



**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

## **ZPRACOVÁNÍ DIGITÁLNÍCH SIGNÁLŮ Z INTERFEROMETRU**

PROCESSING OF DIGITAL SIGNALS FROM INTERFEROMETER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**JAKUB TRLIČÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ZDENĚK HAVRÁNEK, Ph.D.**

BRNO 2011



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:** Jakub Trličík

**ID:** 106837

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

**NÁZEV TÉMATU:**

## Zpracování digitálních signálů z interferometru

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Seznamte se s bezkontaktním měřením vibrací a interferometrem Polytec OFV-5000, rozhraním S/P DIF pro digitální přenos audio signálů a programováním v prostředí LabVIEW.
- 2) Popište vlastnosti rozhraní S/P DIF a možnosti přenosu dat tímto digitálním kanálem.
- 3) Realizujte rozhraní S/P DIF v hradlovém poli FPGA NI-PXI 7811R, dekódujte formát S/P DIF pro přenos digitálních dat z interferometru Polytec a vytvořte aplikaci v PC pro sběr a zobrazení digitálních dat z interferometru (programování v prostředí LabVIEW).
- 4) Rozšiřte aplikaci i pro sběr a zobrazení analogových dat z interferometru a porovnejte získávaná analogová a digitální data (rozlišení, šum, SNR, šířka pásma, atd.) na vhodně zvoleném praktickém příkladu bezkontaktního měření vibrací povrchu. Pro sběr analogových dat do počítače použijte měřicí kartu NI PXI 4462, případně NI 9234.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] WATKINSON, J. The Art of Digital Audio. Focal Press, třetí vydání, 2001. ISBN 0-240-51587-0.
- [2] VLACH, J., HAVLÍČEK, J., VLACH, M. Začínám s LabVIEW. BEN - technická literatura, Praha, 1. vydání, 2008. 248 s. ISBN 978-80 7300-245-9.
- [3] Firemní literatura National Instruments a Polytec.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 30.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Havránek, 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá zpracováním digitálního signálu formátu S/PDIF z interferometru Polytec OFV-5000, pomocí měřicí aplikace vytvořené ve vývojovém prostředí LabVIEW. V této práci je popsána teorie laserového měření vibrací a kódování digitálního signálu S/PDIF. Dále je představen systém pro měření vibrací Polytec a systém pro sběr dat National Instruments. Následuje popis vytvořené měřicí aplikace, rozdělen na tři části: dekódování signálu S/PDIF, sběr a zobrazení digitálních dat a sběr a zobrazení analogových dat pro porovnání s digitálním výstupem. V poslední části práce jsou uvedeny výsledky porovnání analogového a digitálního výstupu a zhodnocení dosažených výsledků.

## **Klíčová slova**

Měření vibrací, interferometr, S/PDIF, PXI-7811R, LabVIEW, FPGA

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the S/PDIF digital signal processing from interferometer Polytec OFV-5000, by measurement application created in LabVIEW. This paper describes the theory of laser vibration measurement and encoding S/PDIF digital signal. Text also introduces a Polytec system for vibration measurement and system for data acquisition by National Instruments. The following is a description of the created measurement application, divided into three parts: decoding an S/PDIF, acquisition and display of digital data and acquisition and display of analog data to compare with digital output. In the last part of the thesis are presented the results of comparing analog and digital output, and an evaluation of the achieved results.

## **Keywords**

Vibration measurement, interferometer S/PDIF, PXI-7811R, LabVIEW, FPGA

### **Bibliografická citace:**

TRLIČÍK, J. *Zpracování digitálních signálů z interferometru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 49 s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Zdeněk Havránek, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Zpracování digitálních signálů z interferometru“ 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 30. Května 2011

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Havránkovi, PhD. Za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 30. Května 2011

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Úvod .....	8
1.1	Úkol.....	8
1.2	Motivace .....	8
1.3	Prostředky.....	8
1.4	Záměr práce .....	9
2.	Měření vibrací.....	11
2.1	Bezkontaktní laserové měření vibrací.....	11
2.2	Systém Polytec pro laserové měření vibrací.....	14
2.2.1	Senzorová hlava OFV-505.....	15
2.2.2	Vibrometr OFV-5000 s dekodéry VD-06 a DD-500.....	16
3.	Standard přenosu dat S/PDIF.....	21
3.1	Rozdělení dat v protokolu S/PDIF.....	21
3.2	Modulace dat a druhy hlaviček .....	23
4.	Měřicí systém NI PXI.....	25
4.1	Modul hradlového pole PXI-7811R.....	27
4.2	Modul analogové měřicí karty PXI-4462.....	29
5.	Měřicí aplikace.....	30
5.1	Prostředí LabVIEW s FPGA modulem.....	30
5.2	Dekódování signálu S/PDIF .....	31
5.3	Sběr a zobrazení dekodovaných dat z S/PDIF.....	34
5.4	Sběr a zobrazení analogových dat.....	38
6.	Analýza naměřených dat .....	39
7.	Závěr.....	43
	Literatura .....	44
	Seznam obrázků.....	45
	Seznam grafů .....	46
	Seznam tabulek.....	47
	Seznam zkratk.....	48
	Seznam příloh.....	49

# 1. ÚVOD

## 1.1 Úkol

Základním podnětem pro vytvoření zadání této práce, byl nápad porovnat vlastnosti analogového a digitálního zpracování systému Polytec pro měření vibrací, ve spolupráci s měřicím systémem a programovým vybavením od firmy National Instruments. Aby bylo možné výslednou kvalitu naměřeného signálu po přenosu vedením a zpracování měřicím systémem porovnat, je zapotřebí vytvořit aplikaci v prostředí LabVIEW pro zpracování dat z interferometru Polytec OFV-5000. Aplikace bude mít za úkol dekodovat data z interferometru ve formátu SP/DIF pomocí hradlového pole FPGA NI PXI-7811R, tyto data dále zpracovat a zobrazit společně s daty z analogové karty NI PXI-4462.

Pro správné pochopení problému a následnou realizaci řešení je potřeba se nejdříve seznámit s principem bezkontaktního měření vibrací, s vibrometrem Polytec OFV-5000, porozumět způsobu kódování formátu SP/DIF a programování v prostředí LabVIEW.

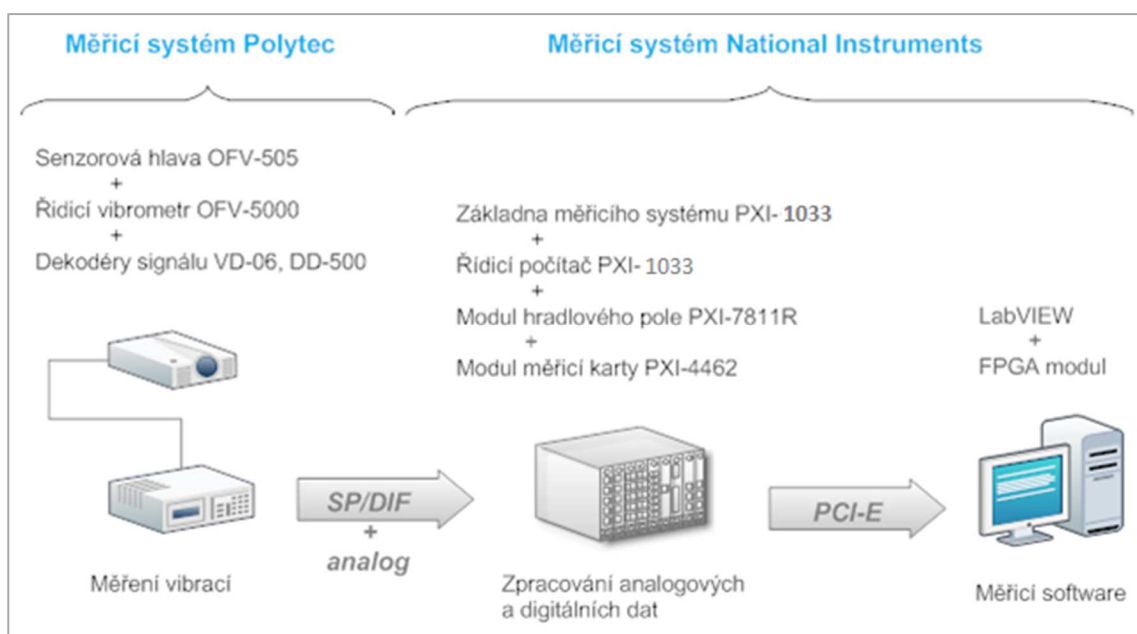
## 1.2 Motivace

Prostředky firmy National Instruments patří ke špičce v oboru automatizace, měření a obecně v systémech pro tvorbu řídicích aplikací. Výrazně ulehčují práci při měření, analýze dat a jejich zpracování. Mým cílem je naučit se je efektivně ovládat a použít je pro zpracování dat z měření vibrací systémem Polytec. Použité nástroje systémů Polytec a National Instruments, jejich uspořádání a propojení se pokusím přiblížit v následující kapitole 1.3.

## 1.3 Prostředky

Jako zdroj vibrací je použit vibrační stůl, buzený generátorem harmonického signálu, na němž je možné přesně nastavit frekvenci a amplitudu výstupního budícího signálu. Na kmitající vibrační stůl je namířen laserový paprsek sensorové hlavy OFV505 měřicího systému Polytec, ten je dále tvořen vibrometrem OFV-5000, jenž obsahuje dekodéry signálu ze sensorové hlavy. Jeden pro měření výchylky (DD-500) a jeden pro měření rychlosti (VD-06).

Z výstupních konektorů vibrometru je signál přiveden do měřicího systému National Instruments, konkrétně digitálně cestou ve formátu SP/DIF (výchylka i rychlost zároveň) do karty hradlového pole PXI-7811R a analogově do karty PXI-4462 (výchylka, nebo rychlost). Moduly měřicích karet jsou spolu s řídicím počítačem zapojeny v tzv. základně měřicího systému PXI-1033, která zajišťuje jejich mechanické propojení, napájení a sběr dat. Data z měřicích karet jsou zpracovávána řídicím počítačem PXI-1033 a posílána po sběrnici PCI Express do PC s měřicím softwarem, vytvořeným v prostředí LabVIEW. Jednotlivé části měřicího systému uvedu s podrobnějším popisem funkce a propojení chronologicky v dalších kapitolách této práce. Pro lepší představu je celá měřicí sestava graficky znázorněna na následujícím obrázku 1.1. Propojení mezi jednotlivými přístroji na signálové cestě jsou realizována kvalitně odstíněnými kabely pro eliminaci rušivých vlivů prostředí.



1.1 Prostředky měřicího systému

## 1.4 Záměr práce

Porozumět principům bezkontaktního měření vibrací a zpracování takto naměřených dat systémem Polytec.

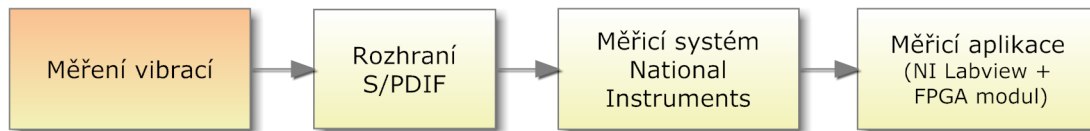
Seznámit se se způsobem kódování dat formátu SP/DIF a programováním ve vývojovém prostředí LabVIEW, ovládajícím jednotlivé části měřicího systému National Instruments.

Pomocí LabVIEW realizovat rozhraní SP/DIF v hradlovém poli NI PXI-7811R, které bude dekódovat tento digitální formát. Dále v tomto vývojovém prostředí vytvořit

aplikaci pro sběr a zobrazení dat z vytvořeného rozhraní SP/DIF. Aplikaci rozšířit o sběr analogových dat z karty NI PXI-4462 a provést srovnání kvality informace s digitálními daty.

Popsat v tomto dokumentu vytvořenou aplikaci takovým způsobem, aby byly možné případné její budoucí úpravy a rozšíření.

## 2. MĚŘENÍ VIBRACÍ



Vibrací se rozumí mechanické kmitání tuhých těles, hmotných bodů a chvění prostředí. Mohou vznikat pohybem pružného tělesa nebo prostředí, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy. Konkrétně chodem strojů a přístrojů, motorů dopravních či jiných prostředků, ale i vlivem přírodních jevů, např. kmitání paluby vlivem mořských vln, působením větru, pohybem tektonických desek. Obecně řečeno jakoukoli mechanickou interakcí hmotných těles. Vibrace jsou určovány frekvencí (kmitočtem), amplitudou (rozkmitem), rychlostí, zrychlením, časovým průběhem, směrem.

Prostředí nás obklopující je tedy plné vibrací a pro jejich měření se používá různých metod a prostředků. Pro měření akustických vibrací se používají zvukoměry s mikrofonními snímači. V průmyslu se výrobky testují na vibrační zatížení před uvedením do provozu, pomocí vibrometrů, využívajících principů interference. Jako kontaktní snímače zachycující vibrace se používají různé typy akcelerometrů. Pro bezkontaktní snímání se využívá senzorové hlavy, jež vysílá laserový paprsek a po odrazu od měřeného povrchu jej snímá.

V této kapitole jsou představeny základní principy laserového měření vibrací, založené především na vlnových vlastnostech světla, jako je Dopplerův jev a interference. Dále jsou uvedeny jednotlivé části měřicího systému Polytec a jejich stručný popis s parametry.

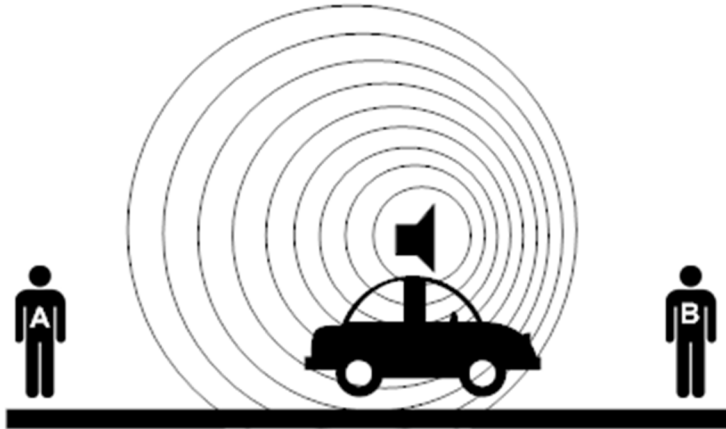
### 2.1 Bezkontaktní laserové měření vibrací

Bezkontaktní měření vibrací lze oproti měření pomocí akcelerometrů použít i na místech, která jsou obtížně dostupná, nebo nedovolují kontakt snímače (příliš malý rozměr, vysoká teplota povrchu). Měřený objekt není zatěžován hmotou snímače, což je zásadní při měření vibrací velmi malých předmětů, které by byly hmotou snímače zatěžovány. Zdrojem světla je nejběžněji používaný helium-neonový laser, paprsek jím generovaný je monochromatický, koherentní a dobře směrovatelný. Laserový paprsek je pomocí optiky zaměřen na pevný bod vibrujícího předmětu a odražený zpět je snímán a analyzován na základě frekvenčního posunu, způsobeného Dopplerovým jevem.

## Dopplerův jev

zdroj [1]

Je nám znám z našeho okolí např. jako zvuk projíždějícího auta, který pozorovatel vnímá rozdílně, s tím jak jej míjí. Dopplerův jev se projevuje tím, že frekvence vlnění zjištěná pozorovatelem je jiná, než frekvence vlnění zdroje, jestliže se vzdálenost zdroje od pozorovatele mění v čase. To v praxi nastává buď tak, že se zdroj a pozorovatel vzájemně pohybují, nebo jsou zdroj a pozorovatel vedle sebe, ale sleduje se vlnění odražené od překážky, která se pohybuje (případ vibračního měření).



### 2.1 Dopplerův efekt

Přibližující-se vozidlo zní výrazně vyšším tónem, než totéž vozidlo, když se vzdaluje. Na obrázku 2.1 se od pozorovatele A vozidlo vzdaluje, proto jsou vlny delší a tedy frekvence nižší. Naopak, k pozorovateli B se vozidlo blíží, proto jsou vlny kratší a frekvence vyšší.

Podobné fyzikální principy jsou uplatnitelné i u světla, přístroj pro měření vibrací na základě Dopplerova jevu se nazývá Laser Doppler Vibrometer (dále jen LDV).

Je-li vlna odrazena od pohybujícího se objektu a detekována měřicím systémem, změřený frekvenční posuv vlny může být popsán vztahem 2.1 [1]:

$$f_D = \frac{2 \cdot v}{\lambda} \text{ [Hz]} \quad (2.1)$$

,kde

$f_D$  – frekvenční posuv

$v$  – rychlost objektu [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$\lambda$  – vlnová délka [m]

Aby bylo možné stanovit rychlost objektu  $v$ , musí být Dopplerův frekvenční posuv  $f_D$  změřen na známé vlnové délce, to je ošetřeno přímo v LDV.

## Interferometrie

Monochromatické a koherentní světlo je schopné interference, to znamená sčítání a odečítání vlny. Rozdělíme-li koherentní světelný svazek na dva, například polopropustným zrcadlem, necháme svazky procházet různými drahami a pak je na dalším, nebo tomtéž polopropustném zrcadle sloučíme, vlny se sečtou, nebo odečtou podle toho, jaký je jejich fázový posuv. Jsou-li vlny např. ve fázi (nulový fázový posuv), vytvoří vlnu původní, jako před rozdělením, naopak pokud se vlny nacházejí v opačné fázi, vzájemně se vyruší. Výsledná intenzita  $I_{tot}$  dvou překrývajících se koherentních paprsků světla o intenzitách  $I_1$  a  $I_2$ , není pouze součtem intenzit paprsků, ale určí se podle vzorce 2.2 [1], zohledňujícího fázový posuv:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{r_1 - r_2}{\lambda} \right) \right] \quad (2.2)$$

,kde

$I_{tot}$  – výsledná intenzita [ $W/m^2$ ]

$I_1, I_2$  – intenzity jednotlivých paprsků [ $W/m^2$ ]

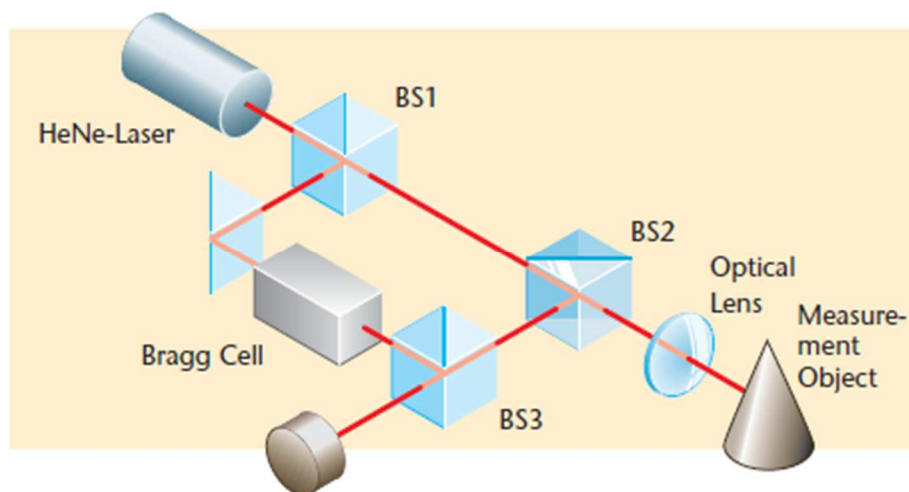
$r_1, r_2$  – optické délky jednotlivých paprsků [m]

$\lambda$  – vlnová délka [m]

Pro tento vztah je určující rozdíl délek drah  $r_1 - r_2$ . Pokud je tento rozdíl celočíselným násobkem vlnové délky laseru, celková intenzita je rovna čtyřnásobku intenzity laserového paprsku. Podobně, celková intenzita je nulová, jestliže rozdíl  $r_1 - r_2$ , je roven polovině vlnové délky jednoho z paprsků.

## Příklad instalace

Na následujícím obrázku 2.2 je znázorněno, jak je fyzikální zákon popsany vzorcem 2.2 technicky využit v LDV.



2.2 Základní součásti LDV (převzato s [1])

Paprsek helium-neonového laseru je rozdělen hranolem (BS1) na referenční a měřicí paprsek. Po průchodu druhým dělicím hranolem (BS2), je měřicí paprsek zaostřen na vibrující vyšetřovaný objekt, který jej odráží zpět. Takto odražený paprsek je vychýlen hranolem BS2 vlevo k hranolu BS3, kde se spojí s referenčním paprskem a zaměří na detektor.

Optická délka referenčního paprsku  $r_2$  je v čase neměnná,  $r_2 = konst.$  (s přihlédnutím k zanedbatelným tepelným účinkům na interferometr). Pohybující se vyšetřovaný objekt vytváří na detektoru typické interferenční tmavé a světlé vzory (pruhy), jeho optická délka je časově proměnná  $r_1 = r(t)$ . Výskyt interferenčních pruhů se pravidelně opakuje, jeden interferenční cyklus (tmavé a světlé pruhy na detektoru) odpovídá vychýlení měřeného objektu přesně o polovinu vlnové délky měřicího paprsku. V případě helium-neonového laseru (používaného výhradně pro vibrometry) výchylka odpovídá 316 nm.

Časová změna optické délky se projevuje jako Dopplerův frekvenční posuv  $f_D$  měřicího paprsku. To znamená, že modulační frekvence interferenčních pruhů  $f_{mod}$  je přímo úměrná rychlosti  $\hat{v}$  měřeného objektu. Pohyb objektu směrem od interferometru vytváří stejné interferenční vzory (a frekvenční posuv), jako pohyb objektu směrem k interferometru. Aby bylo možné určit, jakým směrem se objekt pohybuje, je do cesty referenčního paprsku umístěn akusticko-optický modulátor (Bragg Cell viz obr.2.2), ten posouvá frekvenci paprsku o  $f_B = 40$  MHz (pro porovnání, frekvence laserového světla je  $4,74 \cdot 10^{14}$  Hz). Tím je způsobeno, že pokud je objekt v klidu, je na detektoru zjištěna modulační frekvence  $f_{mod}$  interferenčních paprsků 40MHz. Pokud se objekt pohybuje směrem k interferometru resp. od interferometru, je tato modulační frekvence snížena resp. zvýšena.

Výchylku objektu lze tedy zjistit z počtu interferenčních cyklů a směr pohybu ze změny modulační frekvence (40 MHz), přidané modulátorem Bragg Cell.

## 2.2 Systém Polytec pro laserové měření vibrací

Na základě uvedených principů (kap. 2.1) mohou LDV přímo měřit výchylku, stejně jako rychlost. Přístroje Polytec počítají světlé a tmavé pruhy interferenčních vzorů, nepřevádějí pouze změřený Dopplerův signál na napětí, úměrné rychlosti. Pomocí vhodných interpolačních technik, jsou vibrometry Polytec schopny dosáhnout rozlišení 2 nm, a za pomoci technik digitální demodulace až desítek pm. Vzhledem ke vztahu 2.3 [1], popisujícímu rychlost  $\hat{v}$ , je pro měření na nižších frekvencích vhodnější demodulovat signál na výchylku (fázová demodulace), pro vyšší frekvence je vhodnější demodulovat rychlost (frekvenční demodulace).

$$\hat{v} = 2\pi \cdot f \cdot \hat{x} \quad (2.3)$$

,kde

$\hat{v}$  – amplituda rychlosti [ $m \cdot s^{-1}$ ]

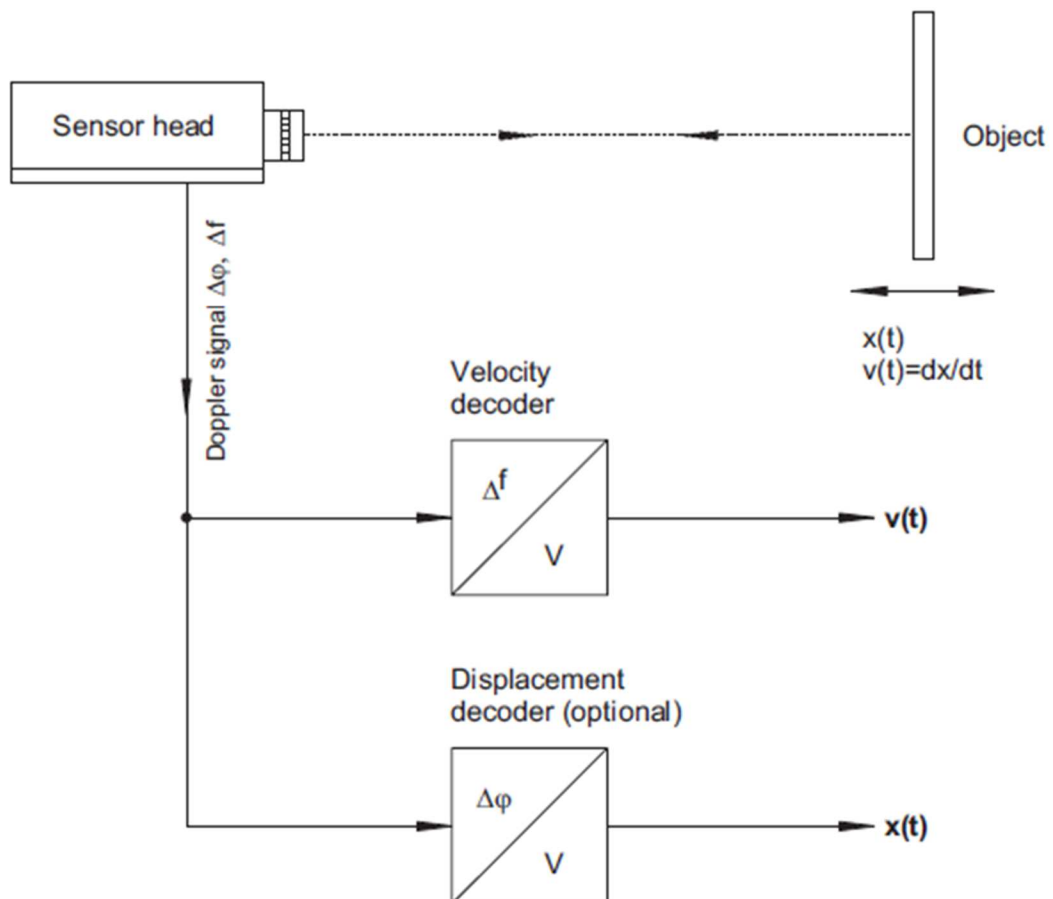
$f$  – frekvence [Hz]

$\hat{x}$  – amplituda výchylky [m]

S rostoucí frekvencí  $f$ , určité vibrace vytvářejí vyšší rychlosti  $\hat{v}$ , při nižších amplitudách výchylky  $\hat{x}$ .

### 2.2.1 Senzorová hlava OFV-505

Snímací hlava tvoří oko celého měřicího systému, její základ tvoří součásti pospané v předchozí podkapitole 2.1, tj. helium neonový laser, jako zdroj světelného paprsku, optická soustava s modulátorem (heterodyn) a detektor odraženého paprsku. Detektor sbírá odražený signál zatížený Dopplerovým jevem (Doppler signal), který je frekvenčně ( $\Delta f$ ) i fázově modulovaný ( $\Delta\varphi$ ), tento signál dále putuje do dekodérů signálu, jak je znázorněno na obrázku 2.3.



2.3 Cesta signálu do vibrometru (převzato z [2])

Dekodéry ze signálu získávají údaje o rychlosti frekvenční demodulací ( $\Delta f/V$ ) a o výchylce fázovou demodulací ( $\Delta\phi/V$ ), výstupem je napětí (V) úměrné požadované veličině. Frekvenci  $f_{mod}$  signálu přicházejícího na detektor a posílaného dále do detektorů lze popsat vztahem 2.4:

$$f_{mod} = f_B + f_D \quad (2.4)$$

,kde

$f_{mod}$  – modulační frekvence detekovaného signálu [Hz]

$f_B$  – frekvence zavedená heterodynem [Hz]

$f_D$  – Dopplerův frekvenční posuv [Hz]

Snímací hlava a její optika je uzpůsobena pro měření paprskem zaměřeným kolmo na povrch na osu vibrace objektu. Pro přesné měření vibrací je potřeba zajistit dostatečnou stabilitu snímací hlavy, aby nedocházelo k zásadnímu ovlivňování měření vibracemi vyskytujícími se v okolí. Proto se hlava upevňuje na stativ, nebo na pevnou a co nejtěžší konstrukci, z tohoto hlediska hraje důležitou roli také hmotnost snímací hlavy, ta je uvedena spolu s dalšími parametry v následující tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 Technické parametry snímací hlavy OFV-505

Pracovní teplota	+5 °C ... +40 °C
Relativní vlhkost	max. 80 %, bez srážení
Rozměry [Š x V x D]	120 mm x 80 mm x 345 mm
Hmotnost	3,4 kg
Způsob ostření	Elektricky řízené vnitřní ostřicí jednotkou
Koherenční maximum	234 mm + n·204 mm; n = 0, 1, 2, 3, ...
Vlnová délka laseru	633 nm
Třída laseru	Class 2 He-Ne laser, < 1 mW, zraku bezpečný

(parametry z [3])

Koncovou část optického systému snímací hlavy tvoří výměnná čočka, nasadí se vhodná, podle vzdálenosti objektu od snímací hlavy (přesněji od kraje čočky). S vhodným typem čočky lze dosáhnout minimální ostřicí vzdálenosti 60 mm a maximální až 300 m. Snímací hlava je propojena s vibrometrem OFV 5000 pomocí kabelu, který zajišťuje přenos signálu do dekodérů a napájení aktivních členů snímací hlavy.

## 2.2.2 Vibrometr OFV-5000 s dekodéry VD-06 a DD-500

Vibrometrické systémy Polytec jsou z podstaty použití navrženy jako modulární systémy, přizpůsobitelné pro určitou aplikaci. Modularity je dosaženo přísným oddělením optické (snímací hlava) a elektrické (vibrometr) části a také vhodným

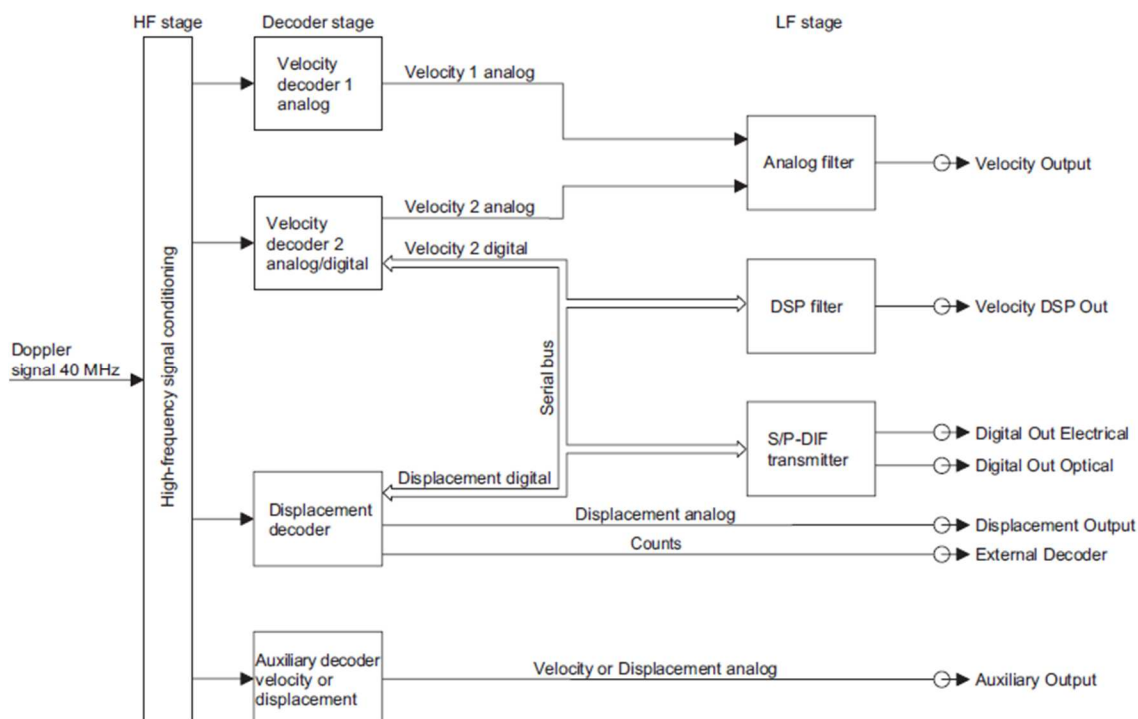
výběrem dekodérů (modulů) podle požadovaných parametrů a přesnosti. Základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 2.2 Tabulka 2.2

Tabulka 2.2 Technické parametry vibrometru OFV-5000

Pracovní teplota	+5 °C ... +40 °C
Relativní vlhkost	max. 80 %, bez srážení
Rozměry [Š x V x D]	450 mm x 360 mm x 150 mm
Napájecí zdroj	100/240 VAC ±10%, 50/60Hz, max. 100 W
Rozhraní	RS-232
Analogové výstupy	Velocity out, Displacement out, DSP out, Auxilliary out
Digitální výstupy	S/PDIF, optický i elektrický
Dekodéry	VD-06, max. 350 kHz, 4 měřicí rozsahy (mm/s/V): 1, 2, 10, 50
	DD-500, 16 bitový DSP decoder, 350 kHz, 16 měřicích rozsahů

(parametry z [1])

Pro měření v rámci této práce byly využity dekodéry VD-06 pro dekodování signálu na rychlost a DD-500 pro dekodování výchylky měřeného objektu. Na obrázku 2.4 je znázorněno schématické zobrazení průchodu signálu vibrometrem OFV-5000.



2.4 Zpracování signálu vibrometrem OFV-5000 (převzato z [2])

Dopplerův signál je nejprve předzpracován ve vysokofrekvenční části (HF stage), následuje dekodovací část (Decoder stage), kde se uplatňují výše zmiňované dekodéry, VD-06 (Velocity decoder 2) a DD-500 (Displacement decoder). Signál je v dekodeřech zpracováván jak do digitální, tak do analogové formy, která jde na rozdíl od digitální rovnou na výstupní konektory vibrometru. V případě digitální formy je signál ještě zpracován v nízkofrekvenční části (LF stage), ze které je pro tuto práci důležitý pouze převodník do formátu standardu S/PDIF (S/PDIF transmitter), z něhož lze signál přenášet elektrickou i optickou cestou.

### Dekodér signálu na rychlost VD-06

Výstupní analogový signál z tohoto dekodéru je veden přes vypínatelné vysokofrekvenční a nízkofrekvenční filtry, pomocí kterých lze limitovat šířku pásma a potlačovat šum, do výstupních konektorů na čelním panelu, kde je reprezentován jako analogový napěťový signál.

Výstupní digitální signály (data) z tohoto dekodéru jsou posílány na vnitřní sériovou sběrnici vibrometru. Odtud mohou být dále zpracovány digitálním DSP filtrem (volitelně přítomným v systému) s výstupem na čelní panel, nebo přímo kódovány S/PDIF převodníkem do datového toku, který je přístupný na zadním panelu vibrometru přes elektrický i optický výstup ve formátu S/PDIF. Z těchto výstupů mohou být data dále předány do vhodného systému pro zpracování signálů.

Přesnost měření s touto kartou se odvíjí od velikosti rozlišení na jednotlivých rozsazích, viz tabulka 2.3.

Tabulka 2.3a Měřicí rozsahy dekodéru VD-06 a jejich parametry (převzato z [1])

Measurement range	1	2 (LP)	2	$\frac{mm}{s}/V$
Full scale (peak)	0,01	0,02	0,02	m/s
Frequency range				
$f_{min}$	0	0	0	Hz
$f_{max}$	20	100	350	kHz
Max. acceleration	128	1280	4500	g
Frequency response <sup>1</sup>				
0.05Hz... 14kHz	±0,05	-	-	dB
14 kHz... 20 kHz	+0.05/-1	-	-	dB
0.05Hz... 50kHz	-	±0,05	-	dB
50kHz... 100kHz	-	+0.05/-1	-	dB
0.05Hz... 250kHz	-	-	±0,05	dB
250 kHz... 300 kHz	-	-	+0.05/-0.4	dB
300kHz... 350kHz	-	-	+0.05/-1.5	dB
Resolution <sup>2</sup>				
frequency-dependent <sup>3</sup>	<0,02	0.01... 0.04	0.01... 0.1	$\frac{\mu m}{s}/\sqrt{Hz}$
typically <sup>4</sup>	0,01	0,02	0,05	$\frac{\mu m}{s}/\sqrt{Hz}$

Tabulka 2.3b Měřicí rozsahy dekodéru VD-06 a jejich parametry (převzato z [1])

Measurement range	10 (LP)	10	50 (LP)	50	$\frac{mm}{s}/V$
Full scale (peak)	0,1	0,1	0,5	0,5	m/s
Frequency range					
$f_{min}$	0	0	0	0	Hz
$f_{max}$	100	350	100	350	kHz
Max. acceleration	6400	22000	32000	110000	g
Frequency response <sup>1</sup>					
0.05Hz... 14kHz	-	-	-	-	dB
14kHz... 20kHz	-	-	-	-	dB
0.05Hz... 50kHz	±0,05	-	±0,05	-	dB
50kHz... 100kHz	+0.05/-1	-	+0.05/-1	-	dB
0.05Hz... 250kHz	-	±0,05	-	±0,05	dB
250kHz... 300kHz	-	+0.05/-0.3	-	+0.05/-0.1	dB
300kHz... 350kHz	-	+0.05/-1	-	+0.05/-1	dB
Resolution <sup>2</sup>					
frequency-dependent <sup>3</sup>	0.01...0.04	0.01...0.1	0.04...0.2	0.04...0.2	$\frac{\mu m}{s}/\sqrt{Hz}$
typically <sup>4</sup>	0,02	0,05	0,05	0,06	$\frac{\mu m}{s}/\sqrt{Hz}$

Z tabulky 2.3 je patrné, že nejvyššího rozlišení (Resolution), lze dosáhnout pro nejmenší měřicí rozsah (Measurement range), avšak pouze při nižším frekvenčním rozsahu (Frequency range) 0 až 20 kHz. Hodnoty rozlišení jsou uváděny dvojího typu, frekvenčně závislé (frequency dependent) a typické (typically). Frekvenčně závislé hodnoty jsou změřeny v uváděném frekvenčním rozsahu od 10 Hz po horní frekvenci  $f_{max}$ . Typické hodnoty jsou uvedeny vždy pro střední frekvenci uváděného operačního frekvenčního pásma. Rozlišení je měřeno jako amplituda (rms) na spektru šumového signálu (pro který je odstup signál-šum 0 dB) o spektrálním rozlišení 1 Hz a pro lepší odrazivost laserového paprsku je na měřený objekt nalepena speciální reflexní páska 3M Scotchlite Tape [1].

### Dekodér signálu na výchylku DD-500

Pro svou činnost dekodování signálu na výchylku využívá DSP dekodér s vysokým rozlišením. DSP dekodér Dopplerův signál nejprve navzorkuje do formy, kterou je schopen efektivně digitálně zpracovat a poté signál opět převede do analogové formy. Na vstupu a výstupu DSP dekodéru jsou tudíž potřeba A/D a D/A převodníky. Digitálním zpracováním je průběžně z fázové modulace Dopplerova signálu počítána výchylka. Na rozdíl od ostatních dekodérů firmy Polytec fungujících na bázi počítání světlých a tmavých interferenčních pruhů Dopplerova signálu, potřebuje tento pro svou činnost přítomnost výše uvedeného dekodéru VD-06 ve vibrometru, ten poskytuje vstupní digitální datový tok pro DSP dekodér. Vstupní datový tok je tedy určen dekodérem VD-06, proto je vždy potřeba brát v úvahu jeho nastavení i při měření výchylky. Dekodér DD-500 zpracovává vstupní data v 16 různých měřicích rozsazích,

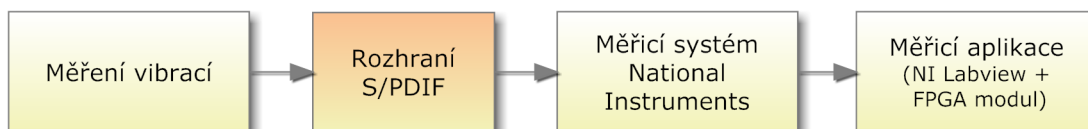
jež jsou uvedeny v tabulce 2.4. Výchylkový signál je poté k dispozici jak na čelním panelu v analogové formě, tak na zadním panelu jako digitální signál (informace o výchylce na jednom kanálu a informace o rychlosti ve druhém kanálu signálu S/PDIF).

*Tabulka 2.4 Měřicí rozsahy dekodéru DD-500 a jejich parametry (převzato z [1])*

Measurement range $\mu\text{m}/\text{V}$	Full scale <sup>1</sup> (peak-to-peak) $\mu\text{m}$	Resolution <sup>2</sup> (rounded) nm	Frequency range <sup>3</sup> kHz
0,05	1	0,015	0...350
0,1	2	0,03	0...350
0,2	4	0,06	0...350
0,5	10	0,15	0...350
1	20	0,3	0...350
2	40	0,6	0...350
5	100	1,5	0...350
10	200	3	0...350
20	400	6	0...350
50	1000	15	0...350
100	2000	30	0...350
200	4000	60	0...350
500	10000	150	0...350
1000	20000	300	0...350
2000	40000	600	0...350
5000	100000	1500	0...350

Pro využití celého amplitudového a frekvenčního rozsahu dekodéru DD-500 je potřeba nastavit měřicí rozsah dekodéru VD-06 na nejvyšší hodnotu 50 mm/s/V s šířkou pásma 350 kHz, ten (jak již bylo zmíněno výše) totiž poskytuje dekodéru DD-500 vstupní signál. Limit pro amplitudu vstupního signálu činí  $\pm 10\text{V}$ , to odpovídá maximální změřitelné hodnotě výchylky  $\pm 50\text{ mm}$  (100 mm peak-to-peak).

### 3. STANDARD PŘENOSU DAT S/PDIF



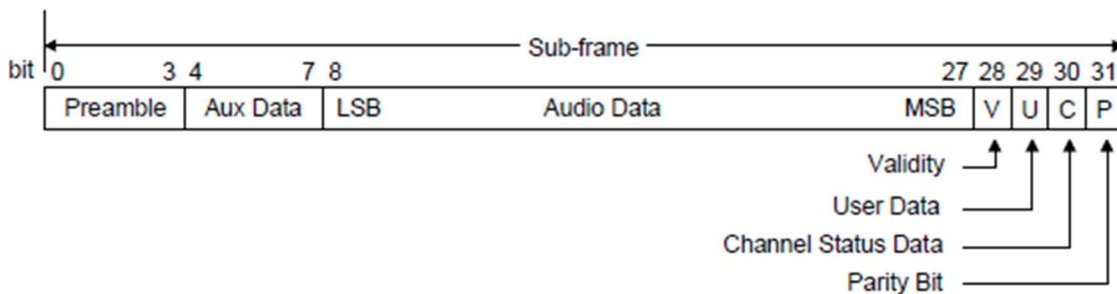
Protokol S/PDIF je standard pro přenos digitálního audio signálu, publikován mezinárodní elektrotechnickou komisí v normě IEC958, která definuje profesionální mód přenosu dat (AES) a spotřební mód přenosu dat (S/PDIF). Tyto dva módy jsou mezi sebou při úpravě napětí rozhraní mezi sebou kompatibilní (přesný popis rozhraní v [4]). V případě názvu S/PDIF se jedná o zkratku Sony Phillips Digital Audio Interface, nesoucí název dvou společností podílejících se na jeho vývinu. Tento formát byl vytvořen v 80. letech s příchodem CD přehrávačů, zjistilo se, že je mnohem výhodnější používat pro přenos informace audio signálu digitální cestu, která je méně náchylná k rušení a výhodnější pro proces zpracování audio dat.

Fyzicky se signál S/PDIF mezi přístroji přenáší buď koaxiálním kabelem  $75 \Omega$  (amplituda signálu 0,5 až 1 V), nebo optickým kabelem standardu Toslink. U profesionálních přístrojů se používá kroucená dvoulinka  $110 \Omega$  a amplituda signálu 3 - 10 V. [4]

V následujícím textu je ve dvou podkapitolách postupně popsána struktura a rozčlenění dat standardu S/PDIF, přiblížen způsob kódování a principy detekce signálu.

#### 3.1 Rozdělení dat v protokolu S/PDIF

Jeden vzorek signálu je přenášen ve struktuře (paketu) označované jako sub-frame (pod-rámeček). Rozčlenění 32bitového sub-ramku je znázorněno na obrázku 3.1.



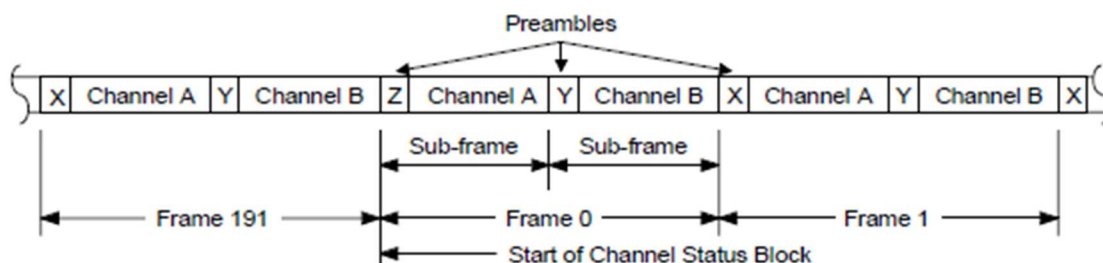
3.1 Sub-frame (pod-rámeček) formátu S/PDIF [5]

První čtyři bity jsou rezervovány pro hlavičku (Preamble). Ta identifikuje začátek sub-frame a slouží především k synchronizaci dekodéru signálu.

Následuje 24 bitů dat, která představují přenášený vzorek signálu. V případě, že je informace o vzorku větší než 20 bitů, je informace rozdělena přes bity 4 - 27 (Aux Data + Audio Data). Pokud je přenášený signál 20 bitů, nebo menší, je přenášen na bitech 8 - 27 (Audio Data) a pole Aux Data může být použito pro jiné účely. Data jsou přenášena od nejméně významného (LSB) po nejvýznamnější (MSB) bit (např. při 16bitovém signálu jsou nejméně významné bity nulové).

Poslední 4 bity slouží pro kontrolu chyb a doplňkovou informaci o signálu. Jsou to: bit platnosti (Validity Bit), bit uživatelských dat (User Data), bit informací o signálu (Channel Status Data) a paritní bit (Parity Bit). Pokud je Validity Bit nulový, je vzorek signálu vhodný pro konverzi na analogový signál. Parity Bit představuje sudou paritu a lze pomocí něj zjistit počet špatně přenesených bitů v sub-frame. Bity uživatelských dat (User Data) a informací o signálu (Channel Status Data) jsou nastavovány při každém vzorku a při kontinuálním sbírání přes celý blok, tvoří komplexní informaci. Bit User Data není protokolem definován a uživatel jej může využít k jakémukoliv účelu. Naopak bity Channel Status Data, naakumulované za celý blok nesou podstatnou informaci o datech a přenosu. Pro každý ze dvou kanálů se sbírají bity Channel Status Data samostatně a tvoří blokovou strukturu, která se opakuje každých 192 vzorků.

Jak je zobrazeno na obr. 3.2, po sobě jdoucí sub-frame levého (Channel A) a pravého (Channel B) kanálu tvoří jeden frame (rámeček). Ty jsou dále organizovány do bloku po 192 frame.



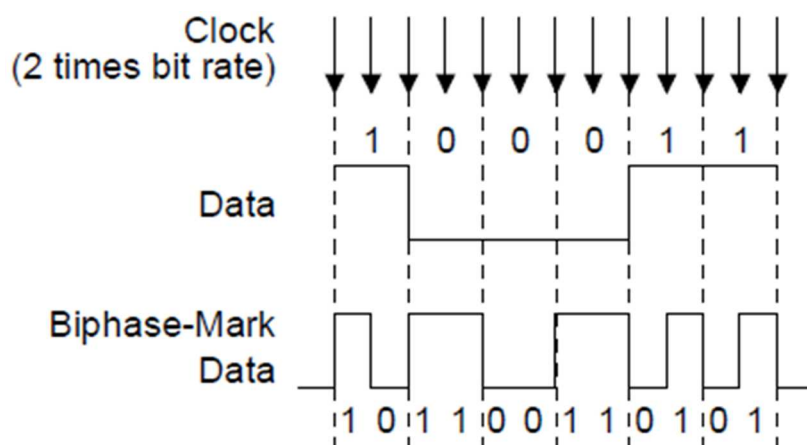
### 3.2 Skládání rámců (frame) a pod-rámců (sub-frame) do bloku formátu S/PDIF [5]

V jednom bloku lze tedy kromě audiosignálu levého a pravého kanálu přenést ještě 2 x 192 bitů uživatelských dat (User Data) a 2 x 192 bitů informací o kanálu (Channel Status). Blok může být ve dvou formátech, uživatelském a profesionálním. Informaci o typu formátu nese první bit bloku Channel Status, 0 značí uživatelský a 1 profesionální formát. V profesionálním módu se využívá všech 192 bitů, ve spotřebním módu se však z channel status využívá pouze prvních 32 bitů. Jsou zde především informace, zda se

jedná o audiosignál nebo komprimovaná data, zda je signál originál nebo kopie a při vícekanálovém přenosu číslo kanálu.

## 3.2 Modulace dat a druhy hlaviček

Data jsou převáděny pomocí dvoufázové modulace (Biphase-mark coding) viz obr. 3.3, využívající pro kódování hodinový signál dvakrát rychlejší, než je rychlost datového toku. Pokud se úroveň signálu nezmění během dvou taktů hodinového signálu (clock), jsou přenášená data chápána jako log. 0, v opačném případě jako log. 1. Výhodou tohoto způsobu modulace je minimalizace stejnosměrné složky střídavého signálu (přístroje lze pak snadno oddělit transformátorem), nezávislost na polaritě a možnost obnovení hodinového signálu (clock) z modulovaných dat.



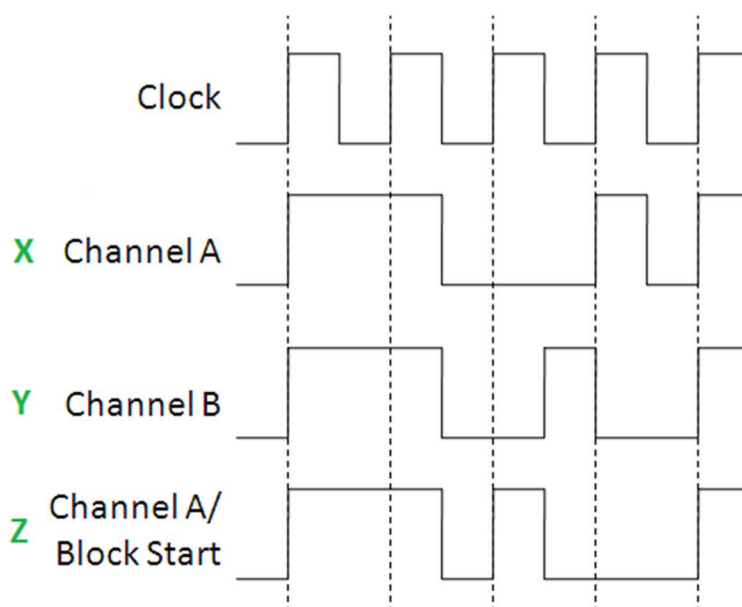
### 3.3 Schéma dvoufázového kódování [5]

Rychlost datového toku S/PDIF je nastavena tak, aby odpovídala rychlosti vzorkování audio signálu, tím je zajištěno vytvoření kontinuálního datového toku, bez mezer mezi jednotlivými pod-rámcí (sub-frame), rámcí (frame), nebo bloky (blocks). Například pro audio signál o vzorkovací frekvenci 48 kHz (běžný v mnoha aplikacích), vychází rychlost datového toku 3,072 MHz (Mbps) a rychlost hodinového signálu 6,144 MHz (Mbps). To odpovídá délce trvání nulového bitu ~326 ns, zatímco jedničkový bit se skládá ze dvou střídajících se stavů o ~163 ns.

Přijímač digitálního datového signálu musí být schopen synchronizace s datovou strukturou tvořenou vysílačem, aby mohl přijímaný signál správně přečíst a dekodovat. Proto je potřeba, aby přijímač dokázal identifikovat začátek každého paketu datové struktury. Protokol S/PDIF, využívající dvoufázového kódování, posílá kontinuální datový tok i pokud na úrovni dat neobsahuje žádnou informaci (není zdroj signálu,

audio nehraje), jednoduše jsou vysílány jen nuly. Neexistuje tedy žádný idle status jak je tomu u jiných komunikačních protokolů. Aby bylo možné přijímací zařízení synchronizovat se zdrojem signálu a identifikovat začátek jednotlivých datových paketů, vkládají se na straně vysílače, protokolem definované speciální značky. Takovému typu značek se říká hlavička (preamble).

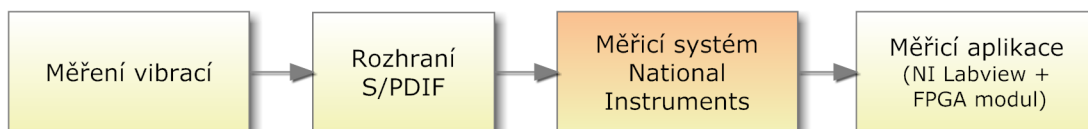
Každý sub-frame začíná 4bitovou hlavičkou, to jej umožňuje přijímači rozeznat a určit o jaký kanál se jedná. Protokol definuje tři různé typy hlaviček. Pro odlišení hlaviček od ostatních datových vzorů, je v jejich případě dvakrát porušen princip dvoufázového kódování. Na obr. 3.3 je každá bitová hranice naznačena čárkovanou čarou, značící přechod bitového stavu dvoufázových dat. Každá z hlaviček, zobrazených na obr. 3.4 má dvě bitové hranice bez přechodu bitového stavu. Tento způsob odlišení umožňuje přijímači rozeznat tyto data jako hlavičku.



3.4 Schéma hlaviček jednotlivých kanálů formátu S/PDIF (podle [5])

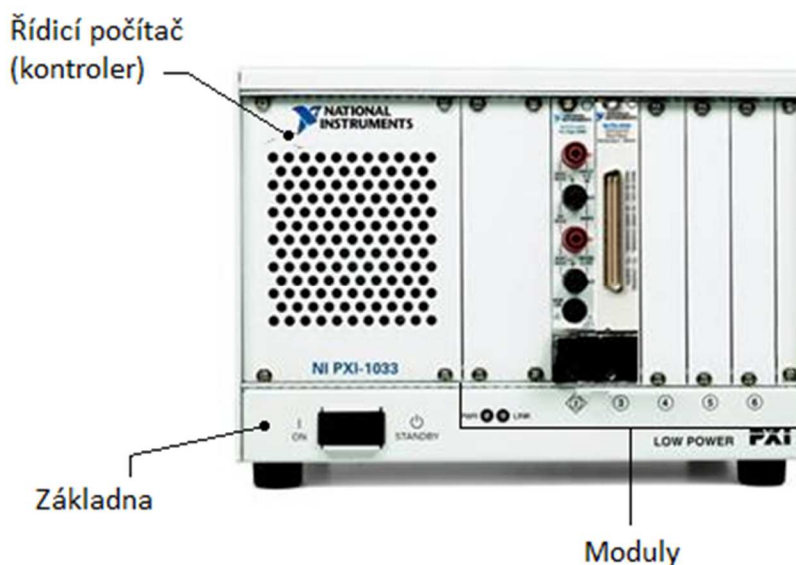
Jelikož kódovací schéma dovoluje ukončení datového paketu oběma logickými úrovněmi, hlavička může také začínat těmito dvěma úrovněmi. Lze tedy konstatovat, že počáteční dlouhý puls hlavičky, nemusí vždy začínat v logické 1 jak je na obrázku 3.4, ale může být i v logické 0, tzn., že pro správnou detekci hlaviček musí přijímač hledat počáteční dlouhý puls v obou logických úrovních.

## 4. MĚŘICÍ SYSTÉM NI PXI



V kapitole 4. je uvedena základní charakteristika a stručný popis základny měřicího systému s řídicím počítačem PXI-1033, který sbírá data ze dvou měřicích karet, modulu hradlového pole PXI-7811R a analogové měřicí karty PXI-4462, jejichž popisu jsou věnovány samostatné podkapitoly.

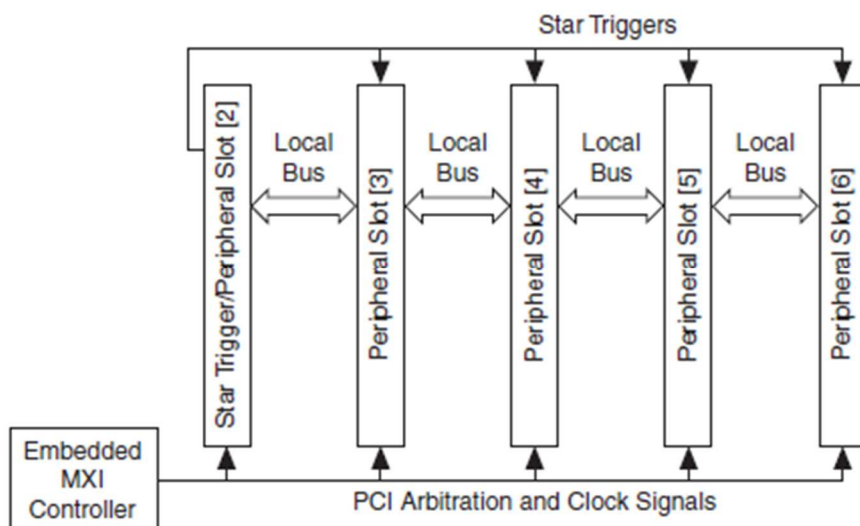
Systém PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) byl navržen pro měření a automatizační aplikace, které vyžadují vysoký výkon v odolném provedení, které dovede tento systém chránit proti mnoha externím vlivům. Využití systému je proto mířeno do oblasti průmyslu, kde by například stejně výkonné PC nemohlo pracovat. Jedná se tedy o jakýsi průmyslový počítač se sběrnici PCI (případně PCI Express), do kterého se vkládají měřicí a řídicí karty.



4.1 Systém PXI-1033 (převzato s [6], doplněno o text)

Systém PXI-1033 patří mezi jednodušší systémy pro využití např. v laboratoři. U tohoto systému je kontroler přímo součástí základny a není možné na základnu připojit a využít jiný, jak je tomu u větších systémů PXI (využívaných např. pro průmyslové aplikace). Kontroler systému PXI-1033 je tedy spíše koncipován jako můstek pro kompatibilní propojení měřicích karet s PC, než jako výkonný řídicí počítač.

Systémy PXI jsou tedy obecně tvořeny základnou s řídicím počítačem (dále jen kontroler) a na ně připojenými měřicími kartami. Základna představuje mechanickou část a propojovací konektory, obsahuje také napájecí zdroj pro připojené karty i řídicí počítač. Počítá se s dostatečnou modularitou systému pro velkou škálu aplikací, z toho důvodu existuje rozdělení měřicího systému na základnu, řídicí počítač a připojitelné moduly. Zařízení je navrženo jako co nejvíce deterministické, pro použití v realtime měřicích aplikacích. Na obrázku 4.1 je zobrazen systém PXI-1033 s označením základních částí. Vnitřní propojení měřicího systému PXI je poté na obrázku 4.2.



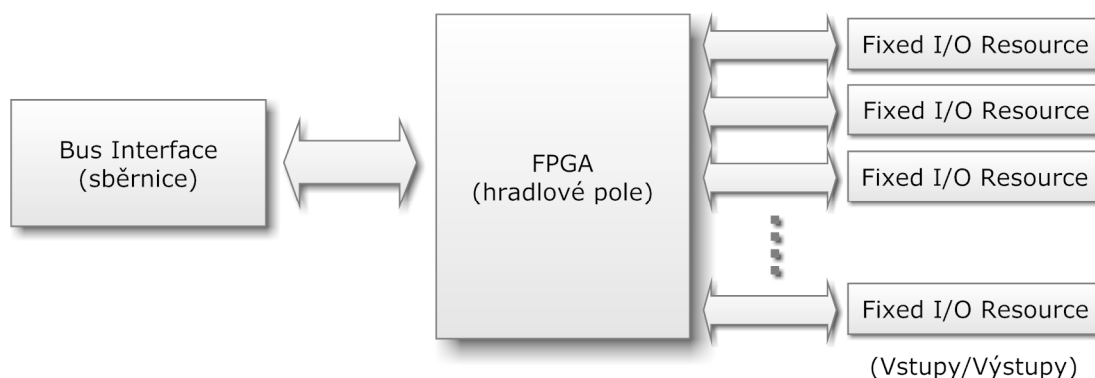
#### 4.2 Vnitřní propojení slotů na datové a řídicí úrovni [7]

Řídicí počítač (MXI controller) ovládá moduly vložené ve slotech řízením PCI sběrnice a poskytuje hodinový signál 10 MHz. Ke vzdálenému řízení z PC se používá rozhraní MXI, připojeným k počítači pomocí Expresscard slotu (notebook), nebo PCI Express kartou (desktop). Systém obsahuje pět slotů, z nichž může být slot 2 použit jako spouštěcí, resp. Může ovládat spouštění ostatních modulů ve slotech a tím synchronizovat provádění operací v jednotlivých modulech (Star Triggers). Propojení jednotlivých slotů mezi sebou zajišťuje 13 žilová sběrnice Local Bus, která kromě propojení na digitální TTL úrovni, může i mezi připojenými kartami přenášet analogové signály až amplitudě 42V. Sloty jsou propojeny stylem tzv. zřetězení (či zřetězeného zapojení) v angličtině označovaném jako daisy-chained [7], kdy si data mezi sebou

vyměňují v určitém okamžiku pouze dva zúčastněné moduly, ostatní moduly mají v té chvíli zákaz komunikace.

## 4.1 Modul hradlového pole PXI-7811R

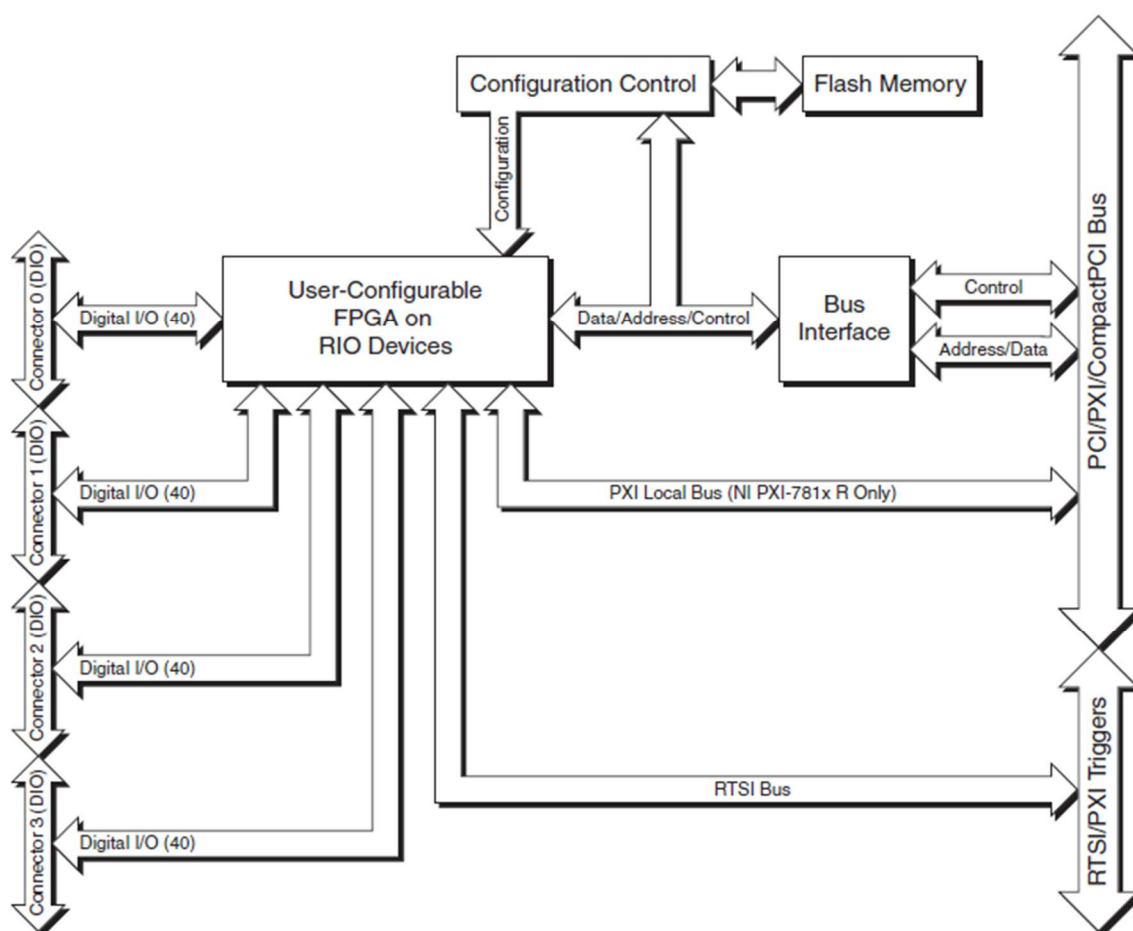
Tato karta patří do skupiny výrobků National Instruments využívajících technologii RIO (reconfigurable I/O), která umožňuje definovat vlastní měřicí hardware, použitelný pro sběr dat i realtime aplikace. Modul je pro správnou funkci zapojen na Slot 2 (viz obr. 4.2) systému PXI 1033. Jeho základem je programovatelné hradlové pole (FPGA) Xilinx Virtex-II XC2V1000, které obsahuje milion hradel programovatelných pomocí LabVIEW FPGA modulu (více o způsobu programování v FPGA v kapitole 5.1). Pro názornou představu ukazuje obrázek 4.3, jak je FPGA propojeno na jedné straně se vstupně-výstupní částí a na straně druhé se sběrnici systému PXI, kompatibilní s PCI/PCIe. Tak vzniká široce přizpůsobitelné zařízení, využitelné pro velkou škálu aplikací.



### 4.3 Zjednodušená funkční struktura PXI-7811R (podle [8])

Zařízení obsahuje 160 obousměrných linek DI/O, rozdělených do čtyř konektorů po 40 DI/O (viz Příloha B) které mohou být pomocí FPGA nastaveny jako vstupy, výstupy, čítače, či jakákoli uživatelem definovaná logika až do řídicí frekvence 40 MHz, což představuje rozlišení 25ns (minimální šířka pulzu 12,5 ns). Vnější propojení s DI/O se provádí pomocí 68 žilového stíněného kabelu s 34 kroucenými páry, který uvádí DI/O 0 – 27, jako párované s napájením (power), či zemí (ground) a DI/O 28 – 39, jako párované mezi sebou. Z toho důvodu je výhodnější pro přenos digitálních signálů s vyšší frekvencí a rozlišením, využít DI/O 0 – 27. Pomocí tohoto kabelu je připojen konektorový blok, dodávaný spolu s kartou PXI-7811R, který umožňuje univerzální přístup k jednotlivým pinům konektoru. Je třeba zkontrolovat, aby nebyl překročen vstupní napěťový rozsah zařízení, který činí 0 – 5V. [8]

Blokové schéma modulu je zobrazeno na obr. 4.4 Blokové schéma PXI-7811R [8], na němž je dobře patrné jak konfigurovatelné FPGA propojeno se vstupně-výstupní konektory DI/O, řídicí částí a sběrnicí. Blok Configuration Control se stará o přeprogramování FPGA na požadovanou aplikaci, podle kódu který mu byl předán. Při své činnosti může využít 80 kB paměť Flash Memory. Synchronizaci a předávání dat s vnější sběrnicí symbolizuje blok Bus Inteface, jež slouží především pro konfiguraci FPGA. Na sběrnici poté může nakonfigurované FPGA přistupovat již přímo, a to jak na PXI sběrnici (PXI Local Bus), tak na synchronizační sběrnici (RTSI Bus).



4.4 Blokové schéma PXI-7811R [8]

Karta PXI-7811R byla využita na dekódování vstupního signálu formátu S/PDIF, připojeného na Connector 0, pin DI/O 25 (viz Příloha B). Karta je propojena pomocí systému PXI-1033 s počítačem, kde je nainstalován LabVIEW s FPGA modulem, pod kterým běží řídicí aplikace pro sběr a zpracování dat.

## 4.2 Modul analogové měřicí karty PXI-4462

Tato karta je učená pro přesné měření a sběr dat pomocí systému PXI, speciálně navržena pro měření zvuku a vibrací. Díky velkému dynamickému rozsahu, při zachování nízké úrovně vlastního šumu a zkreslení je vhodná pro různá frekvenční měření. Její základní parametry jsou shrnuty v tabulce Tabulka 4.1 4.1. Na čelním panelu karty jsou umístěny 4 analogové vstupy, reprezentovány konektory BNC. Pro složitější signálové operace, lze vnitřní hodiny PXI-4462 synchronizovat s ostatními zařízeními v PXI systému.

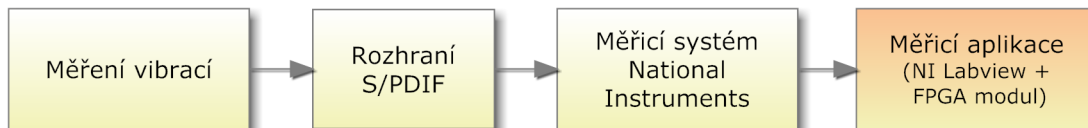
*Tabulka 4.1 Parametry měřicí karty PXI-4462*

Počet vstupů	4
Dynamický rozsah	118 dB
Rozlišení	24 bitů
Rychlost vzorkování	204,8 kS/s
Max. napěťový rozsah	$\pm 42,4$ V, při citlivosti 5,05 $\mu$ V
Min. napěťový rozsah	$\pm 316$ mV, při citlivosti 37,7 nV
Počet rozsahů	6
Vlastní paměť	2047 vzorků
Typ vstupních konektorů	BNC

(Parametry z [9])

Karta PXI-4462 byla využita pro sběr analogového signálu z interferometru OFV-5000. Požadovaný výstup z interferometru byl stíněným BNC kabelem přímo propojen s PXI-4462. Data z PXI-4462 poté byla sbírána pomocí měřicí aplikace v prostředí LabVIEW.

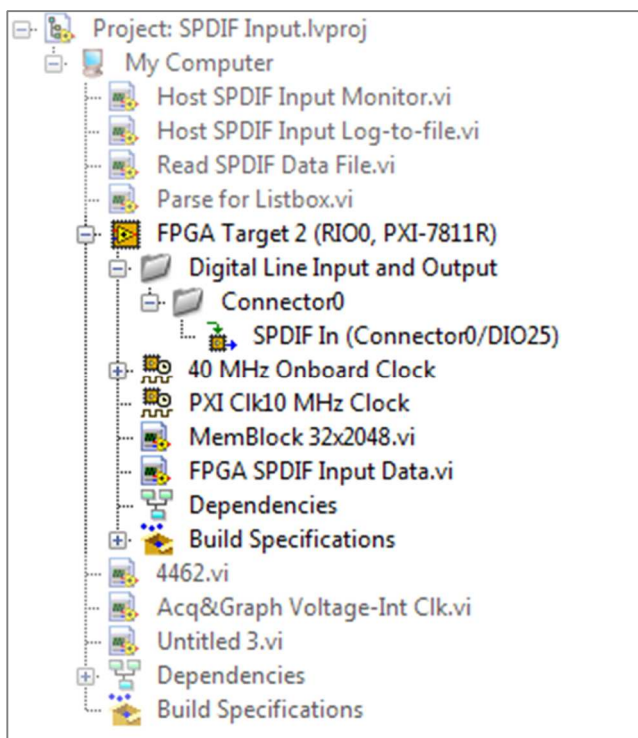
## 5. MĚŘICÍ APLIKACE



### 5.1 Prostředí LabVIEW s FPGA modulem

V prostředí LabVIEW se program tvoří pomocí funkčních bloků, které mají předdefinovanou funkci, ke které jsou určeny, neboli slouží určitému účelu. Jednotlivé bloky se mezi sebou propojují a vytvářejí tak strukturu programu. Tvorba celé aplikace v prostředí LabVIEW probíhá plně graficky, jedná se o tzv. grafický programovací jazyk. Nejprve se vytvoří řídicí panel, na který se vkládají řídicí objekty, jako spuštění či zastavení aplikace, zobrazovač sledované veličiny, pole pro zadání vstupních hodnot atd. Poté se přejde na tvorbu blokového schématu jednotlivých funkčních bloků. Správné pospojování funkčních bloků tak tvoří výsledný program tzv. virtuální přístroj (VI). Tvorba programu je rychlá a názorná, vytvořené blokové schéma se podobá vývojovému diagramu. Programátor takto může lehce kontrolovat a rychle upravovat danou aplikaci.

FPGA modul, je rozšíření vývojového prostředí LabVIEW o možnost programovat hradlová pole FPGA, pomocí blokového schématu (diagramu). Modul umožňuje překlad vytvořeného blokového diagramu do jazyka potřebného pro komunikaci s FPGA hardware, takto je možno využít FPGA i bez programování v některém z HDL. Uživateli je tak nabídnuta možnost vytvořit hardware přesně podle požadavků konkrétní aplikace a v případě potřeby jej jednoduše změnit, změnou v blokovém diagramu. Na obrázku 5.1 je ukázáno jakým způsobem se FPGA zařízení zobrazuje při práci v LabVIEW, v projektu je vytvořena přímo záložka s označením FPGA a veškeré VI, zařazené pod touto záložkou jsou překládány do FPGA. Pod záložkou lze také jednoduše nastavit, který pin vybraného konektoru bude použit pro sběr dat.



5.1 FPGA modul v prostředí LabVIEW

Velkou předností celého prostředí je univerzální použití pro téměř jakoukoli aplikaci (kde je omezení dáno jen hardwarovými prostředky) a také využití grafického programování, jež dává uživateli možnost vytvořit aplikace pro dané zařízení i bez jinak nutné znalosti programovacího jazyka, potřebného pro vytvoření zdrojového kódu.

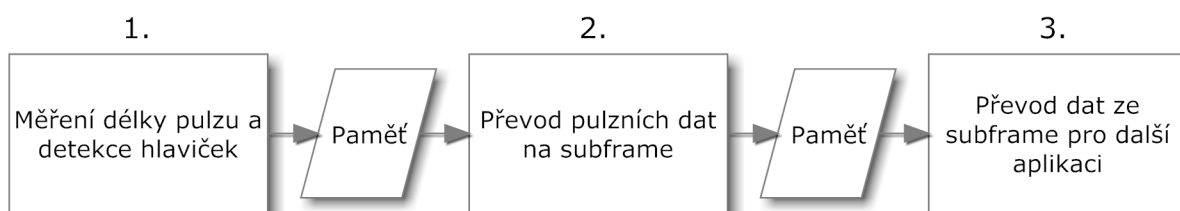
Měřicí aplikace byla vytvořena na základě volně přístupného ukázkového programu tzv. example, přístupného z [10] a upravena a doplněna pro potřebné účely měření.

## 5.2 Dekódování signálu S/PDIF

Aplikace pro dekodování signálu S/PDIF tvoří základní část měřicí aplikace, starající se o rozkódování signálu S/PDIF z dvoufázové modulace a rozdělení zjištěných dat do sub-frame a zpřístupnění takto upravených dat pro další VI (tzv. hostující aplikaci). Aplikace pro dekodování signálu využívá bloky z LabVIEW FPGA modulu, které jsou určeny přímo pro práci s FPGA. Před spuštěním se překládá a nahrává do FPGA, kde v průběhu měření běží a zprostředkovává dekodovaná data pro zpracování. V projektu je tato aplikace nazvána FPGA SPDIF Input Data.vi a její umístění je vidět na obrázku 5.1.

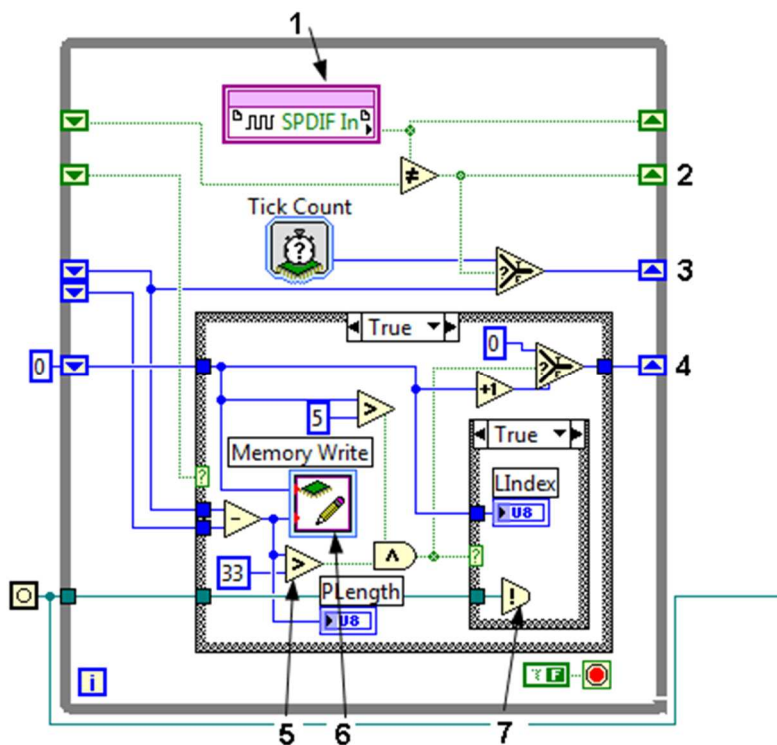
Nejprve je potřeba načíst hodnoty signálu S/PDIF přicházejícího na DI/O modulu PXI-7811R, jelikož se jedná o dvoufázově kódovaný signál, nestačí pouze vyčíst napěťovou úroveň (0 nebo 1), ale je nutné změřit, jak dlouho stav trvá, neboli změřit

šířku pulzu. Z takto naměřené informace již lze zjistit dvoufázový signál, převést jej na potřebná data a rozdělit do jednotlivých sub-frame, poté stačí jen data zprostředkovat pro sběr další aplikací. Aplikace pro sběr dat je proto rozdělena do tří částí (viz obr. 5.2) blokového diagramu, kdy každá část běží ve vlastní smyčce a data jsou mezi nimi předávána pomocí paměti definované v FPGA. Jednotlivé smyčky programu běží stejnou rychlostí jako vnitřní hodiny FPGA, ve kterém je program nahrán, které jsou v tomto případě nastaveny na 80 MHz, což představuje dostatečnou frekvenci pro správnou detekci vstupního 48 kHz signálu S/PDIF.



### 5.2 Rozdělení aplikace pro dekódování signálu S/PDIF

První část aplikace (na obrázku 5.3) průběžně snímá signál z vybraného pinu vstupního konektoru měřicí karty PXI-7811 (1) a čeká na změnu stavu signálu (nízká nebo vysoká napěťová úroveň). Pokaždé když se stav signálu změní (hrana pulzu), je tato změna registrována (2) spolu se zaznamenáním času detekce (3).



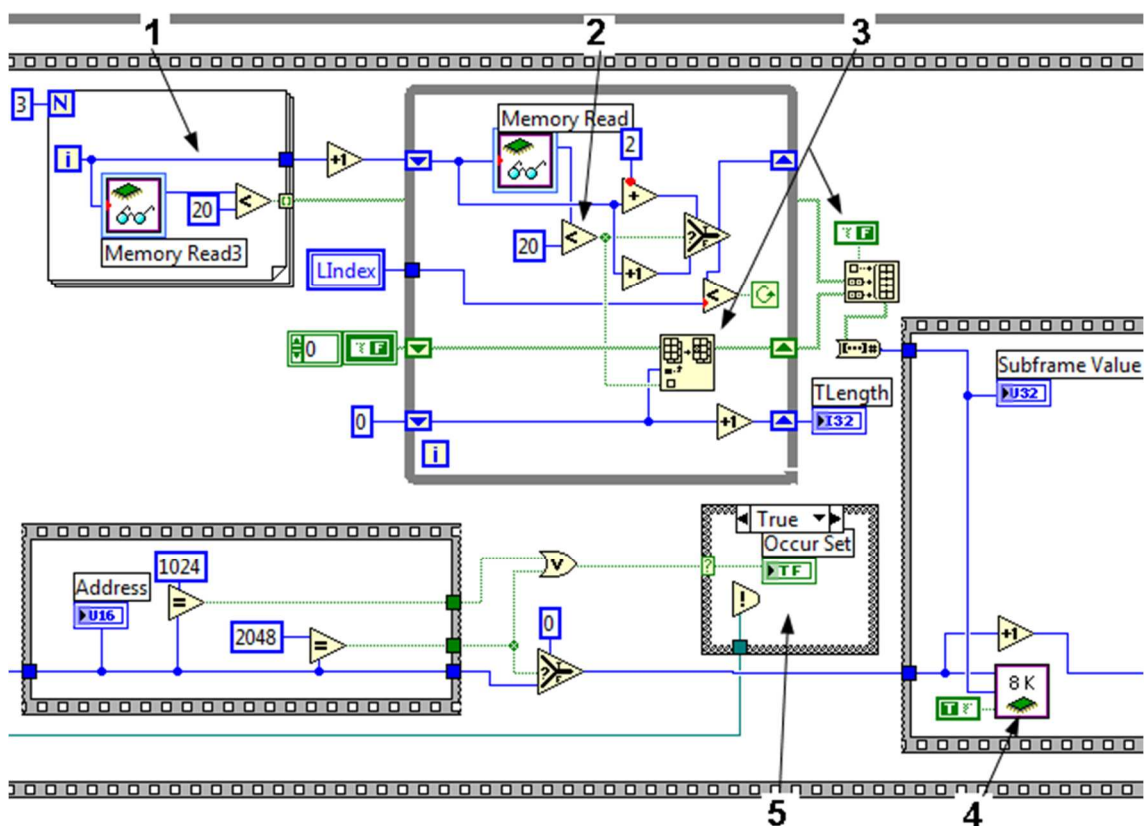
### 5.3 Měření délky pulzu a detekce hlaviček

Délka pulzu se zjišťuje tak, že jakmile je detekována další hrana pulzu, jednotlivé zaznamenané časy se odečtou a pod určeným indexem (4) uloží do paměti (6). Pro správnou synchronizaci se signálem S/PDIF tato část aplikace hledá dlouhé počáteční pulzy, představující hlavičku sub-frame (5). Zjišťuje se, zda délka pulzu vypočtená odečtem časů vnitřních hodin je větší než 33, to odpovídá hodnotě 412,5 ns, pro vnitřní hodiny FPGA, nastavené na 80 MHz. Pro 48 KHz vstupní signál S/PDIF jsou délky pulzů jednotlivých bitů a hlavičky uvedeny v následující tabulce 5.1. Délka pulzu větší než 412,5 ns, tedy znamená, že se jedná o hlavičku sub-frame signálu S/PDIF.

Tabulka 5.1 Délky pulzů 48 kHz signálu S/PDIF

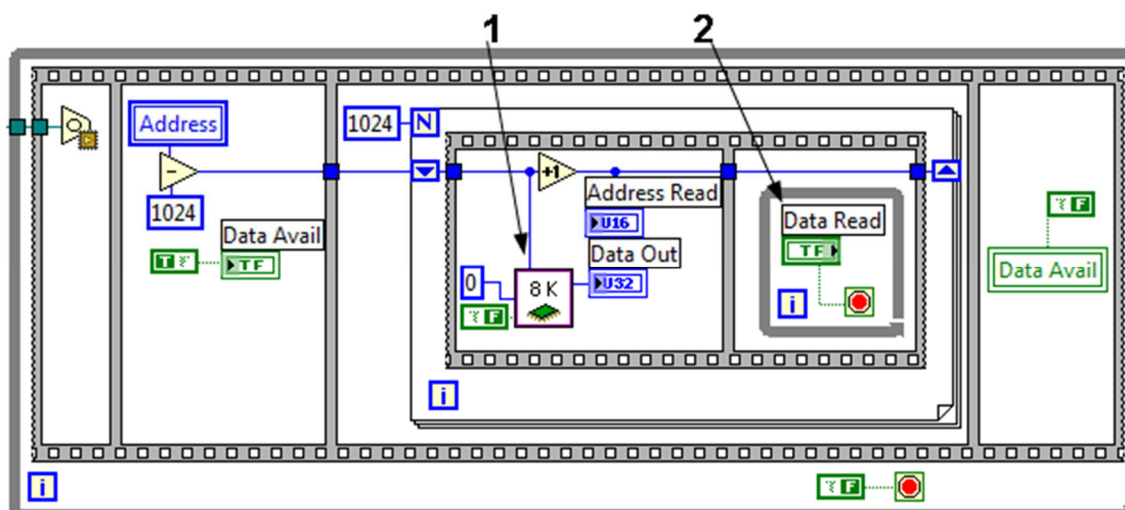
48 kHz – 3,072 Mbps	
OFF bit	~326 ns
ON bit	2x ~ 163 ns
Hlavička	~489 ns

Jakmile je detekován dlouhý počáteční puls nového sub-frame, je vyslána zpráva (7) pro druhou část aplikace (na obrázku 5.4), že délky pulzů z předchozího sub-frame jsou v paměti připraveny pro zpracování.



5.4 Převod pulzních dat na sub-frame

Druhá část aplikace (na obrázku 5.4) načítá délky pulzů z paměti (Memory Read) a převádí je na jednotlivé bity. Nejprve se převádí hlavička (1) a poté data, jednotlivé bity jsou rozeznávány porovnáním délky pulzu s 20 (2), což představuje 250 ns (pro FPGA běžící na 80 MHz), pokud je délka větší, jedná se o off bit v opačném případě o on bit (viz tabulka Tabulka 5.1 5.1). Detekované bity jsou poté skládány do 32bitového subframe (3) a převedené na číslo ukládány do paměti (4). Počet uložených sub-frame je sledován a jakmile je nasbíráno 1024 sub-frame, nastaví se příznak (5) pro hostující VI, které se stará o sběr dekodovaných dat.



### 5.5 Převod dat ze subframe pro další aplikaci

Třetí část aplikace (na obrázku 5.5) je využívána hostujícím VI, spuštěným v počítači, pro správné načtení 1024 hodnot sub-frame z paměti na FPGA. Postupně se z paměti vybere všech 1024 hodnot (1) a místo v paměti se vymaže (na danou adresu se nahraje 0). Aplikace mezi jednotlivými kroky, kdy vyčítá data z paměti, čeká na převzetí dat hostujícím VI (2) a až poté pokračuje ve své činnosti. Zatímco jsou data předávána hostující aplikaci, ostatní části aplikace pokračují v práci.

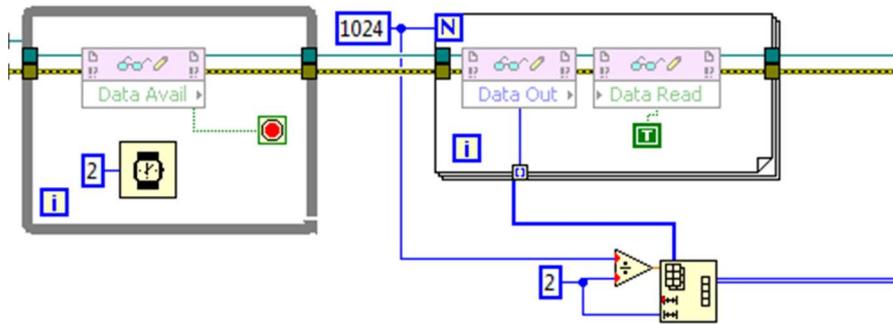
Čelní panel aplikace FPGA S/PDIF Input Data je na obrázku 5.10, následující kapitoly 5.3, doplňující obrázek čelního panelu hostující aplikace.

## 5.3 Sběr a zobrazení dekodovaných dat z S/PDIF

Pro sběr a zobrazení dekodovaných dat z S/PDIF je použita aplikace Host S/PDIF Input Monitor.vi (viz obr. 5.1), která slouží i k zobrazení a měření frekvenčního spektra dekodovaného signálu a šumové analýze.

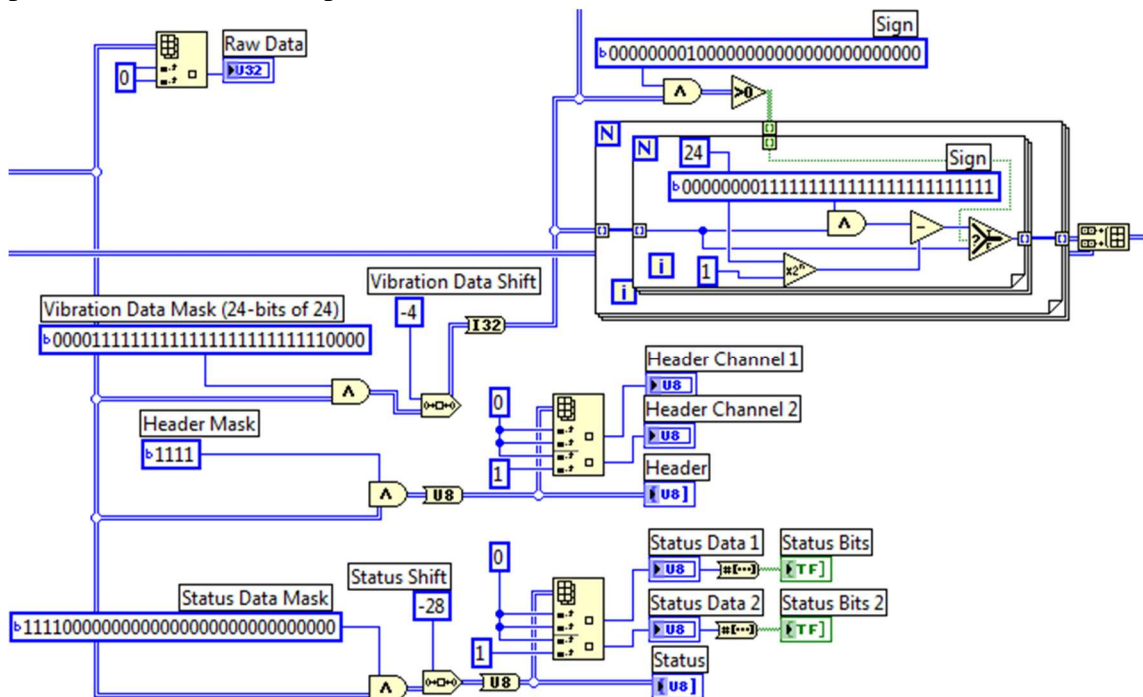
Nejprve je potřeba data získat z paměti v FPGA, k tomu slouží bloky na obrázku 5.6 komunikující s aplikací běžící v FPGA. Nejprve se čeká až je paměť v FPGA naplněna

(Data Avail.), poté jsou jednotlivé sub-frame postupně načítány ve for smyčce (Data Out), po každém načtení je potvrzen přenos dat (Data Read) a z paměti FPGA je poslána další hodnota, takto je načten celý blok dat (1024 hodnot). Takto načtená data jsou reprezentována jednorozměrným polem, pro odlišení kanálů je toto pole rozděleno na dvourozměrné po 512 hodnotách.



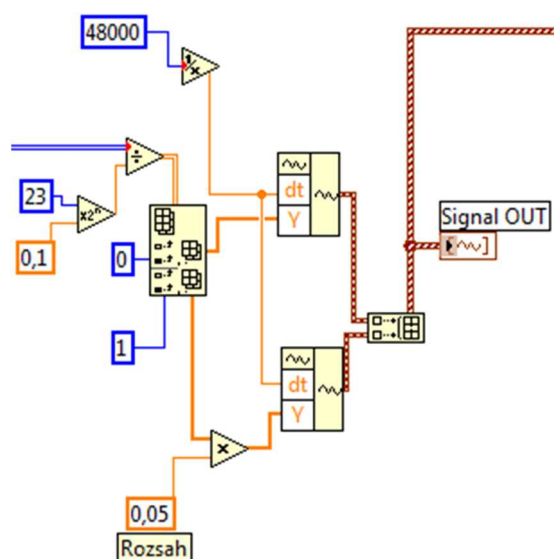
### 5.6 Načtení dat z paměti na FPGA

Načtená data se dále rozdělují do jednotlivých částí sub-frame, pomocí masek na hlavičku (Header), hlavní data signálu (Vibration Data) a status data (viz obr 5.7). Hlavička a status data, nejsou dále nijak zpracovávány, jejich odmaskování slouží pouze pro zobrazení na čelním panelu.



### 5.7 Odmaskování dat a úprava znaménka

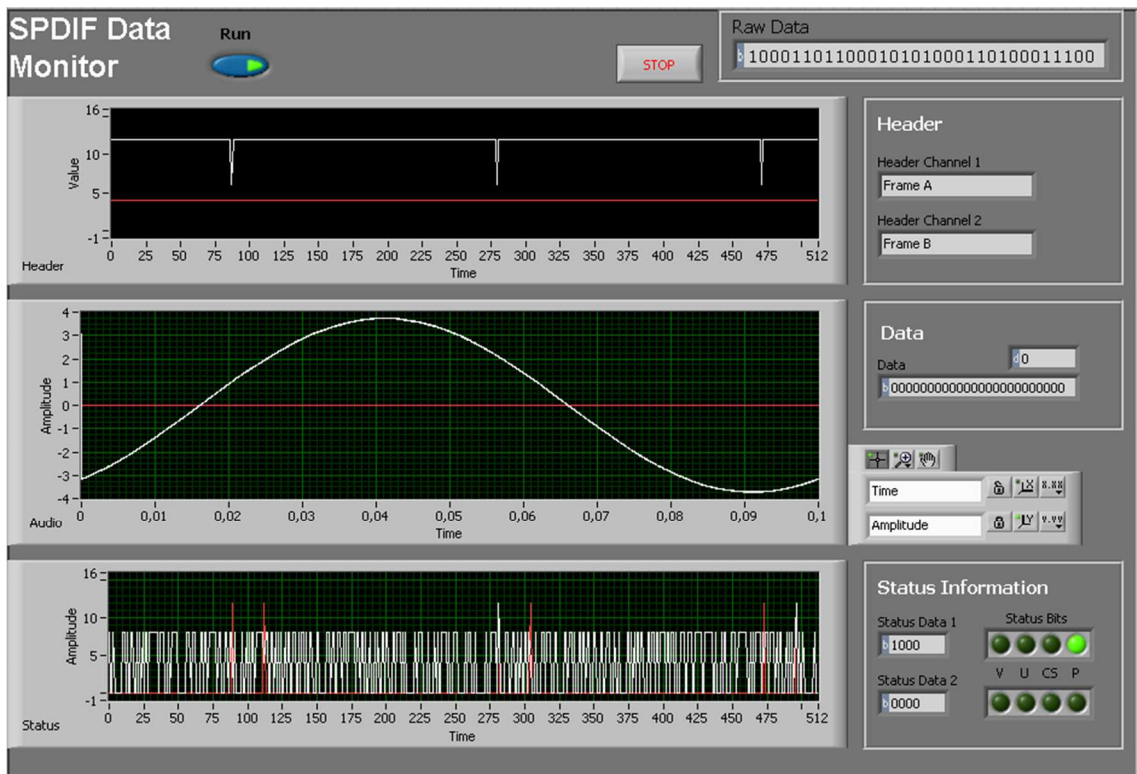
Hlavní data jsou odmaskována v nejvyšším možném rozlišení 24 bitů, posunuty tak, aby první bit byl na začátku slova a převedeny na datový formát I32 (32bitový integer). Jelikož se jedná o data harmonického signálu, představují data i záporná čísla, ty jsou ve dvojkové soustavě reprezentovány doplňkovým číslem. Aby mohl být signál správně zobrazen, je potřeba signál převést z doplňkové interpretace na korektní záporné číslo. O to se stará část aplikace vložená ve dvou cyklech for, která pokud je na nejvyšším bitu 1 (Sign), znamená to, že je číslo záporné a provádí se převod, v opačném případě jsou data předány dále.



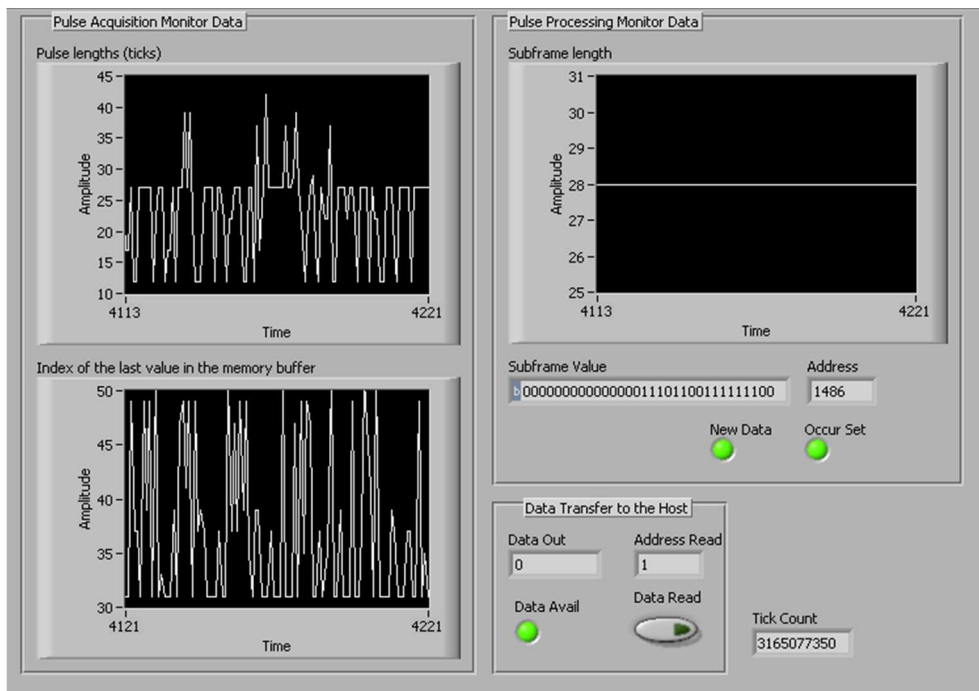
### 5.8 Finální úprava pro zobrazení

Na obrázku 5.8 je zobrazena poslední část diagramu. Po převodu z dvojkového doplňku jsou data již reprezentována kladným, či záporným číslem, dávající informaci o velikosti napětí  $U$  (V), odpovídající určité rychlosti, nebo výchylce, podle toho o jaký kanál se jedná. Hodnotu měřené veličiny, lze zjistit vynásobením změřeného napětí rozsahem, na kterém je prováděno měření. Pro správnou interpretaci dat ze signálu S/PDIF v časovém měřítku, je nutné nastavit časovou základnu, neboli krok  $dt$ , který odpovídá periodě vzorkovací frekvence signálu S/PDIF (1/48 kHz). Takto upravená data (Signal Out) jsou připravena pro zobrazení na čelním panelu (viz. obr. 5.9), či další zpracování.

Pro šumová a spektrální měření jsou využity totožné bloky, jako v aplikaci pro sběr a zobrazení analogových dat, pouze s tím rozdílem, že vstup nepředstavuje DAQ Assistant (viz obr. 5.11), ale finálně upravená data z S/ DIF (Signal Out).



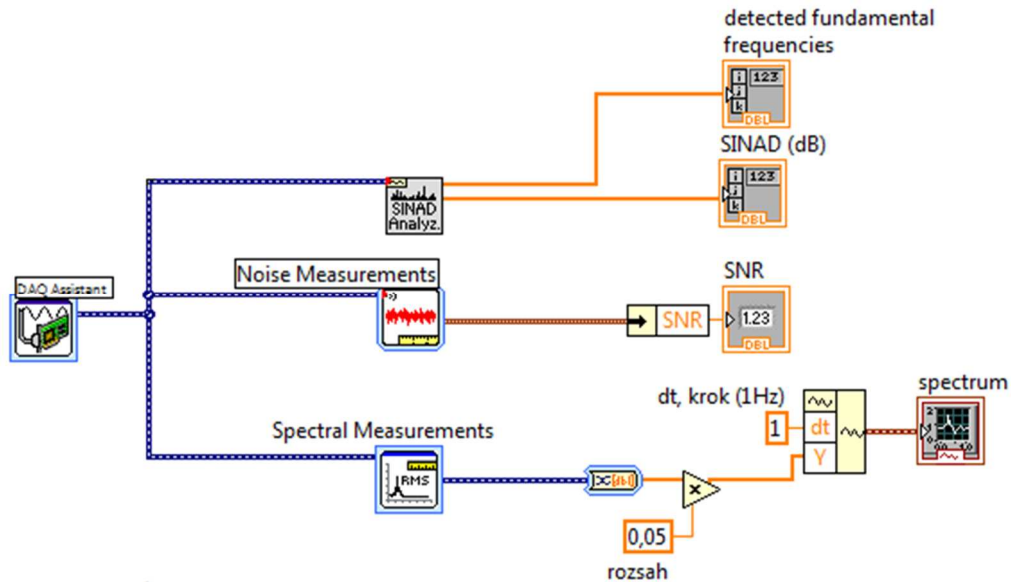
5.9 Čelní panel aplikace Host S/PDIF Input Monitor



5.10 Čelní panel aplikace FPGA S/PDIF Input Data

## 5.4 Sběr a zobrazení analogových dat

Aby bylo možné srovnat přenos signálu digitální cestou s analogovým přenosem, byla vytvořena jednoduchá aplikace pro sběr a zobrazení analogových dat, pomocí měřicí karty PXI-4462. Tato aplikace je v projektu zařazena pod názvem 4462.vi (viz obr 5.2)



5.11 Sběr a zobrazení analogových dat

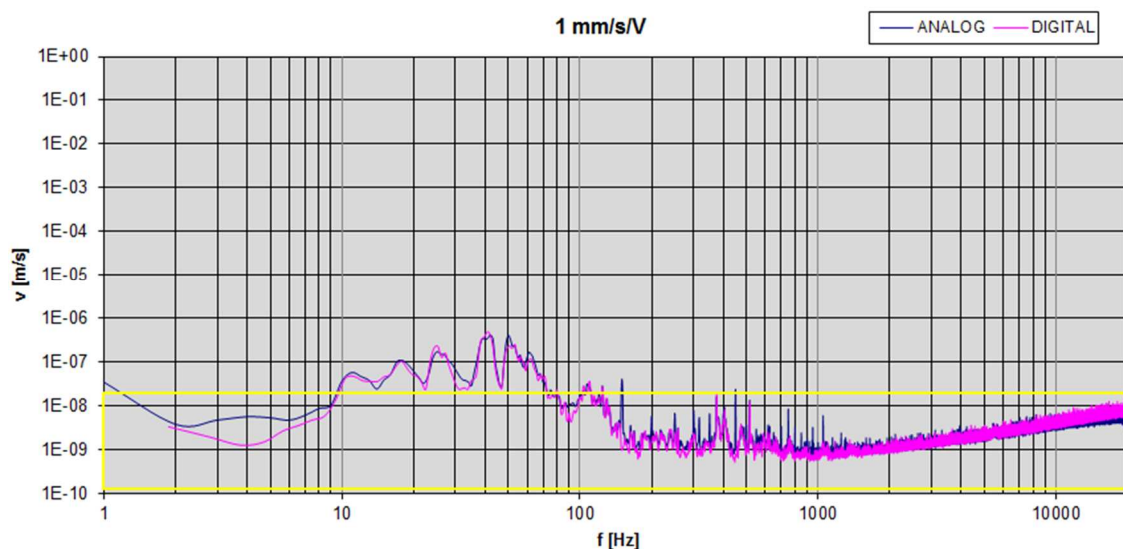
Na obrázku 5.11 lze vidět základní část blokového diagramu. Aplikace pomocí bloku DAQ Assistant načítá signál, přicházející do karty PXI-4462. Pomocí tohoto bloku se také nastavuje vzorkovací frekvence a počet vzorků. Pro převádění signálu do frekvenčního spektra je využit blok Spectral Measurements (jenž umožňuje i průměrování), který je nastaven na měření efektivní hodnoty signálu (rms) a výstupní hodnoty dodává v lineárním měřítku. Mezi zobrazením v lineárním, či logaritmickém měřítku lze přepínat poté přímo v grafu. Signál je poté vynásoben zvoleným rozsahem vibrometru, pro zobrazení v požadovaných jednotkách. Na obrázku je zobrazen rozsah 0,05, jenž byl použit pro měření rychlosti na nejvyšším rozsahu 50 mm/s/V což je 0,05 m/s/V a výsledné hodnoty tedy představují jednotky rychlosti v m/s. Pro správné zobrazení v grafu bylo nutné zadat správný frekvenční krok, ten byl pro většinu měření 1 Hz (počet vzorků se rovnal hodnotě vzorkovací frekvence).

Pro zjištění kvality přenášeného signálu, byly přidány bloky Noise Measurements, pro získání hodnoty odstupu signálu od šumu (SNR) a SINAD Analyzer, pro získání hodnoty SINAD, vyjadřující poměr výkonu všech složek signálu k výkonu nežádoucích složek. O těchto hodnotách vyjadřujících kvalitu přenášeného signálu více v [4].

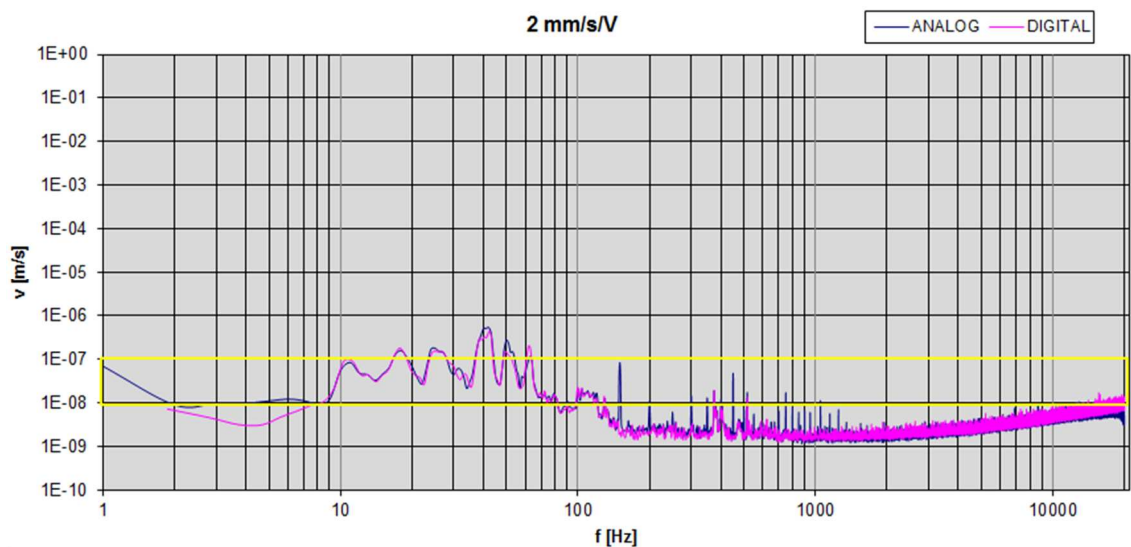
## 6. ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT

Pro porovnání získaných analogových (z PXI-4462) a digitálních (z PXI-7811R) dat bylo za hlavní úkol vybráno zjistit rozlišení přenášeného signálu a porovnat jednotlivé hodnoty jednak mezi sebou a jednak s hodnotami uváděnými výrobcem vibrometru Polytec OFV-5000. Měření rozlišení bylo provedeno s dekodérem signálu na rychlost VD-06. Pro zjištění rozlišení byl použit způsob měření, podle údajů výrobce (viz kapitola 2.2.2), kdy se rozlišení zjišťuje jako efektivní hodnota (rms) na spektru šumového signálu (pro který je odstup signál-šum 0 dB). Paprsek laseru by měl být zaměřen na statický předmět, aby měření nebylo ovlivněno nežádoucími vibracemi, k tomu sloužil 2,5 t válec, na kterém byl připevněn nosník s laserovou hlavou OFV-505, jejíž paprsek byl zaměřen na plochu válce. Pro lepší odrazivost paprsku byla použita reflexní páska.

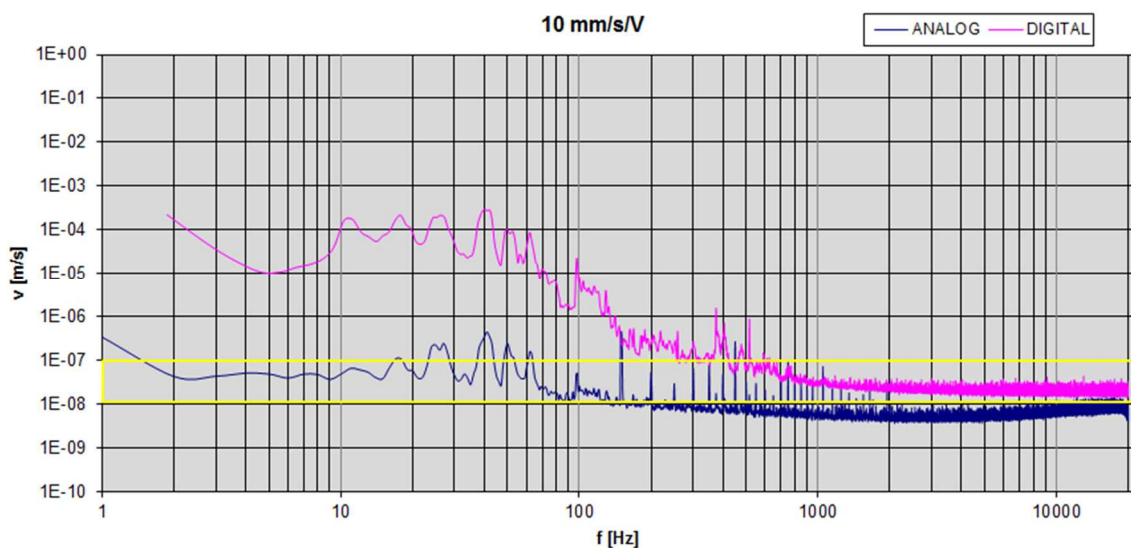
Na následujících grafech 6.1 až 6.4 jsou zobrazena spektra signálu měřená při nastavené šířce pásma 0 – 20 kHz. Žlutým obdélníkem je vyznačen rozsah rozlišení, udávaný výrobcem. Zobrazené grafy jsou výsledkem ze 100 měření frekvenčních spekter s exponenciálním průměrováním.



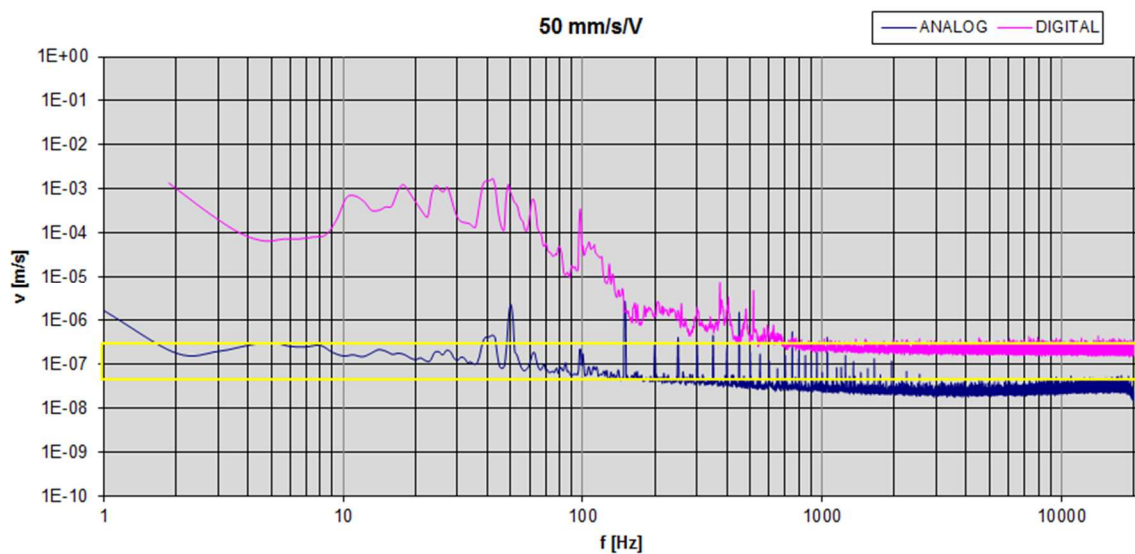
Graf 6.1 Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 1 mm/s/V



Graf 6.2 Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 2 mm/s/V



Graf 6.3 Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 10 mm/s/V



Graf 6.4 Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 50 mm/s/V

Z naměřených frekvenčních spekter lze pozorovat, jak naměřené hodnoty pro jednotlivé rozsahy odpovídají parametrům výrobce.

Pro nejmenší rozsah 1 mm/s/V se hodnoty rozlišení drží v předpokládané mezi, až na frekvence od 10 do 70 Hz, kdy jsou více než o řád nižší.

Pro rozsah 2 mm/s/V dopadlo měření rozlišení nejlépe z hlediska předpokládaných a změřených hodnot, kdy změřené hodnoty v celém frekvenčním pásmu vykazují vyšší rozlišení než udávané hodnoty, až na inkriminované pásmo 10 – 70 Hz, kde se hodnoty drží v předpokládané mezi, kromě frekvence 40 Hz, na níž je rozlišení o téměř řád horší.

Na prvních dvou rozsazích se hodnoty rozlišení zjištěné pomocí analogového a digitálního kanálu, téměř nelišily. To již neplatí pro rozsah 10 mm/s/V, kde se hodnoty rozlišení analog. signálu pohybují v předpokládaných mezích a od 200 Hz vykazují mírně vyšší rozlišení. Zatímco hodnoty rozlišení dig. signálu jsou do 300 Hz o 3 řády horší, poté jsou již v předpokládaných mezích.

Na nejvyšším rozsahu 50 mm/s/V je výsledek srovnatelný s předchozím rozsahem, jednotlivé hodnoty rozlišení se sice změnily, odlišují se však od předpokládaného průběhu téměř stejným způsobem. Hodnoty rozlišení analog. signálu odpovídají hodnotám výrobce a na frekvencích od 200 Hz se drží na hranici, nebo dosahují vyššího rozlišení. Rozlišení digitálního signálu je až do frekvence 500 Hz výrazně horší než udávaná hodnota a to do 60 Hz až o 4 řády. Poté již rozlišení odpovídá horní hranici nebo zcela hodnotám rozlišení udávaných výrobcem.

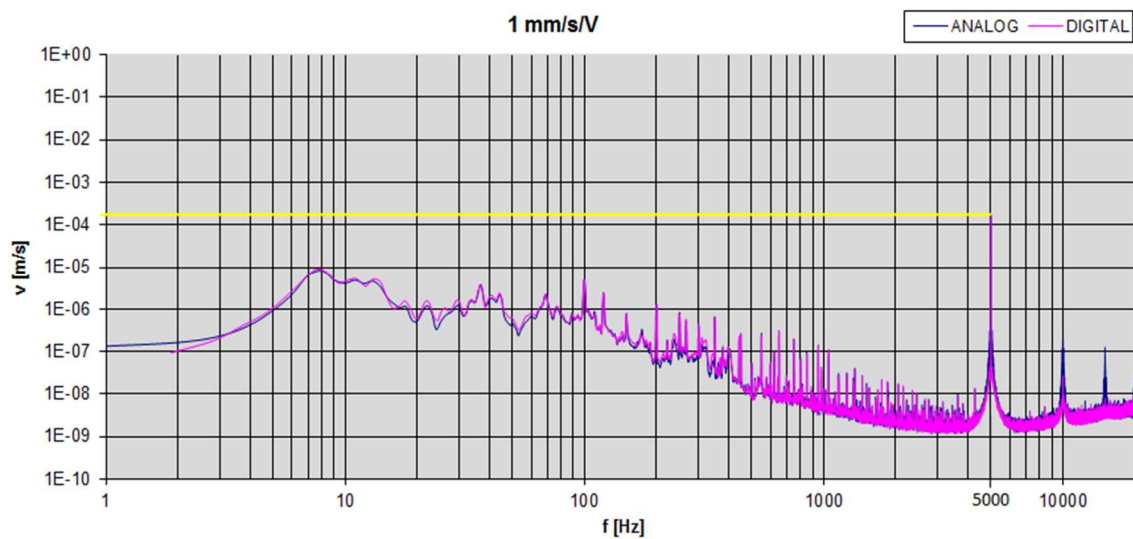
Veškeré uvedené grafy jsou uloženy i se zdrojovými daty v souboru Rozliseni.xls v příloze na CD. Pro přehledné shrnutí naměřených hodnot je uvedena tabulka 6.1, která obsahuje hodnoty na středních frekvencích rozsahu, ale i maxima a minima pro daný rozsah.

Tabulka 6.1 Shrnutí naměřených rozlišení

		VD - 06			
rozsah [mm.s <sup>-1</sup> /V]		1	2	10	50
f [Hz]		0 - 20k	0 - 350k	0 - 350k	0 - 350k
udávané	rozlišení [nm.s <sup>-1</sup> /Hz <sup>1/2</sup> ]				
	od - do	<20	10 - 100	10 - 100	40 - 200
	typ. (střed f. rozsahu)	10	50	50	60
naměřené	Digital				
	od - do	0,51 - 489	1,26 - 433	13,7 - 291 . 10 <sup>3</sup>	145 - 1,71 . 10 <sup>6</sup>
	typ. (střed f. rozsahu)	3,97	4,47	18,80	210,00
	Analog				
od - do	0,63 - 414	1,15 - 536	3,6 - 459	14,5 - 2,74 . 10 <sup>3</sup>	
typ. (střed f. rozsahu)	3,16	4,38	6,95	24,20	

### Měření s vibračním stolcem

Pro porovnání analogových a digitálních dat bylo na nejnižším rozsahu 1mm/s/V, dekodéru VD-06, provedeno i měření s vibračním stolcem buzeným na různých frekvencích. Výsledky z tohoto měření jsou v souboru Frekvencni\_mereni.xls v příloze na CD a představují (stejně jako při měření rozlišení) hodnoty získané ze 100 měření s exponenciálním průměrováním. Pro ukázkou naměřených dat byl vybrán Graf 6.5, zobrazující frekvenční spektrum z měření při frekvenci vibračního stolku 5 kHz. Pro měření bylo zvoleno nižší buzení vibračního stolku, jelikož při vyšších amplitudách budícího signálu zanáší vibrační stolec do generované vibrace vyšší harmonické složky, ty jsou do signálu zanášeny i při nižším buzení, ne však v takové míře.



Graf 6.5 Frekvenční spektrum VD-06 při měření s vibračním stolcem

Naměřené hodnoty rychlosti  $v$  na 5 kHz jsou pro analogový signál 169  $\mu\text{m/s}$  ( $1,69 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ) a pro digitální signál 151  $\mu\text{m/s}$  ( $1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ). Zjištěné hodnoty se liší o 18  $\mu\text{m/s}$ , což je pro takto nízké buzení vibračního stolku uspokojivý výsledek. Na spektru jsou patrné i vyšší harmonické složky, které jsou lépe přenášeny analogovou cestou.

V souboru Frekvencni\_mereni.xls (příloha na CD) je také pod záložkou „Šumová měření“ zobrazena tabulka s grafy, znázorňující naměřené hodnoty SNR a SINAD na frekvencích v rozsahu 1 – 20 kHz, pro všechny rozsahy dekodéru VD-06. Toto měření však bylo ovlivněno použitým vibračním stolcem, který zanášel do signálu vyšší harmonické frekvence a výsledky měření tak nepřinesly žádanou vypovídající hodnotu.

## 7. ZÁVĚR

Při tvorbě této bakalářské práce jsem měl možnost seznámit se s problematikou měření vibrací a tvorby měřicí aplikace v prostředí LabVIEW s FPGA modulem, využívající pro měření hradlové pole PXI-7811R a měřicí kartu PXI-4462, propojené s PC přes MXI můstek.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit aplikaci ve vývojovém prostředí LabVIEW, která bude získávat data z interferometru Polytec OFV-5000 analogovou i digitální cestou a pomocí které bude možno tyto získávaná data kvalitativně porovnat. Tohoto cíle bylo dosaženo a výsledná měřicí aplikace je popsána v 5. kapitole. Pomocí této aplikace byla provedena měření, jejichž výsledky se zabývá 6. kapitola.

Povedlo se změřit rozlišení dekodéru VD-06, na rozsazích 1, 2, 10, 50 mm/s/V pro frekvenční rozsah 0 – 20 kHz a změřené hodnoty srovnat s hodnotami udávanými výrobcem. Na rozsazích 1 a 2 mm/s/V se rozlišení analogového a digitálního signálu, téměř neliší a změřené hodnoty odpovídají udávaným. Na rozsazích 5 a 10 mm/s/V však již digitální signál vykazuje nižší rozlišení než analogový na celém frekvenčním rozsahu a do 500 Hz je zjištěné rozlišení až o 3 řády horší, než hodnoty udávané výrobcem. Na všech změřených spektrech je zejména na frekvencích do 100 Hz vidět zhoršení rozlišení, to může být důsledkem negativního vlivu okolních vibrací prostředí na přesnost měření.

Pro přibližné porovnání přenosu analogovým a digitálním signálem, bylo provedeno také měření s vibračním stolkem, který však do signálu zaváděl vyšší harmonické složky. Z grafu 6.5 je patrné, že změřená frekvenční spektra analogového a digitálního signálu si odpovídají. Zjištěné hodnoty rychlosti  $v$ , na 5 kHz vibracích se liší o 18  $\mu\text{m/s}$ .

Vytvořená měřicí aplikace je s danými prostředky univerzálně použitelná pro zpracování dat formátu S/PDIF, lze ji tedy do budoucna využít jako rozhraní sloužící k převodu S/PDIF na analogový signál. V případě použití pro měření vibrací s vibrometrem OFV-5000, by aplikace mohla být rozšířena o ovládání tohoto vibrometru přes rozhraní RS-232.

# Literatura

- [1] *Polytec Solutions* [online]. 2011 [cit. 2011-05-06]. Basic Principles of Vibrometry. Dostupné z WWW: <<http://www.polytec.com/eu/solutions/vibration-measurement/basic-principles-of-vibrometry/>>
- [2] *Vibrometer Controller OFV-5000 : User manual*. [s.l.] : Polytec GmbH, [2010]. 125 s.
- [3] *OFV-505/503 Vibrometer Sensor Head Datasheet* [online]. [s.l.] : Polytec GmbH, [2010] [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.polytec.com/eu/products/vibration-sensors/single-point-vibrometers/modular-systems/ofv-50x-vibrometer-sensor-head/>>.
- [4] WATKINSON, John. *The Art of Digital Audio*. Third Edition. [s.l.] : Focal Press, 2001. 752 s. ISBN 0240515870.
- [5] SANCHEZ, Clif; TAYLOR, Roger. *Overview of Digital Audio Interface Data Structures* [online]. Austin (Texas) : Cirrus Logic, Inc, 1998 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.minidisc.org/manuals/an22.pdf>>.
- [6] *NI Developer Zone* [online]. c2011 [cit. 2011-05-23]. Building Low-Cost Data-Logging Systems with the NI PXI-4065 Digital Multimeter (DMM). Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6415>>.
- [7] *NI PXI-1033 User Manual* [online]. Austin (Texas) : National Instruments Corporation., c2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <[http://www.ni.com/pdf/products/us/cat\\_pxi1033chassis.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_pxi1033chassis.pdf)>.
- [8] *NI R Series Multifunction RIO User Manual* [online]. [s.l.] : National Instruments Corporation, červen 2009 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/370489g.pdf>>.
- [9] *National Instruments* [online]. c2011 [cit. 2011-05-23]. PXI - High Channel Industrial Platform Modules. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14309>>.
- [10] *National Instruments* [online]. c2011 [cit. 2011-05-24]. NI Developer Zone. Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/2718>>.

# Seznam obrázků

1.1 Prostředky měřicího systému.....	9
2.1 Dopplerův efekt .....	12
2.2 Základní součásti LDV (převzato s [1]).....	13
2.3 Cesta signálu do vibrometru (převzato z [2]) .....	15
2.4 Zpracování signálu vibrometrem OFV-5000 (převzato z [2]).....	17
3.1 Sub-frame (pod-rámec) formátu S/PDIF [5] .....	21
3.2 Skládání rámců (frame) a pod-rámců (sub-frame) do bloku S/PDIF [5] .....	22
3.3 Schéma dvoufázového kódování [5].....	23
3.4 Schéma hlaviček jednotlivých kanálů formátu S/PDIF (podle [5]).....	24
4.1 Systém PXI-1033 (převzato s [6], doplněno o text).....	25
4.2 Vnitřní propojení slotů na datové a řídicí úrovni [7] .....	26
4.3 Zjednodušená funkční struktura PXI-7811R (podle [8]) .....	27
4.4 Blokové schéma PXI-7811R [8].....	28
5.1 FPGA modul v prostředí LabVIEW .....	31
5.2 Rozdělení aplikace pro dekodování signálu S/PDIF.....	32
5.3 Měření délky pulzu a detekce hlaviček .....	32
5.4 Převod pulzních dat na sub-frame.....	33
5.5 Převod dat ze subframe pro další aplikaci.....	34
5.6 Načtení dat z paměti na FPGA .....	35
5.7 Odmaskování dat a úprava znaménka.....	35
5.8 Finální úprava pro zobrazení.....	36
5.9 Čelní panel aplikace Host S/PDIF Input Monitor.....	37
5.10 Čelní panel aplikace FPGA S/PDIF Input Data.....	37
5.11 Sběr a zobrazení analogových dat.....	38

# Seznam grafů

Graf 6.1	Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 1 mm/s/V .....	39
Graf 6.2	Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 2 mm/s/V .....	40
Graf 6.3	Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 10 mm/s/V .....	40
Graf 6.4	Frekvenční spektrum VD-06 pro rozsah 50 mm/s/V .....	40
Graf 6.5	Frekvenční spektrum VD-06 při měření s vibračním stolkem .....	42

# Seznam tabulek

Tabulka 2.1	Technické parametry snímací hlavy OFV-505 .....	16
Tabulka 2.2	Technické parametry vibrometru OFV-5000.....	17
Tabulka 2.3	Měřicí rozsahy dekodéru VD-06 a jejich parametry [1].....	18
Tabulka 2.4	Měřicí rozsahy dekodéru DD-500 a jejich parametry [1].....	20
Tabulka 4.1	Parametry měřicí karty PXI-4462 .....	29
Tabulka 5.1	Délky pulzů 48 kHz signálu S/PDIF .....	33
Tabulka 6.1	Shrnutí naměřených rozlišení.....	41

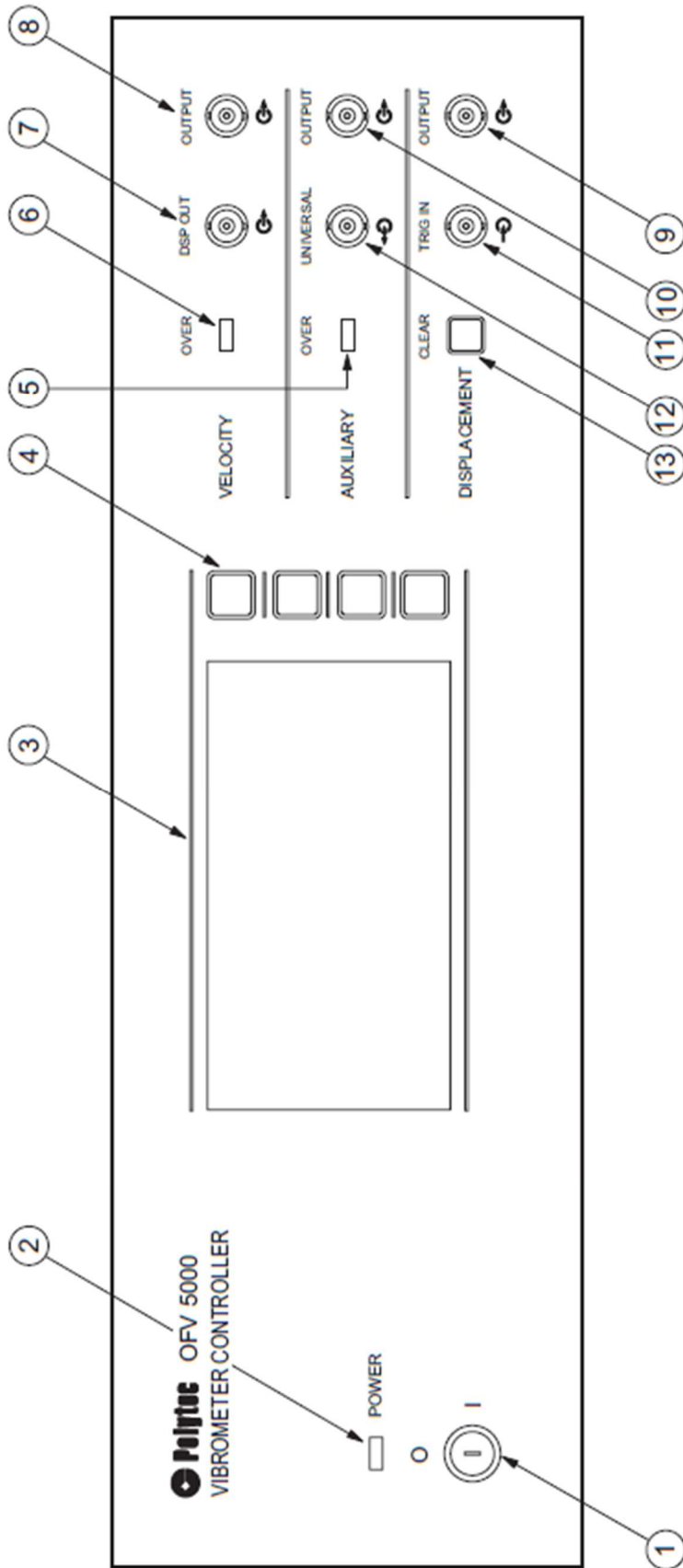
# Seznam zkratek

LDV	Laser Doppler Vibrometer
VD-06	Dekodér signálu na rychlost (Velocity Decoder) vibrometru Polytec OFV-5000
DD-500	Dekodér signálu na výchylku (Displacement Decoder) vibrometru Polytec OFV-5000
S/PDIF	Sony/Philips Digital Audio InterFace - standard pro kódovaný přenos audio signálů.
DSP	Digitální signálový procesor – základem je mikroprocesor, jehož návrh je optimalizován pro algoritmy používané při zpracování digitálně reprezentovaných signálů.
IEC	International Electrotechnical Commission
Mbps	Mega bits per second, jednotka udávající počet Megabitů za vteřinu.
Idle	Označení, vyjadřující nečinnost. V technice označuje stav, kdy zařízení které běží, není nijak využíváno.
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation, využití sběrnice PCI v měřicí přístrojové technice.
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express
FPGA	Field Programmable Gate Array, programovatelné hradlové pole
DI/O	Digital Input/Output
LabVIEW	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů.
HDL	Hardware Description Languages
VI	Virtual Instrument, virtuální přístroj, aplikace vytvořená v LabVIEW

# Seznam příloh

Příloha A	Přední a zadní panel OFV-5000 [2]
Příloha B	Vstupní konektory PXI-7811R [8]
Příloha C	Obsah přiloženého CD

# Příloha A



## **1 Mains switch**

The key switch disconnects the vibrometer from the mains (position O) and is used to switch it off in case of danger.

## **2 POWER LED**

The LED lights up if the controller has been switched on with the key switch (position I) and indicates that the controller is ready to operate.

## **3 Liquid Crystal Display (LCD) with background lighting**

The display shows the configuration and settings of the vibrometer.

## **4 Function keys**

Use these keys to navigate through the menus of the controller or change the settings respectively according to the icons shown in the display next to them.

## **5 OVER LED for the auxiliary decoder**

The LED lights up if the output voltage either reaches the positive or the negative full scale value of the selected measurement range. If the LED lights up permanently, the next highest measurement range must be selected if available.

## **6 OVER LED for the velocity decoder**

The LED lights up if the output voltage either reaches the positive or the negative full scale value of the selected velocity measurement range. If the LED lights up permanently, the next highest velocity measurement range must be selected if available.

## **7 Signal output VELOCITY DSP OUT (BNC jack)**

Output signal of the optional DSP filter (only with velocity decoder VD-06 installed and the optional adaptive DSP filter)

## **8 Signal output VELOCITY OUTPUT (BNC jack)**

Output signal of the velocity decoder. The voltage at this output is proportional to the instantaneous vibrational velocity of the object. The voltage is positive when the object is moving towards the sensor head.

## **9 Signal output DISPLACEMENT OUTPUT (BNC jack)**

Output signal of the displacement decoder. This output is only active if a displacement decoder has been installed. The voltage at this output is proportional to the instantaneous position of the object. The voltage increases when the object is moving towards the sensor head.

## **10 Signal output AUXILIARY OUTPUT (BNC jack)**

Output signal of the auxiliary decoder. This output is only active if an auxiliary decoder has been installed.

## **11 Signal input DISPLACEMENT TRIG IN (BNC jack)**

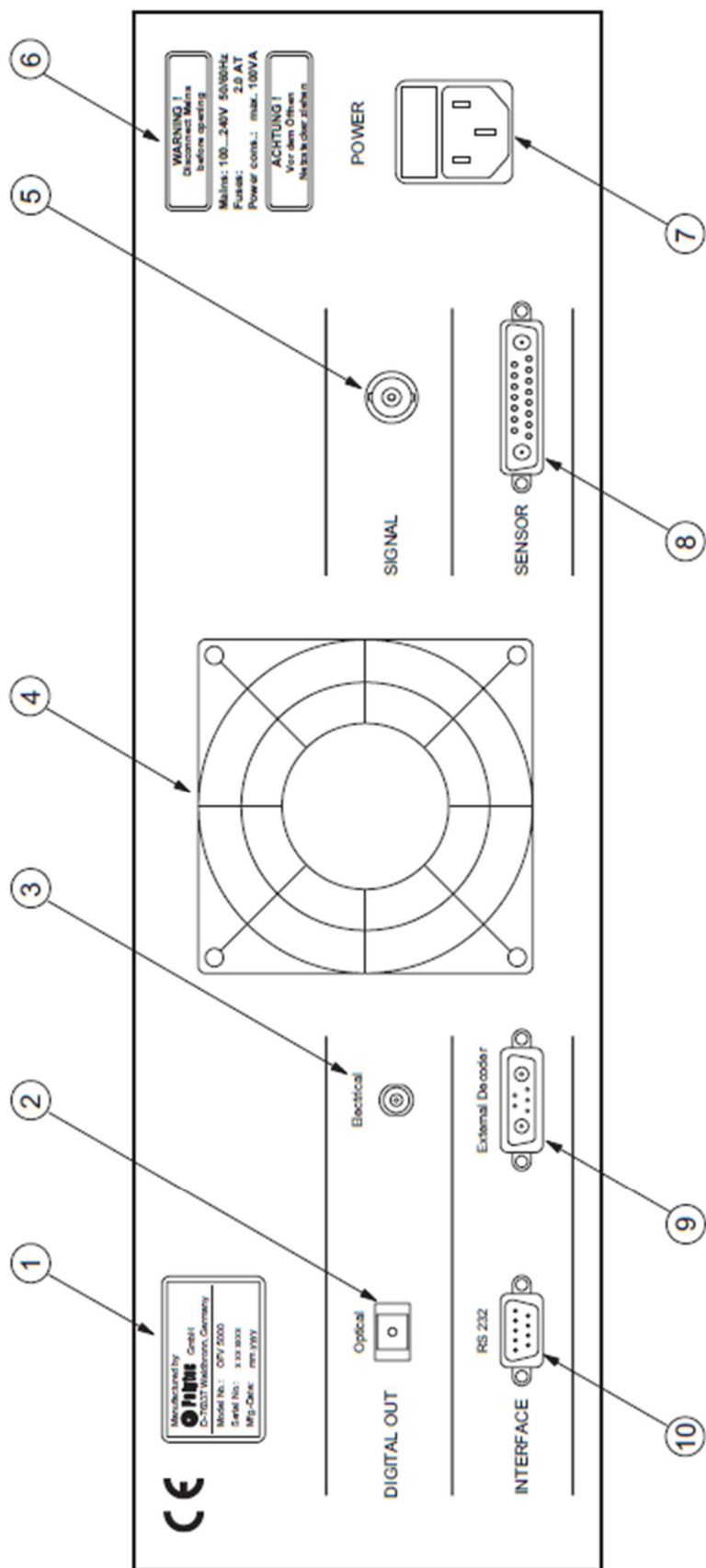
This input is only active if a displacement decoder has been installed. This signal input can be used to reset the displacement decoder remotely to the zero position

## **12 Signal output AUXILIARY UNIVERSAL (BNC jack)**

Signal output for special functions of the auxiliary decoder.

## **13 CLEAR key for the displacement decoder**

This key is only active if a displacement decoder has been installed. This key can be used to reset the displacement decoder manually to the zero position.



**1 Identification label**

On the identification label you will find, among other things, the serial number of the instrument.

**2 Digital signal output Optical (TOSLINK jack)**

Connector for an optical fiber cable with a TOSLINK plug to transmit the S/ P-DIF signal.

**3 Digital signal output Electrical (TRIAx jack)**

Connector for the optional S /P-DIF cable to transmit the S/ P-DIF signal.

**4 Cooling fan**

**5 Signal output SIGNAL (BNC jack)**

The DC voltage at this output is proportional to the logarithm of the optical signal level. This signal can be used to monitor the optical measurement conditions externally.

**6 Instrument warning label**

Label with technical data for the fuses and the mains connection.

**7 Mains connection (socket for standard power cord with built-in fuses)**

The mains voltage input is designed to be a wide range input.

**8 SENSOR jack (Sub-D jack)**

Connector for the connecting cable to the sensor head.

**9 Interface External Decoder (Sub-D jack)**

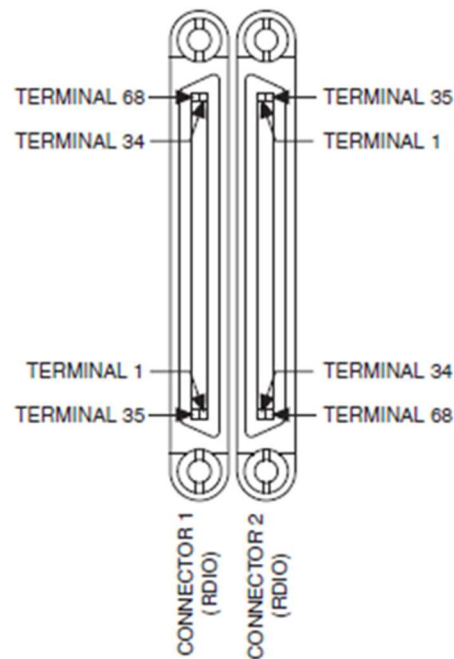
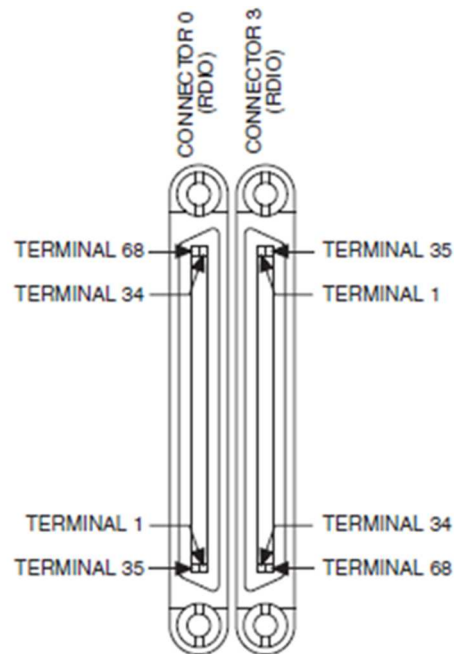
Connector for PC based displacement decoders (for example VibSoft-FC, VibSoft-VDD).

**10 RS 232 interface (9-pin Sub-D connector)**

Connector for the RS-232(X) cable from the PC to operate the controller via VibSoft or Vibrometer Panel software. The controller can also be remotely operated via interface commands.

# Příloha B

DIO39	68	34	DIO38
DIO37	67	33	DIO36
DIO35	66	32	DIO34
DIO33	65	31	DIO32
DIO31	64	30	DIO30
DIO29	63	29	DIO28
DIO27	62	28	+5V
DIO26	61	27	+5V
DIO25	60	26	DGND
DIO24	59	25	DGND
DIO23	58	24	DGND
DIO22	57	23	DGND
DIO21	56	22	DGND
DIO20	55	21	DGND
DIO19	54	20	DGND
DIO18	53	19	DGND
DIO17	52	18	DGND
DIO16	51	17	DGND
DIO15	50	16	DGND
DIO14	49	15	DGND
DIO13	48	14	DGND
DIO12	47	13	DGND
DIO11	46	12	DGND
DIO10	45	11	DGND
DIO9	44	10	DGND
DIO8	43	9	DGND
DIO7	42	8	DGND
DIO6	41	7	DGND
DIO5	40	6	DGND
DIO4	39	5	DGND
DIO3	38	4	DGND
DIO2	37	3	DGND
DIO1	36	2	DGND
DIO0	35	1	DGND



# Příloha C

## Obsah CD:

Dokument závěrečné práce.....	BP_Jakub_Trlicik.pdf
Projekt v LabVIEW.....	Projekt_LabVIEW/SPDIF Input.lvproj <i>FPGA S/PDIF Input Data.vi</i> <i>Host S/PDIF Input Monitor.vi</i> <i>4462.vi</i>
Soubory s naměřenými daty.....	Rozliseni.xls Frekvencni_mereni.xls