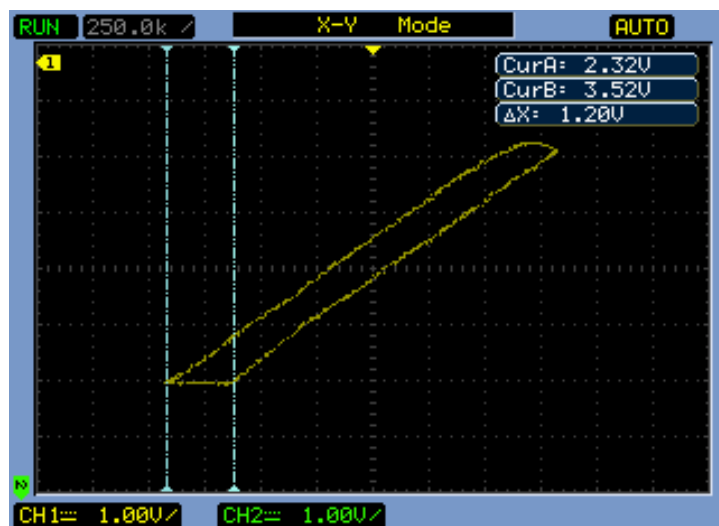


Obrázek 14: Převodní charakteristika pro 1 kHz

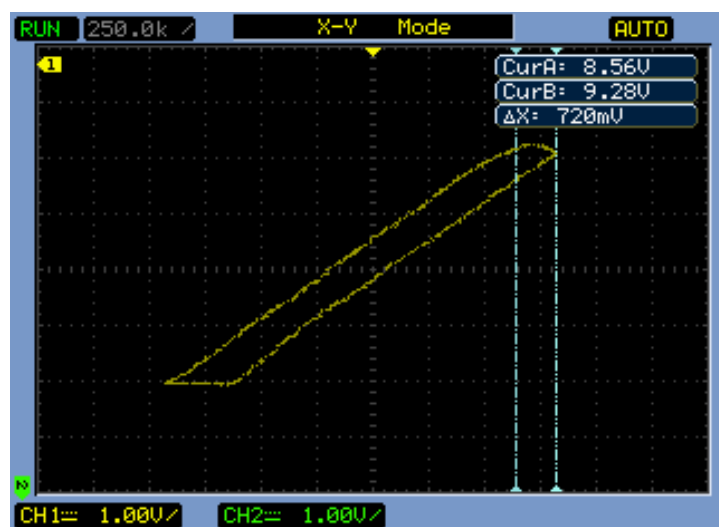
¹³ *Analogové elektronické systémy*. Plzeň: Západočeská univerzita. Elektrotechnická fakulta, 2010. ISBN 8070439173.



Obrázek 15: Převodní charakteristika pro 1 kHz



Obrázek 16: Převodní charakteristika pro 1 kHz



Obrázek 17: Převodní charakteristika pro 1 kHz

Jak je z předchozích obrázků patrné projevuje se zde určitá hystereze, což není žádoucí. V ideálním případě bychom chtěli, aby to byla přímka, která by nám zaručovala zachování linearitu procházejícího signálu. V Tabulce 4 dole jsou vypsány vybrané parametry operačního zesilovače LT1097.

Tabulka 4: Vybrané parametry operačního zesilovače LT1097

Symbol	Parametr	Hodnoty		
		Min.	Typ.	Max.
V_{os} [μ V]	Vst. napěťový. offset		10	50
I_{os} [pA]	Vst. proudový offset		40	250
CMRR [dB]	Potlačení souhlasného sig.	115	130	
SR [V/ μ s]	Rychlost přeběhu	0,1	0,2	

Zdroj: Linear Tech. [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1097fas.pdf>

Použitý operační zesilovač je podle výrobce navržen pro použití v přesných aplikacích. Napěťový a proudový offset je minimální, stejně tak potlačení souhlasného signálu. Jeho nevýhodou je ovšem pomalá rychlost přeběhu, proto se hodí pouze pro signály o nízké frekvenci, v tomto případě řádově stovky hertzů. Pokud bychom chtěli měřit vyšší frekvence, je dobré zvolit jiný operační zesilovač s větší hodnotou rychlosti přeběhu. Například operační zesilovač LT6020, který má podobné parametry jako LT1097, avšak rychlost přeběhu je typicky 5 V/ μ s. Jeho pouzdro v sobě obsahuje dva tyto zesilovače.¹⁴

Schéma zapojení vytvořené pro testování analogových obvodů včetně desky plošných spojů je v Příloze 7.

¹⁴ Linear Technology: Data Sheet LT6020. [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/60201fa.pdf>

5. Závěr

Při úvodní rešerši měřících karet bylo zjištěno, že výstupní konektory z jednotlivých měřících karet jsou mezi sebou plně kompatibilní, kromě 37 pinové karty PCI-6221, která není kompatibilní s žádnou měřící kartou z řady PCI-622x. Pokud má karta i druhý konektor, což platí pro PCI-6224, PCI-6225 a PCI-6229, jsou mezi sebou kompatibilní pouze karty PCI-6224 a PCI-6229. Karty u kterých je možná záměna, se mezi sebou liší pouze tím, že nepoužívají některé piny. To tedy znamená pouze nevyužití některé části modulu pro úpravu signálu, který je určen především pro měřící kartu PCI-6221.

Vlastní navržený modul je vytvořen tak, aby byl co nejvíce modulární. To znamená, že moduly pro číslicové porty jsou umístěny na hlavní desce, zatímco analogové vstupy a výstupy se mohou připojovat k rozšiřujícím konektorům podle požadavků měření. Všechny piny měřící karty jsou na tyto konektory přivedeny a to včetně potřebného napájení, takže pokud nechceme používat moduly umístěné na hlavní desce, stačí přepnout příslušné jumpery a začít používat obvody umístěné na rozšiřující kartě.

Hlavní deska má na sobě umístěno celkem 16 konektorů se zámkem pro zapojení osmi rozšiřujících karet, dva čelní D-SUB konektory pro připojení měřeného zařízení a jeden zadní konektor DIN 41612 typ C pro připojení k měřící kartě a napájecím napětím.

Analogové obvody, které by byly umístěny na rozšiřujících kartách, se odzkoušely na nepájivém poli. Jejich schéma zapojení a deska plošných spojů je v Příloze 7. Využilo se typického zapojení analogového optočlenu s dvěma operačními zesilovači LT1097. Aby toto zapojení splňovalo požadavky ze zadání práce, byla navržena jeho drobnější úprava, která je popsána v kapitole 3.4. Použitý operační zesilovač LT1097 se nakonec ukázal jako nevhodný, i když jeho parametry jsou velmi dobré, z důvodu pomalé rychlosti přeběhu. Jako vhodné řešení je použití jiného operačního zesilovače například LT6020.

Digitální porty nebyly změřeny z časových důvodů, jelikož se nestihla vyrobit hlavní deska z dostatečnou časovou rezervou. Byla odsimulována hysterezní smyčka komparátoru na vstupních číslicových portech, ověřila se tak správnost komparačních mezí a šířka hystereze. První verze hlavní desky je zobrazena v Příloze 6. Vyskytuje se na ní pouze drobná chyba, kterou se myslí špatně zapojené liché vstupní porty. Neznamená to ovšem jejich vyřazení z provozu, díky modularitě desky se tyto vstupní porty dají přepnout tak, že jsou vyvedeny na konektor pro rozšiřující karty, kde se může jejich signál upravit na požadovanou úroveň. Na schématu v Příloze 5 je chyba již opravena. Tato práce tedy obsahuje kompletní návrh hlavní desky společně s návrhem analogových obvodů pro rozšiřující moduly.

Použitá literatura a zdroje

Allegro Microsystems: Data Sheet A2982SLW. [online]. [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A2981-2-Datasheet.ashx>

Analogové elektronické systémy. Plzeň: Západočeská univerzita. Elektrotechnická fakulta, 2010. ISBN 8070439173.

Avago Technologies: Data Sheet ACPL-8x7. [online]. [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1429EN>

Číslicové systémy a jazyk VHDL. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-198-5.

Data Sheet - HCNR200 HCNR201. *Avago Technologies* [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-0886EN>

IEEE Std 1101.1-1998. IEEE Standard for Mechanical Core Specifications for Microcomputers Using IEC 60603-2 Connectors. 2002. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=26489&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A988%29

Linear Technology: Data Sheet LT6020. [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/60201fa.pdf>

Low-Cost M Series Multifunction Data Acquisition - 16-Bit, 250 kS/s, up to 80 Analog Inputs. [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-15/lang/cs>

Měřicí karty k PC. NI. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/merici-karty>

Moderní učebnice elektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-184-1.

Moderní učebnice elektroniky 5: Operační zesilovače a komparátory. Praha: BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-187-2.

National Instruments. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-15/lang/cs>

Rozhraní k měřicí kartě pro automobilové aplikace. Plzeň, 2011. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

ING. ŠTEFAN, Radim. Měřicí karty - jak správně vybírat. NATIONAL INSTRUMENTS CZECH REPUBLIC SPOL. S.R.O. *Odbornecasopisy.cz* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32427

Texas Instruments: Data Sheet SN74HC245. [online]. [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc245.pdf>

Přílohy

Příloha 1 – Rešerše měřících karet PCI-622x

Číslo karty	PCI-6220	PCI-6221	PCI-6224	PCI-6225	PCI-6229	PCI-6221
První konektor		68-PIN				37-PIN
1	PFI 14/P2.6	PFI 14/P2.6	PFI 14/P2.6	PFI 14/P2.6	PFI 14/P2.6	AI 0
2	PFI 12/P2.4	PFI 12/P2.4	PFI 12/P2.4	PFI 12/P2.4	PFI 12/P2.4	AI 9
3	PFI 9/P2.1	PFI 9/P2.1	PFI 9/P2.1	PFI 9/P2.1	PFI 9/P2.1	AI GND
4	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	AI 10
5	PFI 6/P1.6	PFI 6/P1.6	PFI 6/P1.6	PFI 6/P1.6	PFI 6/P1.6	AI 3
6	PFI 5/P1.5	PFI 5/P1.5	PFI 5/P1.5	PFI 5/P1.5	PFI 5/P1.5	AI 4
7	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	AI 13
8	+5V	+5V	+5V	+5V	+5V	AI SENSE
9	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	AI 14
10	PFI 1/P1.1	PFI 1/P1.1	PFI 1/P1.1	PFI 1/P1.1	PFI 1/P1.1	AI 15
11	PFI 0/P1.0	PFI 0/P1.0	PFI 0/P1.0	PFI 0/P1.0	PFI 0/P1.0	AO GND
12	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	AO 0
13	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	PFI 0/P1.0
14	+5V	+5V	+5V	+5V	+5V	D GND
15	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	PFI 3/P1.3
16	P0.6	P0.6	P0.6	P0.6	P0.6	D GND
17	P0.1	P0.1	P0.1	P0.1	P0.1	PFI 6/P1.6
18	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND
19	P0.4	P0.4	P0.4	P0.4	P0.4	P0.1
20	NC	NC	NC	NC	NC	AI 0
21	NC	AO 1	NC	AO 1	AO 1	AI 1
22	NC	AO 0	NC	AO 0	AO 0	AI 2
23	AI 15	AI 15	AI 15	AI 15	AI 15	AI 11
24	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND
25	AI 6	AI 6	AI 6	AI 6	AI 6	AI 12
26	AI 13	AI 13	AI 13	AI 13	AI 13	AI 5
27	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI 6
28	AI 4	AI 4	AI 4	AI 4	AI 4	AI 7
29	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	NC
30	AI 3	AI 3	AI 3	AI 3	AI 3	AO 1
31	AI 10	AI 10	AI 10	AI 10	AI 10	AO GND
32	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	PFI 1/P1.1
33	AI 1	AI 1	AI 1	AI 1	AI 1	PFI 2/P1.2
34	AI 8	AI 8	AI 8	AI 8	AI 8	PFI 4/P1.4
35	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	PFI 5/P1.5
36	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	PFI 7/P1.7
37	PFI 8/P2.0	PFI 8/P2.0	PFI 8/P2.0	PFI 8/P2.0	PFI 8/P2.0	P0.0
38	PFI 7/P1.7	PFI 7/P1.7	PFI 7/P1.7	PFI 7/P1.7	PFI 7/P1.7	
39	PFI 15/P2.7	PFI 15/P2.7	PFI 15/P2.7	PFI 15/P2.7	PFI 15/P2.7	
40	PFI 13/P2.5	PFI 13/P2.5	PFI 13/P2.5	PFI 13/P2.5	PFI 13/P2.5	
41	PFI 4/P1.4	PFI 4/P1.4	PFI 4/P1.4	PFI 4/P1.4	PFI 4/P1.4	
42	PFI 3/P1.3	PFI 3/P1.3	PFI 3/P1.3	PFI 3/P1.3	PFI 3/P1.3	
43	PFI 2/P1.2	PFI 2/P1.2	PFI 2/P1.2	PFI 2/P1.2	PFI 2/P1.2	
44	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	
45	PFI 10/P2.2	PFI 10/P2.2	PFI 10/P2.2	PFI 10/P2.2	PFI 10/P2.2	
46	PFI 11/P2.3	PFI 11/P2.3	PFI 11/P2.3	PFI 11/P2.3	PFI 11/P2.3	
47	P0.3	P0.3	P0.3	P0.3	P0.3	
48	P0.7	P0.7	P0.7	P0.7	P0.7	
49	P0.2	P0.2	P0.2	P0.2	P0.2	
50	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	
51	P0.5	P0.5	P0.5	P0.5	P0.5	
52	P0.0	P0.0	P0.0	P0.0	P0.0	
53	D GND	D GND	D GND	D GND	D GND	
54	NC	AO GND	NC	AO GND	AO GND	
55	NC	AO GND	NC	AO GND	AO GND	
56	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	
57	AI 7	AI 7	AI 7	AI 7	AI 7	
58	AI 14	AI 14	AI 14	AI 14	AI 14	
59	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	
60	AI 5	AI 5	AI 5	AI 5	AI 5	
61	AI 12	AI 12	AI 12	AI 12	AI 12	
62	AI SENSE	AI SENSE	AI SENSE	AI SENSE	AI SENSE	
63	AI 11	AI 11	AI 11	AI 11	AI 11	
64	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	
65	AI 2	AI 2	AI 2	AI 2	AI 2	
66	AI 9	AI 9	AI 9	AI 9	AI 9	
67	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	AI GND	
68	AI 0	AI 0	AI 0	AI 0	AI 0	

Číslo karty	PCI-6224	PCI-6225	PCI-6229
Druhý konektor			
1	P0.30	AI 71	P0.30
2	P0.28	AI 78	P0.28
3	P0.25	AI 69	P0.25
4	D GND	AI 68	D GND
5	P0.22	AI 75	P0.22
6	P0.21	AI 66	P0.21
7	D GND	AI 65	D GND
8	+5 V	AI 72	+5 V
9	D GND	AI GND	D GND
10	P0.17	AI 55	P0.17
11	P0.16	AI 54	P0.16
12	D GND	AI 61	D GND
13	D GND	AI 52	D GND
14	+5 V	AI 51	+5 V
15	D GND	AI 58	D GND
16	P0.14	AI 49	P0.14
17	P0.9	AI 48	P0.9
18	D GND	AI 47	D GND
19	P0.12	AI 38	P0.12
20	NC	AI 37	NC
21	NC	AI 44	AO 3
22	NC	AI GND	AO 2
23	AI 31	AI 35	AI 31
24	AI GND	AI 34	AI GND
25	AI 22	AI 41	AI 22
26	AI 29	AI 32	AI 29
27	AI GND	AI 23	AI GND
28	AI 20	AI 30	AI 20
29	AI GND	AI 21	AI GND
30	AI 19	AI 20	AI 19
31	AI 26	AI 27	AI 26
32	AI GND	AI 18	AI GND
33	AI 17	AI 17	AI 17
34	AI 24	AI 24	AI 24
35	D GND	AI 79	D GND
36	D GND	AI 70	D GND
37	P0.24	AI 77	P0.24
38	P0.23	AI 76	P0.23
39	P0.31	AI 67	P0.31
40	P0.29	AI 74	P0.29
41	P0.20	AI 73	P0.20
42	P0.19	AI 64	P0.19
43	P0.18	AI GND	P0.18
44	D GND	AI 63	D GND
45	P0.26	AI 62	P0.26
46	P0.27	AI 53	P0.27
47	P0.11	AI 60	P0.11
48	P0.15	AI 59	P0.15
49	P0.10	AI 50	P0.10
50	D GND	AI 57	D GND
51	P0.13	AI 56	P0.13
52	P0.8	AI 39	P0.8
53	D GND	AI 46	D GND
54	NC	AI 45	AO GND
55	NC	AI 36	AO GND
56	AI GND	AI SENSE 2	AI GND
57	AI 23	AI 43	AI 23
58	AI 30	AI 42	AI 30
59	AI GND	AI 33	AI GND
60	AI 21	AI 40	AI 21
61	AI 28	AI 31	AI 28
62	AI SENSE 2	AI 22	AI SENSE 2
63	AI 27	AI 29	AI 27
64	AI GND	AI 28	AI GND
65	AI 18	AI 19	AI 18
66	AI 25	AI 26	AI 25
67	AI GND	AI 25	AI GND
68	AI 16	AI 16	AI 16

Příloha 2 – Pinout čelních konektorů D-SUB

2x15 pin

Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu
1	AI 0 OUT	16	AI 8 OUT
2	AI 1 OUT	17	AI 9 OUT
3	AI GND OUT	18	AI GND OUT
4	AI 2 OUT	19	AI 10 OUT
5	AI 3 OUT	20	AI 11 OUT
6	AI GND OUT	21	AI GND OUT
7	AI 4 OUT	22	AI 12 OUT
8	AI 5 OUT	23	AI 13 OUT
9	AI GND OUT	24	AI GND OUT
10	AI 6 OUT	25	AI 14 OUT
11	AI 7 OUT	26	AI 15 OUT
12	AI GND OUT	27	AI GND OUT
13	AI GND OUT	28	AI GND OUT
14	AO 0 OUT	29	AO 1 OUT
15	NC	30	NC

2x25 pin

Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu
1	DIG. REF 0	26	DIG. REF 1
2	NC	27	NC
3	P 0.0 OUT	28	P 2.0 OUT
4	P 0.1 OUT	29	P 2.1 OUT
5	GND 1	30	GND 1
6	P 0.2 OUT	31	P 2.2 OUT
7	P 0.3 OUT	32	P 2.3 OUT
8	GND 1	33	GND 1
9	P 0.4 OUT	34	P 2.4 OUT
10	P 0.5 OUT	35	P 2.5 OUT
11	GND 1	36	GND 1
12	P 0.6 OUT	37	P 2.6 OUT
13	P 0.7 OUT	38	P 2.7 OUT
14	GND 1	39	GND 1
15	NC	40	NC
16	P 1.0 OUT	41	P 1.4 OUT
17	P 1.1 OUT	42	P 1.5 OUT
18	GND 1	43	GND 1
19	P 1.2 OUT	44	P 1.6 OUT
20	P 1.3 OUT	45	P 1.7 OUT
21	GND 1	46	GND 1
22	NC	47	NC
23	NC	48	NC
24	NC	49	NC
25	+24V	50	+24V

Příloha 3 – Pinout konektrotů se zámkem

Strana DIN-41612

	Číslo pinu	Číslo pinu	
AI 1-7	1	2	AI 8-14
AI GND	3	4	AI SENSE
AO 0 (NC)	5	6	AO 1 (NC)
NC	7	8	AI GND (NC)
+15V AI	9	10	-15V AI
+15V AO	11	12	-15V AO
+5V	13	14	D GND
P 0.x	15	16	P 1.x
P 2.x	17	18	NC
NC	19	20	NC

Strana D-SUB

	Číslo pinu	Číslo pinu	
AI 0-7 OUT	1	2	AI 8-14 OUT
AI GND OUT	3	4	AO GND OUT
(AO 0 OUT)	5	6	(AO 1 OUT)
NC	7	8	NC
NC	9	10	NC
+15V Vcc OUT	11	12	-15V Vcc OUT
+24V	13	14	GND 1
P 0.x OUT	15	16	P 1.x OUT
P 2.x M O	17	18	DIG. REF 0
NC	19	20	DIG. REF 1

Poznámka: Analogové výstupy (AO 0, AO 1) jsou přivedeny pouze na konektory číslo X1 a X3 na straně DIN-41612, na straně D-SUB jsou to čísla X2 a X10

Příloha 4 – Pinout konektoru DIN 41612 typ C pro měřicí kartu PCI-6221

DIN piny	a název pinu DIN	pin karty	b název pinu	pin karty	c název pinu	pin karty
32	+15V OUT		D GND1		Vcc2 (+24V)	
31	+15V OUT		D GND1		Vcc2 (+24V)	
30	AI GND O		Vcc (+5V)		PFI 15/P2.7	39
29	AI GND O		Vcc (+5V)		PFI 13/P2.5	40
28	-15V OUT		Vcc (+5V)		PFI 4/P1.4	41
27	-15V OUT		D GND		PFI 3/P1.3	42
26	D GND	7	D GND		PFI 2/P1.2	43
25	+5V	8	D GND		D GND	44
24	D GND	9	PFI 8/P2.0	37	PFI 10/P2.2	45
23	PFI 1/P1.1	10	PFI 7/P1.7	38	PFI 11/P2.3	46
22	PFI 0/P1.0	11	D GND	35	P0.3	47
21	D GND	12	D GND	36	P0.7	48
20	D GND	13	PFI 14/P2.6	1	P0.2	49
19	+5V	14	PFI 12/P2.4	2	D GND	50
18	D GND	15	PFI 9/P2.1	3	P0.5	51
17	P0.6	16	D GND	4	P0.0	52
16	P0.1	17	PFI 6/P1.6	5	D GND	53
15	D GND	18	PFI 5/P1.5	6	NC	
14	P0.4	19	NC		NC	
13	NC	20	NC		AI GND	56
12	AO 1	21	NC		AI 7	57
11	AO 0	22	NC		AI 14	58
10	AI 15	23	NC		AI GND	59
9	AI GND	24	Vcc I (+15V AI)		AI 5	60
8	AI 6	25	Vcc I (+15V AI)		AI 12	61
7	AI 13	26	AO GND		AI SENSE	62
6	AI GND	27	+15V AO	54,55	AI 11	63
5	AI 4	28	Vee I (-15V AI)		AI GND	64
4	AI GND	29	Vee I (-15V AI)		AI 2	65
3	AI 3	30	-15V AO		AI 9	66
2	AI 10	31	AI 8	34	AI GND	67
1	AI GND	32	AI 1	33	AI 0	68

Příloha 5 – Výkres hlavní desky

Příloha 6 – DPS hlavní desky

Příloha 7 – Výkres a DPS analogových obvodů