

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

Aplikovaná fyzika

Fyzikální měření se systémem NI myRIO

Diplomová práce

Vypracovala: Bc. Pavlína Popelková

Vedoucí: doc. RNDr. Jiří Pechoušek, Ph.D.

2016

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Bc. Pavlína Popelková
Název práce	Fyzikální měření se systémem NI myRIO
Typ práce	diplomová
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	doc. RNDr. Jiří Pechoušek, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2016
Počet stran	53
Počet příloh	10
Jazyk	český
Abstrakt	Tato práce se zabývá využitím měřicího systému NI myRIO (National Instruments) při měření s vybranými senzorskými prvky. Součástí práce je vytvoření úloh pro měření magnetické indukce a rozložení magnetického pole 3D kompasem, měření teploty a míry osvětlení v laboratoři či experimentálním zařízení, měření úhlové rychlosti a posunutí 3D gyroskopem a měření vibrací 3D akcelerometrem. Hlavním cílem práce je vytvoření obslužného softwaru pro správu měření a zálohování dat experimentálního zařízení s možností vyhodnocení vybraných fyzikálních měření.
Klíčová slova	měření, NI myRIO, LabVIEW

Bibliographical identification

Author's first name and surname	Bc. Pavlína Popelková
Title	Physical measurements using NI myRIO system
Type of thesis	master
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	doc. RNDr. Jiří Pechoušek, Ph.D.
Year of presentation	2016
Number of pages	53
Number of appendices	10
Language	Czech
Abstract	<p>This thesis deals with a measurement using selected sensoric components, creating applications for measuring magnetic induction and scatter of a magnetic field using a 3D compass, temperature and light conditions in a laboratory or of an experimental device, measuring vibrations using 3D accelerometer and an angular speed and displacement using 3D gyroscope. The main goal of the thesis is to create an utility software for measurement control, data backup and for conditions control of the laboratory or an experimental device. All that with a possibility of evaluation of measurement.</p>
Keywords	measurement, NI myRIO, LabVIEW

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Veškeré použité podklady, z nichž jsem čerpala informace, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů a citovány v textu.

V Olomouci dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat doc. RNDr. Jiřímu Pechouškovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, rady a odbornou pomoc při vypracování této diplomové práce.

Obsah

Úvod.....	9
Fyzikální měření.....	9
1. Základy analogového měření ^[1]	10
1.1 Plovoucí zdroj signálu.....	10
1.2 Uzemněný zdroj signálu.....	10
1.3 Diferenciální metoda měření.....	11
1.4 Metoda se společnou zemí	12
2. Sběrnice.....	13
2.1 I ² C ^[2]	13
2.2 SPI ^[3, 4]	14
3. NI myRIO-1900 ^[5, 6, 7]	16
3.1 Schéma rozložení pinů jednotlivých konektorů.....	18
3.1.1 Analogové vstupní kanály.....	20
3.1.2 Analogové výstupní kanály.....	20
3.1.3 Digitální vstupně-výstupní linky.....	20
3.2 Tlačítka.....	20
3.2.1 Tlačítko Reset.....	20
3.2.2 Tlačítko Wireless.....	21
3.2.3 Tlačítko Button0.....	21
3.3 LED Indikátory	21
3.3.1 Power LED	21
3.3.2 Status LED	21
3.3.3 LED 0-3.....	22
3.4 Akcelerometr.....	22
4. Senzory.....	23
4.1 PmodACL ^[8]	23
4.1.1 ADXL345 ^[9]	23

4.2 PmodALS ^[10]	23
4.2.1 Fototranzistor Vishay Semiconductor's TEMT6000X01 ^[11, 12]	24
4.3 PmodCMPS ^[13]	24
4.3.1 Honeywell HMC5883L ^[14]	25
4.2 PmodGYRO ^[15, 16]	25
4.5 PmodTMP3 ^[17]	26
4.5.1 TCN75AVUA ^[18]	26
5. Realizace práce	27
5.1 Měření vibrací	27
5.1.1 Program pro měření vibrací	27
5.2.2 Realizace měření vibrací	29
5.2 Měření osvětlení	32
5.2.1 Program pro měření osvětlení	32
5.2.2 Realizace měření osvětlení	33
5.3 Měření magnetického pole	33
5.3.1 Program pro měření magnetického pole	34
5.3.2 Realizace měření magnetického pole	35
5.4 Měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí	36
5.4.1 Program pro měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí	36
5.5 Měření teploty	37
5.5.1 Program pro měření teploty	37
5.5.2 Realizace měření teploty	39
Závěr	40
Zdroje	42
Přílohy	44

Seznam jednotlivých zkratek

AGND	Analog Ground
AI	Analog Input
AO	Analog Output
DGND	Digital Ground
DIO	Digital Input/Output
FPGA	Field Programmable Gate Array
GND	Ground
PCI	Peripheral Component Interconnect
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation
RIO	Reconfigurable Input/Output
RSE	Referenced Single Ended
UART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter

Úvod

Fyzikální měření

Fyzikální měření je, vždy bylo a bezpochyby i bude nedílnou součástí vědy a techniky. Bez správného měření a samozřejmě následného zpracování naměřených dat by nebylo možné studovat fyzikální zákony, ale ani objevovat nové věci. Bez správného měření by se pokrok dramaticky zpomalil, ne-li vůbec zastavil.

Definovat měření je ale poměrně obtížné, neboť měření je velmi obecný pojem a takové definice jsou z principu velmi těžkopádné a nedokonalé. Způsob, jakým se měření provádí, se označuje jako metoda měření a každá z nich je založena na daném měřicím principu. K měření stejné fyzikální veličiny lze nicméně využít i více různých metod. Fyzikální měření hraje důležitou roli v téměř všech oborech lidské činnosti. Je však důležité si uvědomit, že jakékoliv měření je zatíženo různými chybami či nejistotami, které je nutné vždy zohlednit.

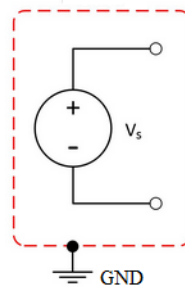
Měřením vybraných fyzikálních veličin se zabývá i tato práce, a to jak měřením stavu v laboratoři, tak přímo stavu různých experimentálních zařízení. Je všeobecně známo, že k tomu, aby jakékoliv zařízení či přístroj pracovaly správně, je nutné dodržet určité podmínky. Ty se mohou týkat např. teploty, tlaku, vlhkosti vzduchu, ale třeba i sofistikovanějších veličin, jako je magnetická indukce či rozložení magnetického pole.

1. Základy analogového měření^[1]

Pro měření analogových signálů, nejčastěji ve formě elektrického napětí, je nutné znát určité charakteristiky zdroje signálu. Z hlediska zapojení v elektrickém obvodu může tento zdroj být buď uzemněný, nebo s tzv. plovoucí zemí. Stejně tak je k měření nezbytné zvolit i vhodný typ měřicího systému. Lze rozlišit tyto dva základní typy zapojení – (I) diferenciální a (II) se společnou zemí.

1.1 Plovoucí zdroj signálu

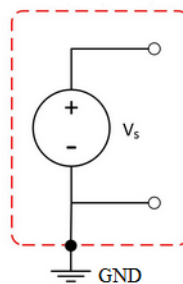
U těchto typů zdrojů napěťový signál není spojen s žádným referenčním bodem napětí či společnou systémovou (signálovou) zemí v rámci obvodu, označovanou často jako GND z anglické terminologie – ground. Jeho referenční bod je izolovaný. Příkladem takovýchto zdrojů jsou například baterie, termočlánky a izolační zesilovače.



Obr. 1: Plovoucí zdroj signálu. Převzato a upraveno z [1].

1.2 Uzemněný zdroj signálu

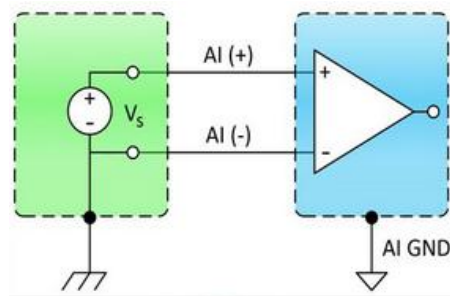
Jde o takový typ zdroje, u něhož jsou napěťové signály vztaženy k systémové zemi. Jelikož tyto zdroje využívají systémové země, sdílí společnou zemi s měřicím zařízením. Jednoduchými příklady mohou být generátory signálů či napájecí zdroje.



Obr. 2: Uzemněný zdroj signálu. Převzato a upraveno z [1].

1.3 Diferenciální metoda měření

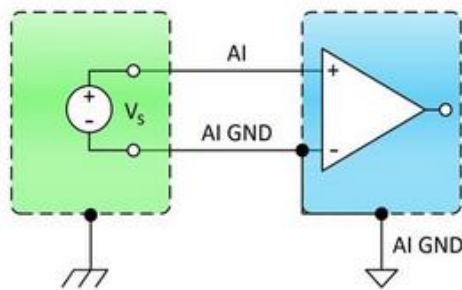
U diferenciální metody měření je signál přenášen dvěma vodiči. Jeden z nich, ten, který přenáší vstupní signál do měřicího zařízení, je veden do jeho kladného vstupu. Druhý, přenášející referenční signál, do vstupu záporného. Jinými slovy, vodiči proudí stejný elektrický signál, ale s opačnou polaritou a měří se rozdíl napětí mezi vodiči. Toto napětí je tzv. plovoucí, a nemá tedy žádnou referenci k zemi, není uzemněno. Hlavní výhodou této metody je velká redukce šumu, neboť veškerý přidaný šum je stejný pro oba vodiče, a tudíž může být jednoduše odfiltrován. Nevýhodou však je, že diferenciální metoda, na rozdíl od metody se společnou zemí, vyžaduje dvojnásobný počet vodičů k přenosu signálu.



Obr. 3: Diferenciální metoda měření. Převzato a upraveno z [1].

1.4 Metoda se společnou zemí

Metoda se společnou zemí je nejjednodušší a nejvíce používanou metodou. Vodič ze zdroje, který nese napěťový signál, je zapojen do měřicího zařízení, zatímco druhý vodič je zapojen obvykle na společnou (systémovou) zem. Měří se zde napěťový rozdíl mezi signálem a zemí. Tato metoda však vykazuje jistý šum a je náchylná ke vzniku zemních smyček, které mohou být způsobeny rozdílnými úrovněmi zemního napětí na různých místech měřicího řetězce. Její výhodou je ale nižší počet vodičů potřebných pro přenos signálu, neboť pro každý měřicí kanál je vyžadován na měřicím zařízení pouze jeden analogový vstup AI (+), který je označován v anglické terminologii jako Analog Input, ale zem AI GND (-) je sdílána všemi vstupy.



Obr. 4: Měřicí metoda se společnou zemí. Převzato a upraveno z [1].

2. Sběrnice

Důvodem, proč jsou zde uváděny následující typy sběrnic, je jejich využití při komunikaci používaného systému NI myRIO a senzorických modulů.

2.1 I²C^[2]

I²C (Inter Integrated Circuit) je sériová interní datová sběrnice, jež slouží ke komunikaci a přenosu dat mezi různými mikrokontrolery a integrovanými obvody. Byla vyvinuta firmou Philips Semiconductor (nyní známou pod názvem NXP Semiconductors) v roce 1982. Rychlost základní verze sběrnice je 100 kbit/s.

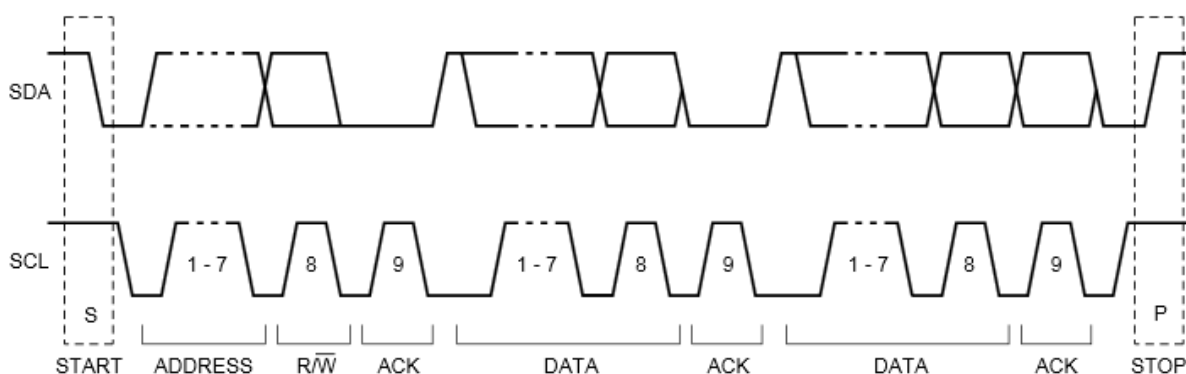
Je-li ke sběrnici připojeno měřicí zařízení, je mu automaticky přidělena unikátní adresa. Podle vykonávané funkce pak toto zařízení může pracovat jako vysílač, nebo přijímač. Mimo vysílač a přijímač jsou zařízení označována i jako tzv. master a slave (pán a sluha). Master je takové zařízení, které zahajuje a ukončuje přenos dat po sběrnici. Generuje navíc hodinový signál, jenž tento přenos řídí. Slave je jakékoliv zařízení, které je adresováno masterem. Sběrnice I²C je typu multi-master. To znamená, že přenos po sběrnici může řídit více zařízení, tedy více masterů.

Přenos po této sběrnici je obousměrný a probíhá pouze po dvou vodičích – SDA (serial data) a SCL (serial clock). SDA i SCL vodiče musí být připojeny ke kladnému napětí tzv. pull-up rezistory. Po elektrické stránce jsou linky zapojeny jako otevřený kolektor. Neprobíhá-li po sběrnici přenos dat, obě linky jsou ve stavu HIGH. Stav datové linky se může měnit, pouze je-li hodinový signál ve stavu LOW. Výjimkou jsou dvě speciální podmínky START a STOP. Obě podmínky jsou generovány masterem. Vyslání podmínky START zahajuje přenos dat po sběrnici, přičemž stav linky SDA se mění z HIGH na LOW při stálém HIGH stavu linky SCL. Podmínka STOP naopak proces přenosu dat ukončuje. Linka SCL je pro tuto podmínku ve stavu HIGH, SDC přechází z LOW na HIGH.

Přenos po sběrnici probíhá po jednotlivých bytech, přičemž nejvyšší bit (MSB – most significant bit) je vždy první. Po každém bytu je vyslán jeden ACK (acknowledge) bit, jenž potvrzuje příjem dat. Přijímač jím signalizuje vysílači, že daný byte byl úspěšně přijat a může být vyslán další.

Na obrázku 5 je znázorněn proces přenosu dat po sběrnici I²C. Na začátku je vyslána podmínka START. Slave zařízení je poté přidělena adresa. V základní verzi se využívá 7bitová adresace. Následující osmý bit určuje směr dat. Úroveň LOW značí zápis dat (WRITE), úroveň HIGH naopak značí žádost o data (READ). Jako devátý je vždy vyslán

ACK bit. Poté již následuje samotný přenos dat. Celý přenos je ukončen vysláním podmínky STOP.



Obr. 5: Přenos dat po sběrnici I²C. Převzato z [2].

2.2 SPI^[3, 4]

SPI (Serial Peripheral Bus) je synchronní sériová sběrnice vyvinutá firmou Motorola, která poskytuje rychlou, plně duplexní komunikaci mezi řídicím a periferními zařízeními. Všechna propojená zařízení se stejně jako u sběrnice I²C dělí na typ master a slave. Přenos po sběrnici SPI probíhá celkem po čtyřech vodičích: SCK (serial clock), MOSI (master out slave in), MISO (master in slave out) a SS (slave select).

Na rozdíl od sběrnice I²C může přenos po SPI řídit pouze jediné master zařízení, které zahajuje přenos dat nakonfigurováním vhodného hodinového signálu. Nastavením logické 0 na SS linku následně vybírá slave zařízení, s nímž chce komunikovat. Master poté posílá po lince MOSI jednotlivé bity pro slave zařízení. To posílá bity zpět masterovi po MISO lince. Typický přenos probíhá po 8bitových slovech. Je však možné použít i jinou velikost, například slovo 16bitové.

Kromě hodinového signálu musí master nastavit i fázi a polaritu hodin. Ty se označují zkratkami CPHA (clock phase) a CPOL (clock polarity). Obě tyto veličiny mohou nabývat hodnoty logická 0 či 1. Kombinace různých hodnot CPHA a CPOL vedou k různým 4 módům pro komunikaci mezi master a slave zařízeními.

CPHA	CPOL	Mód
0	0	0 – data jsou přijímána v okamžiku náběžné hrany, odesílání probíhá v okamžiku sestupné hrany (první hrana)
1	0	1 – data jsou přijímána v okamžiku sestupné hrany, odesílání probíhá v okamžiku náběžné hrany (druhá hrana)

0	1	2 – data jsou přijímána v okamžiku sestupné hrany, odesílání probíhá v okamžiku náběžné hrany (první hrana)
1	1	3 – data jsou přijímána v okamžiku náběžné hrany, odesílání probíhá v okamžiku sestupné hrany (druhá hrana)

Tab 1: Módy komunikace po sběrnici SPI.

Protokol SPI obecně nedefinuje žádnou strukturu přenosu dat. Ta je ponechána čistě na uživateli. Většina zařízení nicméně dodržuje jeden základní formát odesílání a příjmu dat.

3. NI myRIO-1900^[5, 6, 7]

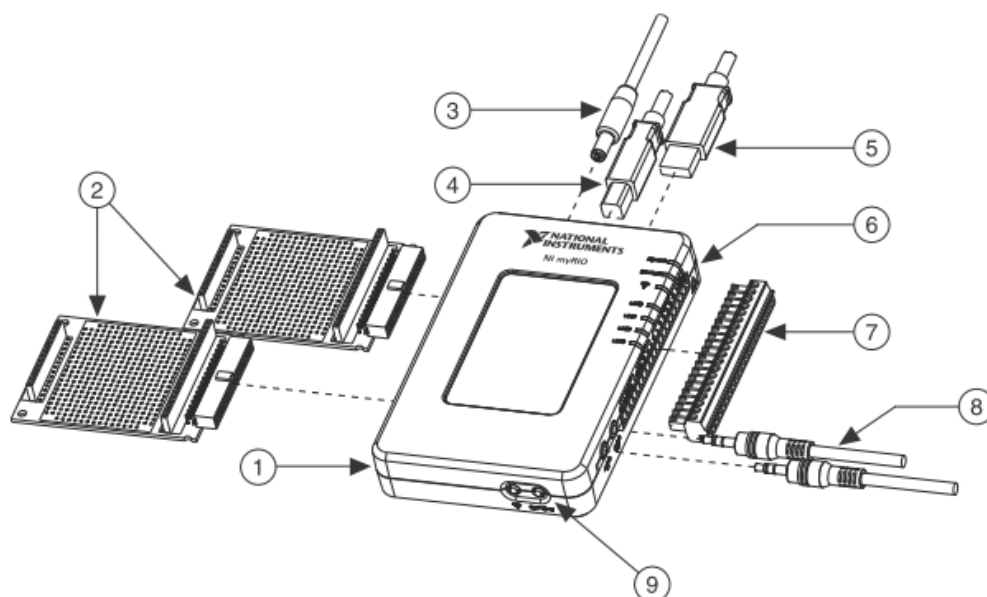
Kompaktní systém NI myRIO-1900 (viz obrázek 6) od firmy National Instruments je přenosné tzv. rekonfigurovatelné zařízení, jež bylo vyvinuto za účelem motivovat studenty k vývoji vlastních řídicích, mechatronických či robotických systémů. Využívá stejné LabVIEW RIO architektury, na níž jsou založena i jiná, profesionální zařízení, jako jsou Single Board RIO, Compact RIO či PXI.

Zařízení je vybaveno 667 MHz dvoujádrovým ARM Cortex-A9 programovatelným procesorem a programovatelným hradlovým polem firmy Xilinx Zynq-7010.



Obr. 6: NI myRIO-1900. Převzato a upraveno z [5].

Na obrázku 7 je znázorněno myRIO se všemi svými komponenty, které jsou popsány v tabulce 2.



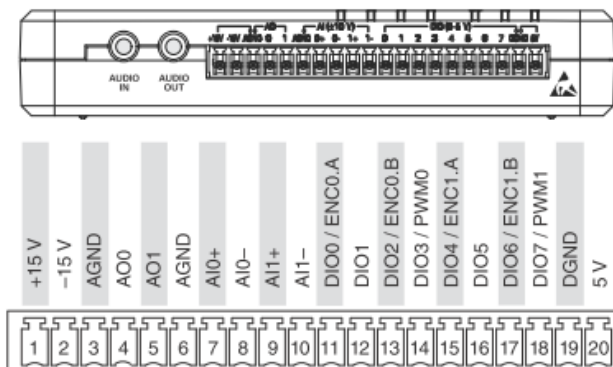
Obr. 7: NI myRIO-1900 a jeho vstupní komponenty. Převzato z [7].

1 NI myRIO-1900	6 LEDky
2 myRIO rozšiřující desky	7 Mini systémový port
3 Napájecí kabel	8 Audio in/out kabely
4 USB kabel (programování)	9 Tlačítko
5 USB host kabel (záloha dat)	

Tab. 2: Vstupní komponenty pro NI myRIO-1900. Převzato z [7].

NI myRIO-1900 má analogové vstupy ($8 \times \text{AI}$), analogové výstupy ($8 \times \text{AO}$), digitální vstupy/výstupy ($8 \times \text{DIO}$), audio vstup/výstup a napájecí vstup. Komunikace s řídicím počítačem probíhá přes rozhraní USB 2.0, případně lze využít i bezdrátovou síť wifi.

Konektor C pro mini systémový port také zahrnuje AI, AO a DIO i napěťový výstup. Některé piny obstarávají jak primární, tak i sekundární funkce. Rozložení jednotlivých pinů a jejich funkce jsou uvedeny na následujícím obrázku 9 a tabulce 4.



Obr. 9: Primární/sekundární signály konektoru C. Převzato z [7].

Název signálu	Reference	Směr	Popis
+15V/-15V	AGND	Výstup	+15 V/-15 V napěťový výstup
AI0+/AI0-; AI1+/AI1-	AGND	Vstup	±10 V, kanály pro diferenciální analogový vstup
AO	AGND	Výstup	±10 V, RSE analogový výstup
AGND	N/A	N/A	Reference pro AI a AO a +15 V/-15 V napěťový výstup
+5V	DGND	Výstup	+5 V napěťový výstup
DIO	DGND	Vstup nebo výstup	Digitální linky s 3,3 V výstupem, 3,3 V/5 V kompatibilním vstupem
DGND (0..7)	N/A	N/A	Reference pro DIO a +5 V napěťový výstup
AUDIO IN	N/A	Vstup	Levý a pravý audio vstup pro stereo konektor
AUDIO OUT	N/A	Výstup	Levý a pravý audio výstup pro stereo konektor

Tab. 4: Primární/sekundární signály konektoru C. Převzato z [7].

3.1.1 Analogové vstupní kanály

Kanály analogových vstupů se na myRIO nachází na konektorech A a B, konektoru C a na konektoru pro stereo audio vstup. Všechny analogové vstupy jsou multiplexovány na jediný analogově-digitální převodník, který vzorkuje všechny kanály.

Konektory A a B mají čtyři analogové vstupní kanály (AI0-AI3) se společnou zemí na jeden konektor, kterými lze měřit signály v rozsahu 0-5 V. Konektor C má dva vysokoimpedanční diferenciální analogové vstupní kanály (AI0-AI1), kterými lze měřit signály až do hodnoty ± 10 V. Audio vstup zahrnuje levý a pravý stereo vstup s rozsahem $\pm 2,5$ V.

3.1.2 Analogové výstupní kanály

Kanály analogových výstupů se vyskytují na konektorech A a B, konektoru C a na konektoru pro audio výstup. Každý analogový výstupní kanál má jednoúčelový digitálně-analogový převodník, přičemž každý z nich je ovládán dvěma komunikačními sběrnicemi z FPGA.

Konektory A a B mají dva výstupní analogové kanály (AO0-AO1) na konektor a lze jimi generovat signály o úrovni 0-5 V. Konektor C má dva analogové výstupní kanály (AO0-AO1), kterými lze generovat signály s úrovní ± 10 V. Pravý a levý audio výstup slouží pro připojení sluchátek.

3.1.3 Digitální vstupně-výstupní linky

Na konektorech A, B a C se vyskytují 3,3 V DIO linky pro obecné použití. Konektory A a B mají každý 16 DIO linek. Konektor C disponuje celkem 8 DIO linkami. Jednotlivé linky mohou být naprogramovány individuálně, a to buď jako vstup, nebo výstup. Referencí pro všechny DIO linky je DGND.

3.2 Tlačítka

3.2.1 Tlačítko Reset

Stisknutím tlačítka Reset dojde k restartování procesoru a pole FPGA.

Držením tlačítka po dobu 5 sekund dojde k restartování procesoru a FPGA, a NI myRIO-1900 je navíc spuštěno v tzv. safe (bezpečnostním) módu. Zařízení se nyní připojí pouze ke službám, jež jsou nutné k aktualizaci jeho konfigurace a instalaci softwaru. Komunikace se zařízením, které se nachází v safe módu, je umožněna skrz UART linky na konektoru A.

3.2.2 Tlačítko Wireless

Stisknutím tohoto tlačítka dojde ke spuštění konfiguračního nástroje pro bezdrátovou komunikaci.

3.2.3 Tlačítko Button0

Není-li toto tlačítko stisknuto, jeho výstupem je logická nula. Při stisknutí vykazuje hodnotu logické jedničky.

Je uživatelsky definovatelné pro vývoj měřicích a řídicích aplikací.

3.3 LED Indikátory

3.3.1 Power LED

LED kontrolka označována jako Power LED svítí vždy, když je zařízení zapnuto. Indikuje, že zařízení je připojeno k vhodnému napájecímu zdroji.

3.3.2 Status LED

Při běžných operacích je stavová kontrolka označována jako Status LED vypnutá. Je-li NI myRIO-1900 připojeno k napájení, spustí se tzv. power-on self test (POST), během něhož se rozsvítí jak Status, tak i Power LED. Zhasnutí Status LED potom indikuje konec POST testu. Blikání této LED indikuje, že se na zařízení vyskytla chyba.

Tabulka 5 udává spojitost mezi počtem bliknutí Status Led a náležící chybou.

Počet bliknutí	Označení
2	Zařízení zjistilo chybu v softwaru. Tato chyba může nastat, je-li přerušen proces upgradu softwaru. Lze vyřešit přeinstalováním softwaru.
3	Zařízení je v safe módu.
4	Došlo k opakovanému pádu softwaru, přičemž mezi jednotlivými pády zařízení nebylo restartováno ani odpojeno od napájecího napětí. K této chybě může dojít, má-li zařízení nedostatek paměti.
Neustávající blikání/svícení	Zařízení zjistilo neopravitelnou chybu. Je nutné kontaktovat výrobce National Instruments.

Tab. 5: Indikace stavové LED kontrolky. Převzato z [7].

3.3.3 LED 0-3

Tyto LED lze využít při ladění uživatelských aplikací či ke snadnému zjištění stavu aplikace. Při logické jedničce tyto LED svítí, při logické nule jsou naopak vypnuty.

3.4 Akcelerometr

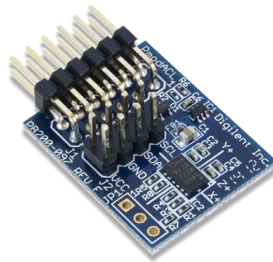
NI myRIO-1900 obsahuje také zabudovaný tříosý akcelerometr s rozsahem až $\pm 8g$. Rozlišení akcelerometru je 12 bitů a jeho vzorkovací rychlost nabývá hodnoty 800 vzorků za sekundu.

4. Senzory

Následující senzory jsou dodávány v sadě společně se systémem NI myRIO-1900.

4.1 PmodACL^[8]

PmodACL představuje modul digitálního akcelerometru ADXL345. S řídicím počítačem může PmodACL komunikovat prostřednictvím 12pinového SPI konektoru či přes 2x4pinový konektor sběrnice I²C. Modul je zobrazen na obrázku 10.



Obr. 10: Digitální akcelerometr PmodACL. Převzato z [8].

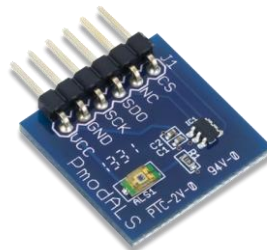
4.1.1 ADXL345^[9]

ADXL345 je drobný tříosý akcelerometr s mimořádně nízkou spotřebou energie. Jeho měřicí rozsah nabývá hodnot až ± 16 g. Je schopen dosáhnout až 13bitového rozlišení. Výstupní data jsou formátována jako 16bitový dvojkový doplněk.

Digitální akcelerometr ADXL345 umožňuje měřit jak statické gravitační zrychlení v podobě naklonění či poklepání na senzor, tak i zrychlení dynamické, způsobené náhlým pohybem či otřesem. Díky svému vysokému rozlišení je navíc senzor schopen zaznamenat změny náklonu menší než 1° .

4.2 PmodALS^[10]

Digilent PmodALS, viz obrázek 11, představuje senzor osvětlení.



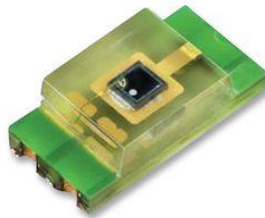
Obr. 11: Senzor osvětlení Digilent PmodALS. Převzato z [10].

Na senzoru se nachází 6pinový konektor, prostřednictvím něhož senzor komunikuje po sběrnici SPI. Samotné měření osvětlení zprostředkovává fototranzistor Vishay

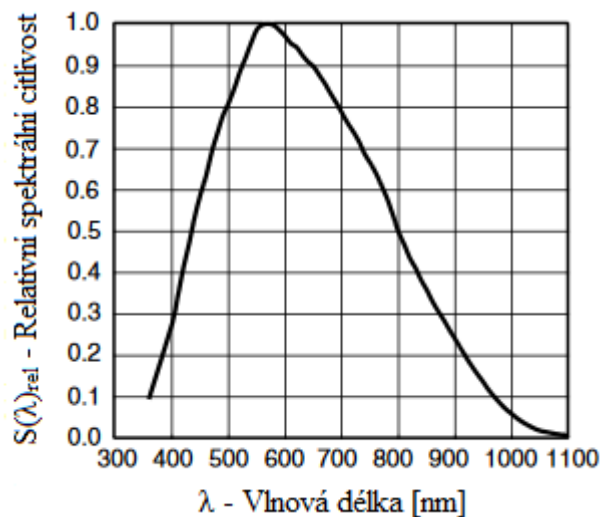
Semiconductor's TEMT6000X01. Převod analogového signálu na digitální je zajištěn pomocí analogově-digitálního převodníku ADC081S021 od Texas Instruments. Míra naměřeného světla, kterému je senzor vystaven, určuje velikost napětí procházejícího analogově-digitálním převodníkem, který jej poté konvertuje na 8bitová data.

4.2.1 Fototranzistor Vishay Semiconductor's TEMT6000X01^[11, 12]

TEMT6000X01 je křemíkový NPN epitaxně planární fototranzistor v miniaturním transparentním obalu. Je citlivý na oblast viditelného světla od 440 do 800 nm, obdobně jako lidské oko. Nejvyšší citlivost vykazuje pro vlnovou délku 570 nm. Pro úhly větší než 60° jeho citlivost klesá. Je schopen měřit intenzitu osvětlení v rozsahu cca od 10 do 1000 luxů. Fototranzistor TEMT6000X01 a jeho spektrální charakteristika se nachází na obrázcích 12 a 13.



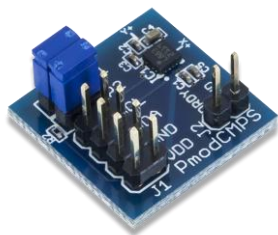
Obr. 12: Fototranzistor TEMT6000X01. Převzato z [12].



Obr. 13: Relativní spektrální citlivost vs. vlnová délka. Převzato a upraveno z [11].

4.3 PmodCMPS^[13]

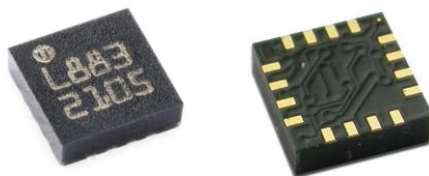
PmodCMPS využívá senzor Honeywell HMC5883L, jenž funguje jako tříosý kompas. Komunikace se senzorem probíhá prostřednictvím sběrnice I²C. PmodCPMS je zobrazen na obrázku 14.



Obr. 14: Třiosý kompas Digilent PmodCMPS. Převzato z [13].

4.3.1 Honeywell HMC5883L^[14]

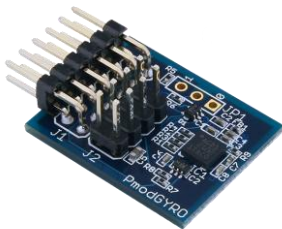
Honeywell HMC5883L je třiosý digitální magnetometr, určený pro měření magnetických polí nízkých hodnot. Jeho měřicí rozsah je ± 8 gauss, s rozlišením až ± 5 miligauss. Senzor využívá technologie anizotropní magnetorezistivity. Je k vidění na obrázku 15.



Obr. 15: Senzor Honeywell HMC5883L. Převzato z [14].

4.2 PmodGYRO^[15, 16]

Digilent PmodGYRO je třiosý gyroskop, který je založený na senzoru STMicroelectronics L3G4200D. Je určen k měření úhlové rychlosti kolem osy. Hodnota úhlové rychlosti je udávána ve stupních za sekundu. Integrací této hodnoty lze získat i velikost relativního úhlového posunutí. Gyroskop lze zhlédnout na následujícím obrázku 16.

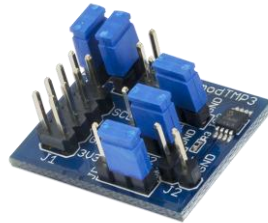


Obr. 16: Třiosý gyroskop Digilent PmodGYRO. Převzato z [15].

Měření úhlové rychlosti je možné provádět při různých rozlišeních, a to 250, 500 či 2000 stupňů za sekundu. Gyroskop disponuje 12pinovým konektorem, který umožňuje komunikaci přes SPI a I²C sběrnice.

4.5 PmodTMP3^[17]

Digilent PmodTMP3 je teplotní senzor, který poskytuje informace o teplotních podmínkách měřeného prostředí. Je založený na mikročipu TCN75AVUA. Je vyobrazen na obrázku 17.

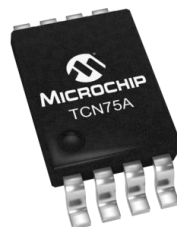


Obr. 17: Teplotní senzor Digilent PmodRMP3. Převzato z [16].

Na ploše senzoru se nachází několik konektorů. Prvním je 8pinový konektor, který umožňuje komunikaci přes I²C, případně propojení s dalšími I²C zařízeními. Dále tři 3pinové konektory, jež slouží k výběru I²C adresy čipu a 2pinový konektor, díky němuž lze kontrolovat, nepřekročila-li měřená teplota prahovou hodnotu definovanou uživatelem.

4.5.1 TCN75AVUA^[18]

Mikročip TCN75AVUA, viz obrázek 18, je digitální teplotní senzor, který umožňuje měření teploty v rozsahu od -40 °C do $+125\text{ °C}$. Přesnost čipu nabývá běžně hodnoty $\pm 1\text{ °C}$, může však být i $\pm 2\text{ °C}$. Čip nabízí celkem čtyři uživatelsky programovatelné registry, což umožňuje větší flexibilitu při vytváření měřicích aplikací. Data o teplotě, naměřená tímto senzorem, mohou být přes konfigurační registr mikročipu TCN75AVUA naprogramována pro rozlišení 9 až 12 bitů ($0,5\text{ °C}$ až $0,0625\text{ °C}$), přičemž doba převodu nabývá hodnot 30 až 240 ms. Každý bit tedy zdvojnásobuje tuto dobu.



Obr. 18: Mikročip TCN75A. Převzato z [17].

5. Realizace práce

Jak již bylo zmíněno v úvodu, je hlavním cílem této diplomové práce vytvořit obslužný software pro správu měření s vybranými senzorickými členy a pro zálohování jimi naměřených dat. V rámci této diplomové práce tedy byly pomocí softwaru LabVIEW vytvořeny aplikace pro měření následujících veličin: teplota, osvětlení, úhlová rychlost a úhlové posunutí, vibrace, magnetická indukce a rozložení magnetického pole. LabVIEW (v anglickém jazyce Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), je vývojové prostředí, založené na grafickém programovacím jazyku, který se označuje jako „G“. Bylo vyvinuto firmou National Instruments v roce 1986, a téměř každý rok je vyvíjena nová verze. Stejně tak všechny programy, vytvořené v rámci této práce, byly vytvořeny dle vzorů pomocných programů pro myRIO od firmy National Instruments, jež obsahovaly základní VI pro komunikaci se senzory (ty lze volně stáhnout na webové stránce www.ni.com/academic/myrio/project-guide-vis.zip).

Po vypracování vhodných programů byla provedena různá měření. Byla proměřena průměrná teplota a intenzita osvětlení v laboratoři Katedry experimentální fyziky (KEF). Dále byly změřeny vibrace rámu poškozeného ventilátoru a různých částí kryostatu s tzv. uzavřeným cyklem oběhu stlačeného helia. Jako poslední bylo změřeno elektromagnetické rušení, pocházející z přírodních kabelů onoho zmiňovaného kryostatu.

5.1 Měření vibrací

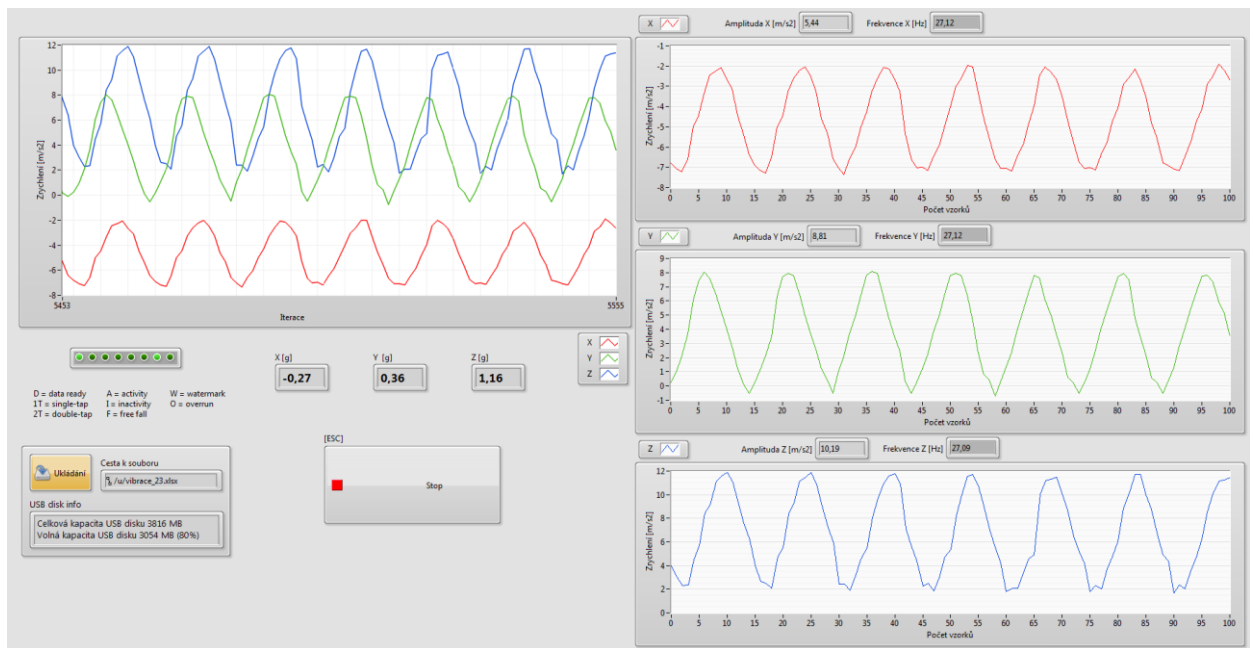
Pro měření vibrací byl využit modul třísosého digitálního akcelerometru PmodACL. Komunikace senzoru s NI myRIO probíhala po sběrnici I²C.

5.1.1 Program pro měření vibrací

Měřicí program, jehož čelní panel je k vidění na obrázku 19, umožňuje uživateli sledovat průběh vibrací, a to v podobě zrychlení v jednotkách jak g tak i v m/s^2 . Graf, který je umístěn po levé straně programu, zobrazuje průběh zrychlení pro všechny tři osy X, Y i Z. V pravé části lze potom pozorovat průběh vibrací v jednotlivých grafech pro každou osu zvlášť. Nad každým grafem jsou rovněž umístěny indikátory amplitudy a frekvence zrychlení pro příslušnou osu. Další tři indikátory, nacházející se v centrální oblasti čelního panelu, zobrazují hodnoty zrychlení pro jednotlivé osy v jednotkách g. Na čelním panelu se dále nachází pole LED indikátorů, které uživateli indikuje zdroje přerušení pocházející z akcelerometru. Data ready je aktivní vždy, když jsou k dispozici nově naměřená data. Single tap slouží k indikaci

poklepání na senzor. Momentálně je senzor naprogramován tak, aby indikoval pouze jednotlivá poklepání ve směru osy X. Trvání poklepání i jeho intenzitu v jednotkách g je možné měnit. Dále je možné upravit program tak, aby senzor indikoval i dvojí poklepání – double tap, že padá volným pádem – free fall, nebo že zaznamenal hodnotu zrychlení větší, než je hodnota uložená v příslušném registru – activity. LED indikátor, který náleží k přerušení watermark, indikuje, že počet vzorků v paměti FIFO je roven hodnotě uložené v registru. Poslední LED indikátor pro overrun je aktivní vždy, když jsou nepřečtená data nahrazena již novými daty. Jestliže uživatel požaduje, aby se veškerá naměřená data ukládala, je nutné, aby bylo tlačítko Ukládání aktivní. Je-li tomu tak, pak veškerá naměřená data jsou ukládána na USB disk připojený k NI myRIO, který jej vidí primárně jako jednotku u (další možná označení jsou v, w či x). Dva textové indikátory na čelním panelu uživateli ukazují jak celkovou, tak i volnou paměť připojeného disku, a také cestu k uloženému souboru s daty. Chod programu může uživatel ukončit tlačítkem Stop. Vyskytne-li se však v průběhu měření chyba, program zobrazí chybové hlášení a dojde k vynucenému ukončení. Princip ukončení programu je pro všechny následující programy totožný, a nebude tedy nadále znovu zmiňován.

Blokový diagram programu je možné vidět v příloze 1. Na počátku programu se nastaví všechny parametry pro správnou komunikaci, což zahrnuje správnou adresaci pinů, k nimž je senzor připojen, a nastavení vhodné rychlosti I²C komunikace. Defaultně je nastaven standardní mód, tedy 100 kB/s. Dále se přečtou hodnoty zapisované do jednotlivých registrů a zařízení se tak inicializuje. Současně se na počátku vytvoří tři pole o 100 hodnotách, jež se poté, již při běžícím programu, neustále přepisují nově získanými daty z akcelerometru a zobrazují se v grafech. Data vyčítaná ze senzoru jsou formátována v bytech, a musí tedy být převedena nejprve na jednotky g. Hodnota v jednotkách g se získá tak, že hodnoty v bytech se vydělí hodnotou citlivosti senzoru. Ta je závislá na nastaveném měřicím rozsahu a rozlišení senzoru. Pro plné rozlišení je však bez ohledu na měřicí rozsah rovna hodnotě typicky 256. Z jednotek je hodnota zrychlení dále převedena na m/s². Zde je převod jednodušší, data jsou pouze vynásobena konstantou 9,81. Takto převedená data se poté zobrazují jak společně do grafu, který běží kontinuálně, tak jednotlivě do grafů, které zobrazují právě výše zmíněných posledních 100 hodnot. Ze získaného signálu se poté pro jednotlivé osy vypočítávají hodnoty amplitudy a frekvence zrychlení. Je-li navíc povoleno ukládání hodnot, dojde na počátku ke zjištění volného místa na připojeném USB disku a průběžně se zde každou sekundu ukládají naměřená data.



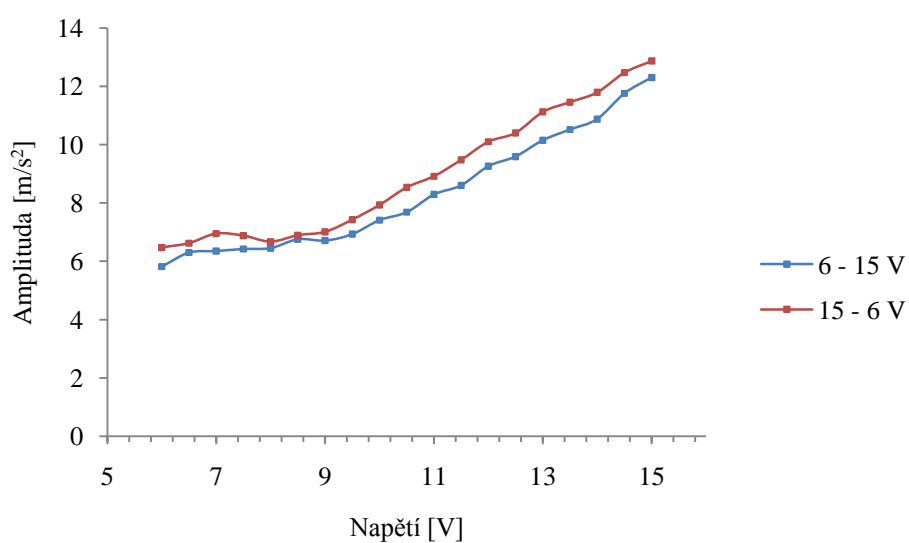
Obr. 19: Čelní panel programu pro měření vibrací.

5.2.2 Realizace měření vibrací

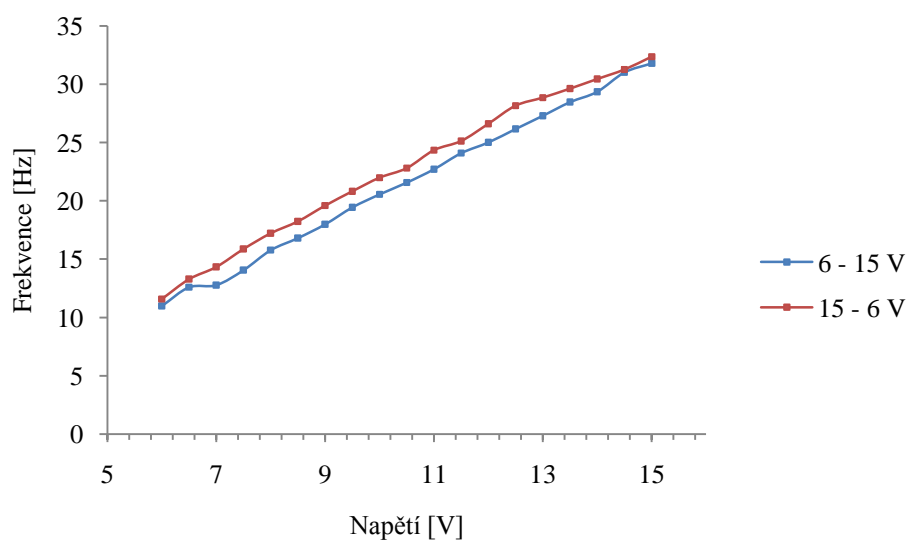
Vibrace byly měřeny pro dvě různá zařízení. Jako první se měřily vibrace 12 V ventilátoru značky Nidec BETA V, druhým zařízením byl potom kryostat s názvem Cryostation od firmy Montana Instruments. Ventilátor, jenž byl pro měření využit, měl ulomenou jednu lopatku, a tedy po spuštění vykazoval jisté vibrace. Měření probíhalo následovně. Ventilátor byl připojen ke zdroji elektrického napětí a na jeho rám byl připevněn senzor PmodACL tak, že osa X senzoru směřovala do středu ventilátoru. Nejnižší hodnota napětí, pro kterou se lopatky ventilátoru počaly otáčet, byla 6 V. Měření tedy probíhalo od této hodnoty. Měřila se amplituda a frekvence kmitání rámu ventilátoru postupně od již zmíněné hodnoty 6 V až do hodnoty 15 V, s krokem po 0,5 V. Po dosažení hodnoty 15 V bylo provedeno druhé měření, tentokrát však pro opačný směr. Napětí tedy bylo snižováno zpět na 6 V. Při měření byl ventilátor pružně podložen vhodnou podložkou, aby nedocházelo k přenosu vibrací. Průběh obou veličin byl podle očekávání téměř lineární. Pro osu X lze průběh obou veličin shlédnout v grafech 1 a 2. Měřicí sestava s ventilátorem je k vidění na obrázku 20.



Obr. 20: Měřicí sestava – napěťový zdroj, NI myRIO, PmodACL a ventilátor.

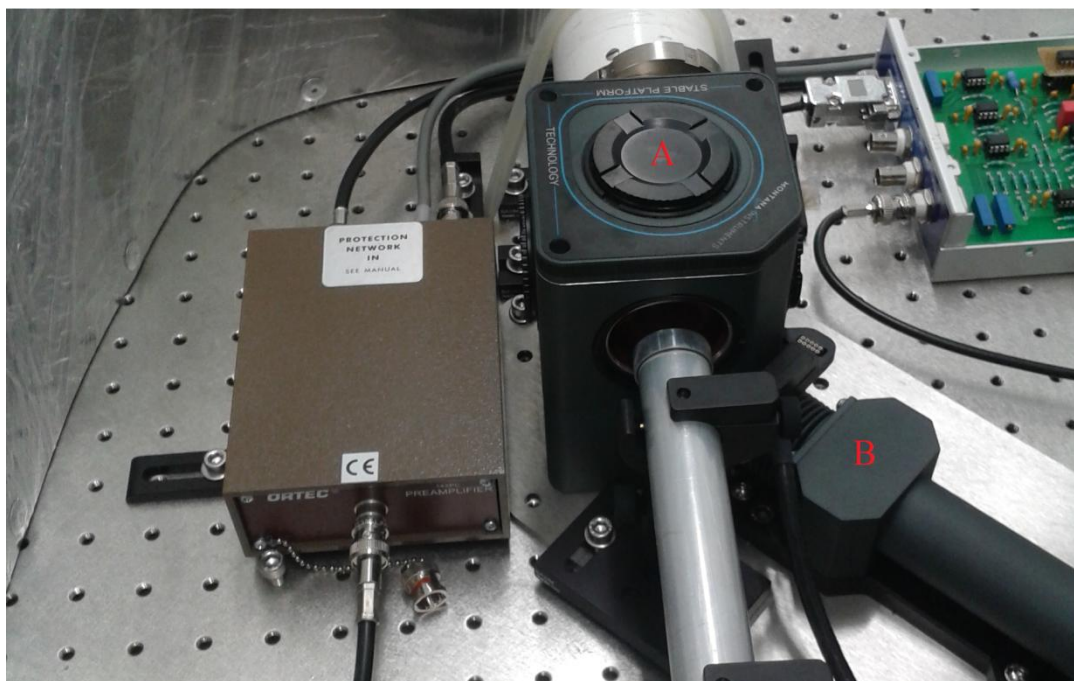


Graf 1: Průběh amplitudy zrychlení rámu ventilátoru v závislosti na napájecím napětí.

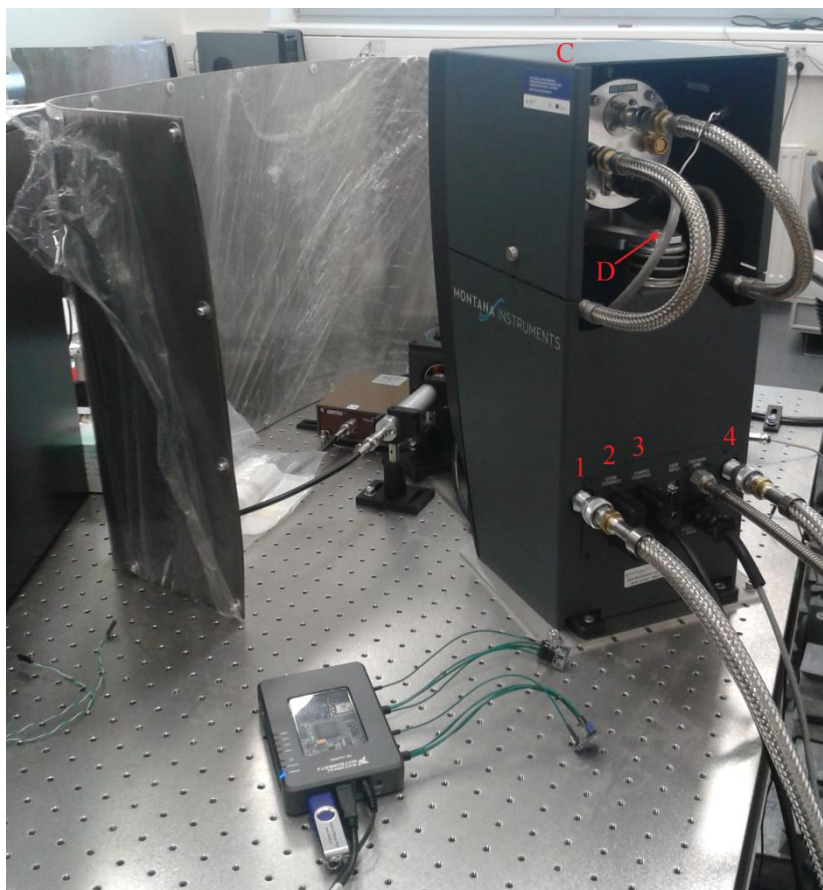


Graf 2: Průběh frekvence kmitů rámu ventilátoru v závislosti na napájecím napětí.

Druhým zařízením, na němž byly měřeny vibrace, byl, jak bylo již výše zmíněno, kryostat Cryostation firmy Montana Instruments. Jedná se o tzv. kryostat s uzavřeným cyklem, který z důvodu svého principu činnosti generuje vibrace. Sensor byl postupně umisťován na čtyři různá místa kryostatu (viz obrázek 21 a 22) a byla měřena hodnota vibrací. Ve vypnutém stavu přístroj nevykazoval žádnou známku vibrací, proto zde bude rozebrán pouze případ pro zapnutý přístroj. Při zapnutém kryostatu byly zaznamenány velmi slabé vibrace pouze na dvou místech, a to u vrcholu chladicí komory a u odpružení chladicího systému. Ve zbývajících dvou umístěních senzoru nebyly naměřeny téměř žádné hodnoty vibrací. Jelikož sensor měří i statické zrychlení, v tomto případě v podobě gravitačního zrychlení, nejsou výsledky měření dost průkazné, neboť takto malý signál je ztracen v šumu. S jistotou lze říci pouze to, že přístroj nějaké vibrace, byť malé, nepochybně vykazuje. Nicméně pro měření takto slabých vibrací by bylo vhodnější využít jiný, citlivější přístroj s vyšším rozlišením.



Obr. 21: Umístění akcelerometru PmodACL při měření vibrací kryostatu Cryostation firmy Montana Instruments. A – vrchol chladicí komory, B – vlnovec. Další dvě umístění C – vrchol přístroje a D – odpružení chladicího systému, jsou znázorněny na obrázku 22.



Obr. 22: C, D – umístění akcelerometru PmodACL na kryostatu. Dále umístění senzoru PmodCMPS při měření elektromagnetického rušení (viz dále): 1 – vstup pro stlačené helium, 2 – kabel pro řízení chladicí hlavy, 3 – kabel pro řízení vzorků (měření teploty, ohřev...), 4 – výstup stlačeného helia.

5.2 Měření osvětlení

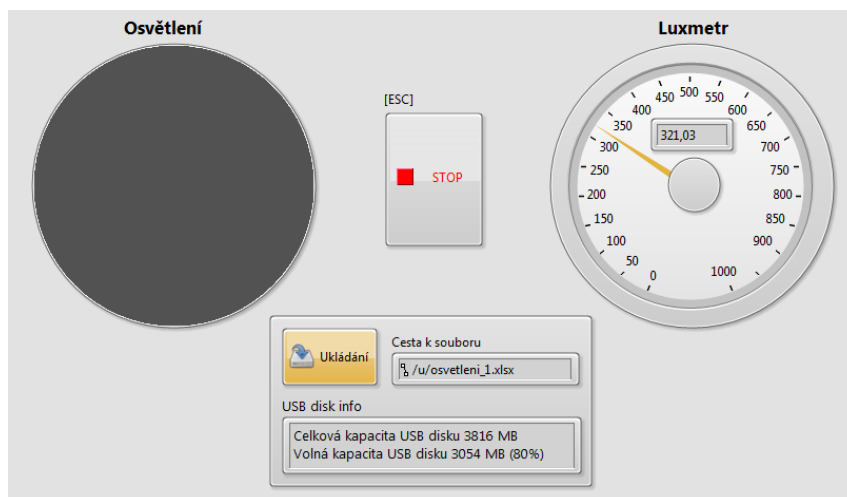
Míra osvětlení byla měřena senzorem PmodALS. Komunikace s NI myRIO probíhala přes sběrnici SPI.

5.2.1 Program pro měření osvětlení

Program umožňuje uživateli měřit intenzitu okolního osvětlení. Na čelním panelu (viz obrázek 23) se nachází světelný indikátor, který simuluje naměřenou intenzitu osvětlení, a dále číselník, jenž zobrazuje hodnotu naměřeného osvětlení v luxech. Je-li aktivní tlačítko Ukládání, jsou veškeré naměřené hodnoty osvětlení ukládány na USB disk připojený k NI myRIO.

Blokový diagram programu lze vidět v příloze 2. Tento program je poměrně jednoduchý. Pomocí expresních funkcí se naváže komunikace se senzorem. Naměřená data jsou opět v binární hodnotě, převádí se tedy na hodnotu osvětlení v luxech. Navíc dochází k převodu na

RGB hodnotu. Je-li navíc zapnuté ukládání dat, dojde při spuštění programu k přečtení kapacity připojeného USB disku a data se opět ukládají každou sekundu. Princip ukládání je stejný pro všechny programy, a nebude tedy dále znovu popisován.



Obr. 23: Program pro měření hodnoty okolního osvětlení.

5.2.2 Realizace měření osvětlení

Senzor PmocASL byl využit při měření osvětlení v laboratoři na pracovišti KEF. Měření probíhalo po dobu necelých 6 dní. Společně s osvětlením byla navíc měřena i teplota v laboratoři při spuštěné klimatizaci. Poté bylo provedeno druhé, obdobné měření, se zatáhnutými žaluziemi. To však probíhalo po pouhé dva dny. Měření byla vždy započata a ukončena v odpoledních hodinách. Výsledný graf naměřených hodnot osvětlení se nachází v přílohách 6 (pro roztáhnuté žaluzie) a 7 (pro zatáhnuté žaluzie).

Na průběhu prvního grafu, tedy při roztáhnutých žaluziích, je pěkně vidět průběžný nárůst a pokles intenzity osvětlení se změnou denní doby. Střední hodnota nárůstu osvětlení z nuly na průměrnou hodnotu 950 lux za jednu hodinu, činila zhruba (235 ± 5) lux. Při stmívání byla střední hodnota poklesu intenzity osvětlení analogická.

Pro druhé měření při zatáhnutých žaluziích již průběh měření, zobrazený na druhém grafu, nabývá zcela jiných hodnot. Je zřejmé, že střední hodnota pro nárůst i pokles intenzity osvětlení má výrazně pozvolnější průběh. Ostrá maxima lze přisoudit rozsvícení světel v laboratoři.

5.3 Měření magnetického pole

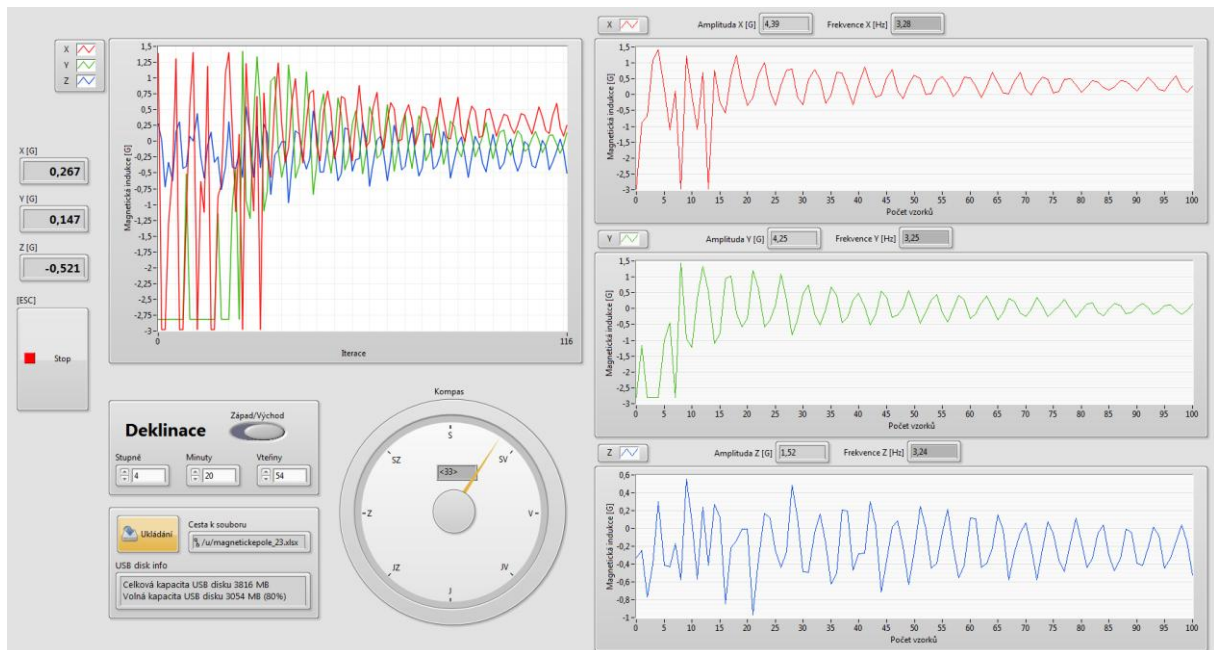
Pro měření magnetické indukce a rozložení magnetického pole bylo využito modulu 3D kompasu PmodCMPS. Komunikace s NI myRIO probíhala po I²C sběrnici.

5.3.1 Program pro měření magnetického pole

Čelní panel programu je zobrazen na obrázku 24. Rozložení prvků je obdobné jako u programu pro měření vibrací. Na levé straně se nachází graf, jenž zobrazuje velikost magnetické indukce a rozložení magnetického pole pro všechny tři osy X, Y a Z. Nalevo od něj lze hodnoty sledovat i na číselných indikátorech. Magnetická indukce je vyjádřena v jednotkách G. Grafy umístěné vpravo potom zobrazují průběh těchto hodnot zvlášť pro jednotlivé osy. Navíc jsou zde umístěny indikátory amplitudy a frekvence měřeného magnetického pole vždy pro příslušnou osu. Vzhledem k malému měřicímu rozsahu senzoru (8 G – tj. 80 mT) je senzor nevhodný pro měření magnetických polí silnějších magnetů, ale hodí se spíše pro měření případných elektromagnetických rušení přístrojů či jejich vedení. Mimo to lze tento senzor použít samozřejmě i pro měření magnetického pole Země, jehož hodnota se pohybuje někde mezi 25 μT až 65 μT . Pro použití senzoru jako orientačního prvku se tedy na čelním panelu nachází i kompas. Pro správnou funkci kompasu je ale nutné nastavit přesnou hodnotu deklinace místa, kde se uživatel právě nachází. Deklinace, značena δ , vyjadřuje úhlovou odchylku mezi magnetickým a zeměpisným severním pólem Země. Magnetický severní pól je místo, do něhož vstupují indukční čáry magnetického pole Země. Jako zeměpisný severní pól se naopak označuje místo, v němž zemská osa protíná zemský povrch. Magnetická deklinace se tedy liší pro různá místa na Zemi. Také se nepatrně mění i v čase, neboť rotace země způsobuje pohyb severního magnetického pólu vůči pólu zeměpisnému. Dle úmluvy navíc hodnota deklinace nabývá kladných hodnot, vyskytuje-li se magnetický sever na východ od skutečného severu. V opačném případě je hodnota deklinace záporná. Přesnou hodnotu deklinace lze zjistit například na stránkách National Centres for Environmental Information (dostupné zde: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>).

Blokový diagram programu se nachází v příloze 3. Po spuštění programu se přečtou hodnoty všech registrů zařízení a dojde k jeho konfiguraci a inicializaci. Současně se vytvoří tři pole o 100 hodnotách, jejichž hodnoty se v průběhu měření neustále přepisují nově získanými daty o indukci magnetického pole. Princip je stejný jako v programu pro měření vibrací. Data ze senzoru se opět musí převést z bytů na jednotky G. Ke konverzi dochází při vydělení hodnoty v bytech ziskem senzoru. Hodnota zisku závisí na právě nastaveném měřicím rozsahu senzoru. Navíc musí být provedena korekce hodnot pro osy X a Y, aby senzor ukazoval přesné hodnoty. Takto získané hodnoty magnetické indukce jsou poté zobrazovány společně i odděleně v příslušných grafech. Ze signálů se dále získává hodnota amplitudy a frekvence působícího magnetického pole. Hodnoty magnetické indukce jsou rovněž převedeny do

polární formy, čímž je umožněna indikace světových stran na kompasu. K této výsledné hodnotě je poté navíc přičtena či odečtena hodnota magnetické deklinace.



Obr. 24: Čelní panel programu pro měření intenzity a rozložení magnetického pole.

5.3.2 Realizace měření magnetického pole

Senzor PmodCMPS byl využit při měření elektromagnetického rušení na přívodních kabelech kryostatu Cryostation firmy Montana Instruments. Zapojení jednotlivých kabelů je k vidění na obrázku 22. Byla provedena dvě měření. První měření probíhalo při vypnutém zařízení. Druhé měření již proběhlo za chodu zařízení, kdy kryostat chladil na teplotu 4,5 K. Před měřením požadovaných hodnot elektromagnetického rušení, byla navíc sejmuta hodnota magnetického pole Země, která se pro osu Y pohybovala kolem 208 mG. Touto osou byl posléze senzor pokládán paralelně ke všem přívodním kabelům kryostatu. Po vyhodnocení všech výsledků měření bylo zjištěno, že počáteční frekvence magnetického pole, vyskytujícího se kolem přívodních kabelů, oscilovala kolem hodnoty 1,3 Hz. Odchylna od této hodnoty, se ve většině případů pohybovala v řádu setin až tisícín. Po chladícím procesu hodnota frekvence vzrostla o ± 4 Hz a kolísala tedy kolem hodnoty 5,3 Hz. Detailněji lze naměřené hodnoty magnetické indukce a frekvence přítomného magnetického pole kolem přívodních kabelů kryostatu shlédnout níže v tabulce 6 a 7.

Měření 1	Indukce magnetického pole [G]
Konektor pro vstup stlačeného helia	$0,098 \pm 0,002$
Kabel pro řízení chladicí hlavy	$0,135 \pm 0,002$
Kabel pro řízení vzorků	$0,142 \pm 0,003$
Konektor pro výstup stlačeného helia	$0,448 \pm 0,002$
Měření 2	Indukce magnetického pole [G]
Konektor pro vstup stlačeného helia	$0,052 \pm 0,009$
Kabel pro řízení chladicí hlavy	$0,178 \pm 0,002$
Kabel pro řízení vzorků	$0,135 \pm 0,017$
Konektor pro výstup stlačeného helia	$0,442 \pm 0,004$

Tabulka 6: Velikost magnetické indukce měřeného magnetického pole kolem přírodních kabelů kryostatu Cryostation firmy Montana Instruments.

Měření 1	Frekvence magnetického pole [Hz]
Konektor pro vstup stlačeného helia	$1,317 \pm 0,014$
Kabel pro řízení chladicí hlavy	$1,256 \pm 0,018$
Kabel pro řízení vzorků	$1,328 \pm 0,056$
Konektor pro výstup stlačeného helia	$1,292 \pm 0,029$
Měření 2	Frekvence magnetického pole [Hz]
Konektor pro vstup stlačeného helia	$5,322 \pm 0,084$
Kabel pro řízení chladicí hlavy	$5,395 \pm 0,256$
Kabel pro řízení vzorků	$5,312 \pm 0,099$
Konektor pro výstup stlačeného helia	$5,432 \pm 0,284$

Tabulka 7: Frekvence naměřeného magnetického pole kolem přírodních kabelů kryostatu Cryostation firmy Montana Instruments.

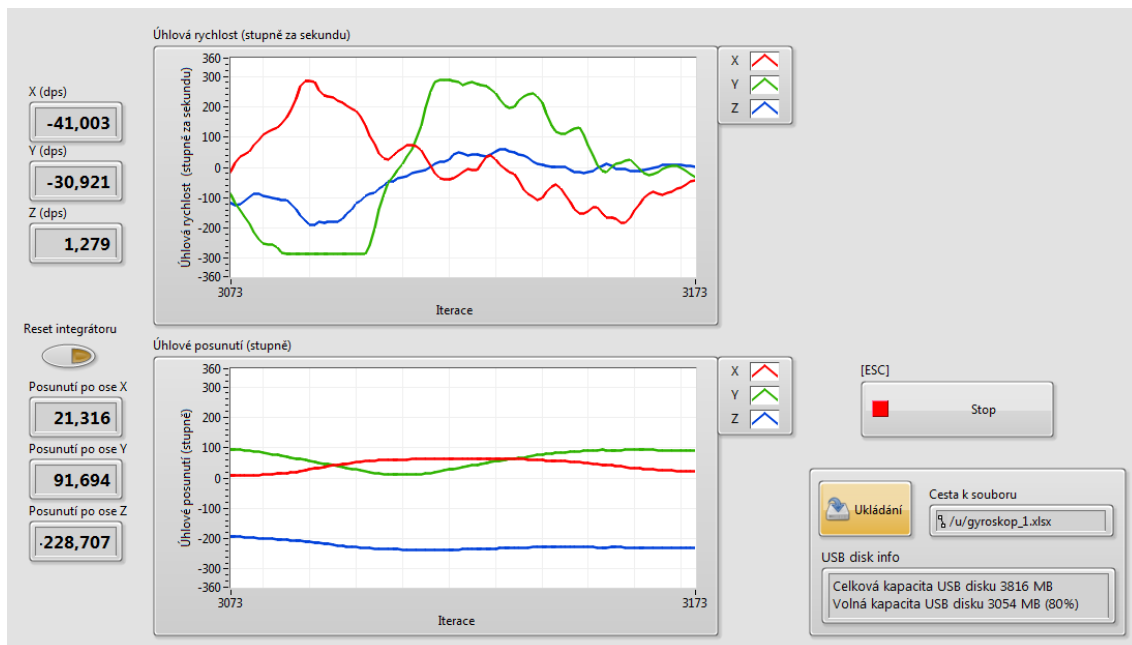
5.4 Měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí

Pro měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí byl použit 3D gyroskop PmodGYRO. Komunikace s NI myRIO probíhala po I²C sběrnici.

5.4.1 Program pro měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí

Na čelním panelu programu, viz obrázek 25, se nachází grafy, které zobrazují průběh úhlové rychlosti a její integrované hodnoty, tedy úhlového posunutí senzoru. Průběh těchto veličin je v obou grafech znázorněn pro všechny tři osy X, Y i Z. Obě hodnoty jsou pro jednotlivé osy

současně vyobrazeny na číselných indikátorech. Je zde navíc i tlačítko, které umožňuje resetovat integrátor, neboť integrovaná hodnota úhlové rychlosti je bohužel zatížena driftem. Blokový diagram programu se nachází v příloze 4. Na začátku dochází k nastavení parametrů pro komunikaci se zařízením, zapsání požadovaných hodnot do registrů, tedy k inicializaci zařízení. Jsou-li naměřena data, převedou se z hodnoty v bytech na hodnotu v dps (degrees per second), tedy na stupně za sekundu. Převod spočívá ve vynásobení hodnoty v bytech citlivostí senzoru. Ta se liší v závislosti na jeho zvoleném rozlišení. Data se navíc musí ještě kalibrovat, neboť zde působí chyba zvaná „zero-rate level“. Je definována jako nějaký měřitelný výstupní signál i při nulové úhlové rychlosti senzoru. Je opět závislá na zvoleném rozlišení. Musí tedy být od konečné hodnoty úhlové rychlosti odečtena. Takto upravenou hodnotu je poté možné integrovat. Krok integrace se však musí shodovat s převrácenou hodnotou rychlosti přenosu dat.



Obr. 25: Čelní panel programu pro měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí.

5.5 Měření teploty

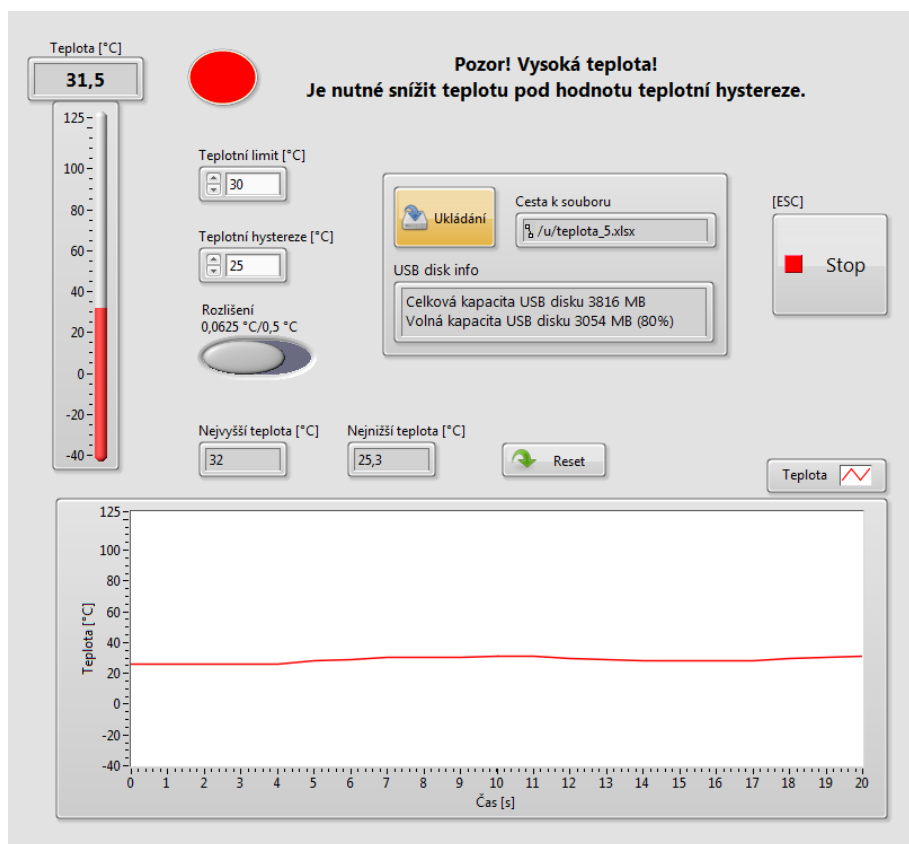
Teplota byla měřena pomocí senzoru PmodTMP3. Komunikace s NI myRIO probíhala po I²C sběrnici.

5.5.1 Program pro měření teploty

Program umožňuje uživateli sledovat průběh teploty, a to jak číselně na teploměru, jehož odezva je 100 ms, tak v podobě grafu, který zobrazuje hodnoty sejmuté vždy po jedné

sekundě. Na čelním panelu, který je ke zhlédnutí na obrázku 26, jsou dále umístěny dva indikátory, které ukazují nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotu. Tyto hodnoty je možné resetovat stisknutím tlačítka Reset. Uživateli je umožněno nastavit v programu hodnotu pro teplotní limit. Je-li tato hodnota překročena, rozsvítí se LED indikátor červeně a objeví se varovné hlášení. Klesne-li teplota pod hodnotu teplotní hystereze, varovné hlášení zmizí a barva LED indikátoru se změní zpět na zelenou. Hodnota teplotní hystereze je také nastavitelná. Uživatel má také možnost změnit hodnotu rozlišení senzoru teploty. K dispozici jsou dvě hodnoty rozlišení, a to 0,5 °C či 0,0625 °C. Vyšší rozlišení však znamená vyšší dobu převodu (30 ms pro rozlišení 0,5 °C a 240 ms pro rozlišení 0,0625 °C).

Blokový diagram programu je k vidění v příloze 5. Aby bylo možné v programu spravovat rozlišení senzoru a hodnotu teplotního limitu a teplotní hystereze, jsou expresní funkce pro nastavení parametrů komunikace a hodnot registrů umístěny v časové smyčce. Naměřená data musí být opět převedena z bytů na jednotky ve °C. Tyto hodnoty se poté zobrazují v grafu a na teploměru, jehož barva se mění v závislosti na této hodnotě. Ukazatele nejvyšší a nejnižší naměřené teploty jsou ovládány pomocí zpětnovazebních uzlů.



Obr. 26: Čelní panel programu pro měření teploty.

5.5.2 Realizace měření teploty

Teplota byla společně s osvětlením měřena v laboratoři na pracovišti KEF. V této laboratoři je kvůli probíhajícím měřením nutné udržovat konstantní teplotu 21 °C. Byla opět provedena dvě měření, a to pro roztáhnuté žaluzie po dobu necelých 6 dní a 2 dny pro zatáhnuté žaluzie. Výsledky z měření je možné zhlédnout v grafech, jež jsou zobrazeny v přílohách 8 a 9.

Z grafu v příloze 8 lze vypočítat, že hodnota teploty kolísá v rozmezí 3 °C až 4 °C. Toto kolísání lze vysvětlit průběžným spínáním běžící klimatizace. Je zřejmé, že v průběhu dne je toto spínání mnohem častější. Stejně tak střední hodnota teploty ve dne je vyšší, než pro noc. Ve dne dosahuje hodnoty až 22,5 °C. Pro noc je tato hodnota až o 2 °C nižší.

Z průběhu druhého měření, který lze pozorovat v příloze 9, již tyto rozdíly nejsou tak zřetelné, neboť při zatažených žaluziích do laboratoře neprocházel sluneční svit a nezpůsoboval tak zahřívání skla v oknu, potažmo vzduchu v laboratoři. Jisté zhuštění průběhu, způsobené častějším spínáním klimatizace přes den, však lze pozorovat i zde.

Závěr

První kapitola této práce se zabývá základy analogového měření. Přestože veškeré senzory, které byly při měření pro tuto diplomovou práci využity, komunikují po digitálních sběrnících I²C nebo SPI, je důležité rozumět podstatě analogového měření, neboť NI myRIO disponuje nejen digitálními, ale také analogovými vstupními a výstupními kanály, které lze využít pro mnoho dalších různých měření. Z kapitoly číslo 1 je tedy vidno, že existují dva typy elektrických zdrojů, a to uzemněné a s plovoucí zemí, a že lze rozlišit dva typy zapojení prvku do obvodu – diferenciální a se společnou zemí.

Ve druhé kapitole je pojednáno o digitálních sériových sběrnících, které zprostředkovávají komunikaci mezi NI myRIO a veškerými použitými sensorickými členy. V této kapitole je vysvětleno, jak probíhá komunikace a přenos dat po těchto datových sběrnících.

Kapitola číslo 3 se již zabývá přístrojem NI myRIO. Je zde k vidění fotografie s popisky jednotlivých částí samotného přístroje, dále náhled přístroje se všemi jeho komponenty. Zobrazeny jsou i jeho konektory A a B, jež umožňují připojení rozšiřujících desek, a dále konektor C pro mini systémový port. Ke zhlédnutí je zde i schéma rozložení jednotlivých pinů na těchto konektorech. Funkce pinů jsou potom vysvětleny v příložených tabulkách. V další části této kapitoly se nachází informace o funkcích všech tlačítek a LED indikátorů, které jsou umístěny na zařízení.

Následující kapitola čtenáře seznamuje se senzory, jež byly v rámci této práce používány k měření všech již zmíněných veličin. Podávají mu základní informace o funkci sensorů, jejich možném rozsahu, rozlišení, citlivosti či spektrální charakteristice. Senzory jsou navíc k vidění na příložených fotografiích. Tato kapitola však podává pouze stručný a obecný přehled o základních parametrech sensorů. Pro důkladné seznámení se senzory je nutné prostudovat jejich jednotlivé datasheety. Adresy datasheetů všech sensorů jsou uvedeny níže ve zdrojích.

Pátá, tedy poslední kapitola, se věnuje již samotnému experimentu. Pro každý senzor, a tedy každou měřenou veličinu, je zde popsán vytvořený program a postup při měření příslušné veličiny. Postupně je zde popsán čelní panel programu, jeho vzhled a rozložení jednotlivých prvků. Následuje podrobnější popis blokového diagramu. Na začátku každého programu dojde k inicializaci a případně k přečtení kapacity připojeného USB disku. Dalším krokem pak bývá přečtení naměřených dat a převod hodnoty z binární formy na příslušnou jednotku. Takto převedené hodnoty jsou poté zobrazovány v grafech či na různých číselných indikátorech.

V další části této kapitoly jsou popsány realizace měření s jednotlivými senzory. Prvním popsaným měřením je měření vibrací rámu ventilátoru, jemuž chyběla jedna lopatka. K jeho rámu byl připevněn senzor PmodACL a napájen byl ze zdroje napětí. Při krokové změně napájecího napětí se podle očekávání měnila amplituda a frekvence kmitů jeho rámu téměř lineárně, což lze pozorovat na přiložených grafech. Vibrace byly dále měřeny i pro různé části kryostatu Cryostation firmy Montana Instruments, s uzavřeným cyklem oběhu stlačeného helia. Ačkoliv vibrace rámu ventilátoru byl senzor schopen spolehlivě proměřit, vibrace kryostatu byly příliš slabé a velmi obtížně prokazatelné, neboť se ztrácely v šumu senzoru. Kryostat byl dále využit i při měření parametrů magnetického pole. Senzor PmodCMPS byl využit při měření elektromagnetického rušení přívodních kabelů kryostatu. Výsledky měření jsou ke zhlédnutí v tabulkách příslušné podkapitoly. Je vidět, že došlo k nárůstu frekvence rušivého magnetického pole. Jako poslední byla provedena měření teploty a osvětlení v laboratoři na pracovišti KEF, v níž je kryostat umístěn. Měření probíhala necelých šest dní s roztaženými žaluziemi, a posléze další dva dny pro zatáhnuté žaluzie. Výsledné grafy z naměřených výsledků jsou k vidění v přílohách 6, 7, 8 a 9.

Pro shrnutí, NI myRIO je tedy kompaktní RIO systém, který ve spojení s vhodným senzorem poskytuje velmi užitečný mobilní měřicí systém. NI myRIO navíc uživateli umožňuje nahrát jakoukoliv aplikaci do své paměti, a tím z něj vytvořit takzvané stand-alone zařízení. Stand-alone zařízení je takové zařízení, které k chodu nevyžaduje připojení k vyššímu, řídicímu počítači, a tedy aplikace je spuštěna přímo na tomto zařízení. Je-li tedy NI myRIO nakonfigurováno jako takové zařízení, spustí se nahraná aplikace přímo na něm ihned po jeho zapnutí. Pro další práci s NI myRIO by bylo výhodné pořídit lepší, výkonnější senzorické členy s lepšími parametry (měřicí rozsah, rozlišení, citlivost, atd.) a vytvořit pro ně vyhovující, jim specifické konektory s vhodným uchycením sensorů. Měření by poté nabylo širšího rozsahu a také větší preciznosti.

Zdroje

1. Grounding Considerations for Improved Measurements, National Instruments dne 4. 5. 2015. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3394/en/>
2. Manuál ke sběrnici I²C. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf
3. SPI Block Guide V0306. Dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dlmain/Datasheets-12/DSA-222613.pdf>
4. SPI Interface Tutorial. Dostupné z: http://www.corelis.com/education/SPI_Tutorial.htm
5. Get Connected: The NI myRIO Project Essentials Guide, National Instruments dne 30. 5. 2014. Dostupné z: <http://www.ni.com/newsletter/52237/en/>
6. NI myRIO manuál. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047a.pdf>
7. NI myRIO Project Essentials Guide. Dostupné z: <http://www.ni.com/academic/myrio/project-guide.pdf>
8. Digilent PmodACL datasheet. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodACL_rm.pdf
9. Analog Devices® ADXL345 datasheet. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
10. Digilent PmodALS datasheet. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodALS_rm.pdf
11. Vishay Semiconductor's TEMP6000X01 datasheet. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>
12. Ambient Light Sensors - Circuit and Window Design. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/84154/appnotesensors.pdf>
13. Digilent PmodCMPS datasheet. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodCMPS_rm.pdf
14. Honeywell HMC5883L datasheet. Dostupné z: http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf
15. Digilent PmodGYRO datasheet. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodGYRO_rm.pdf
16. STMicroelectronics L3G4200D datasheet. Dostupné z:

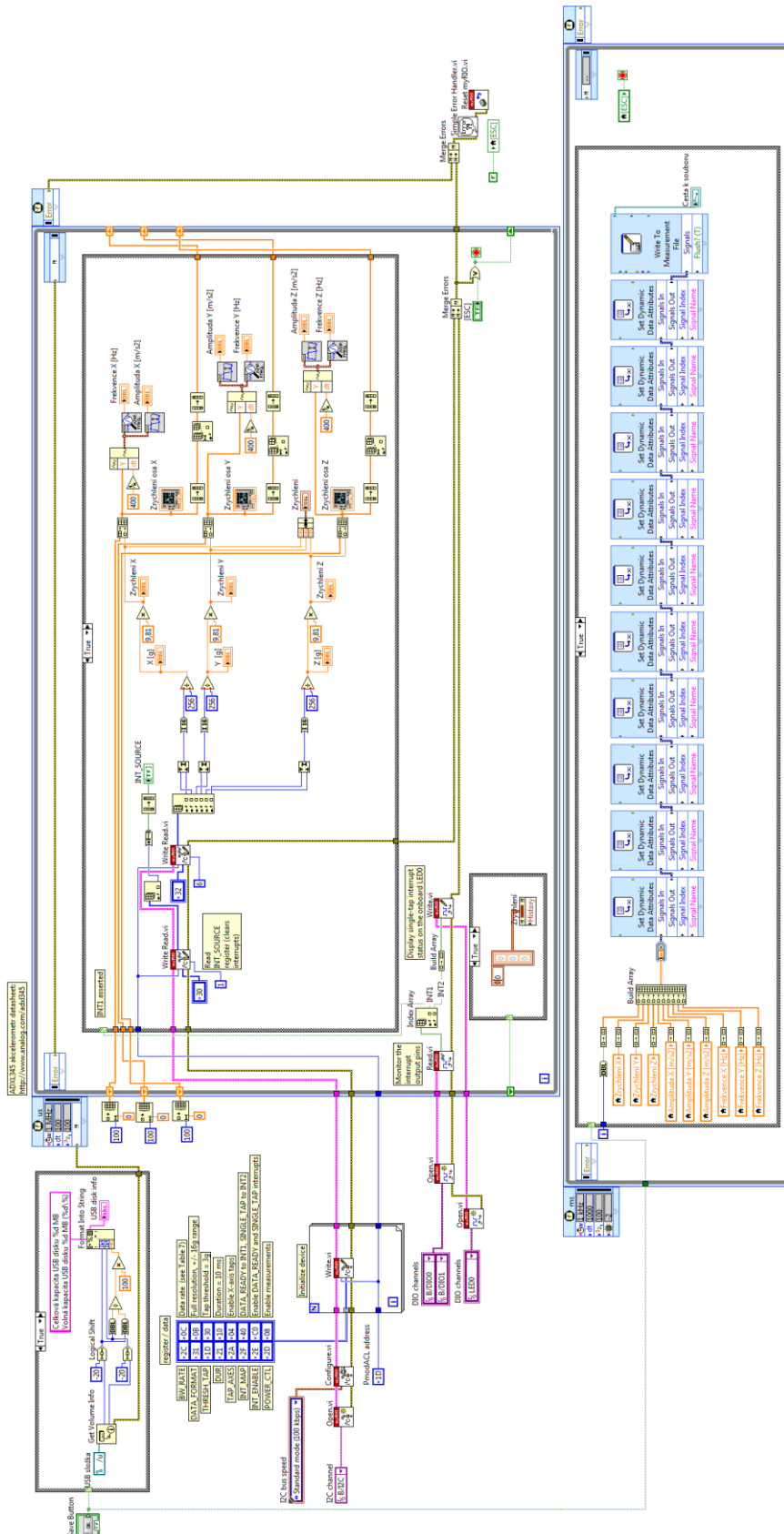
[http://www.st.com/st-web-
ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00265057.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00265057.pdf)

17. Digilent PmodTMP3 datasheet. Dostupné z:

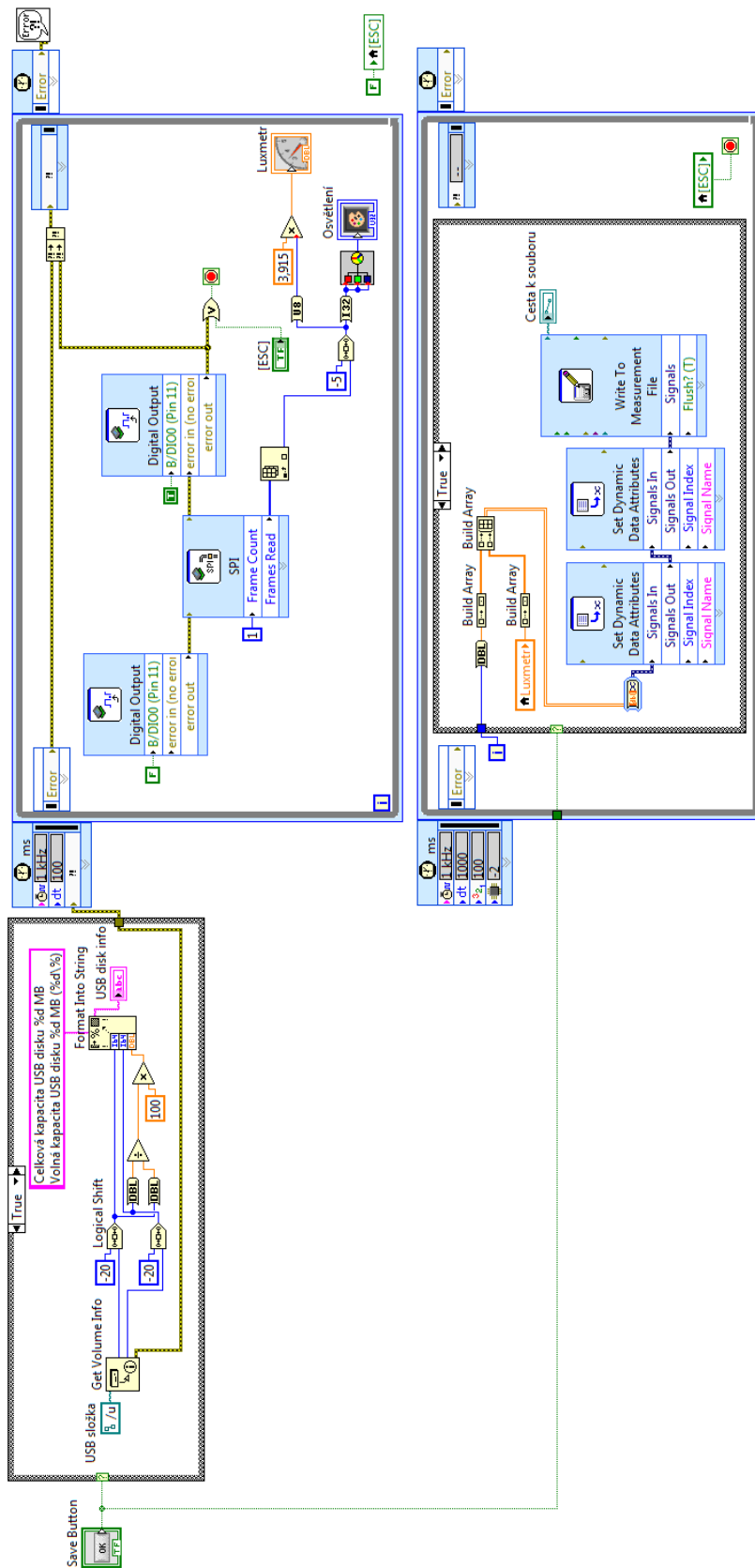
https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodTMP3_rm.pdf

18. Mikročip TCN75A datasheet. Dostupné z:

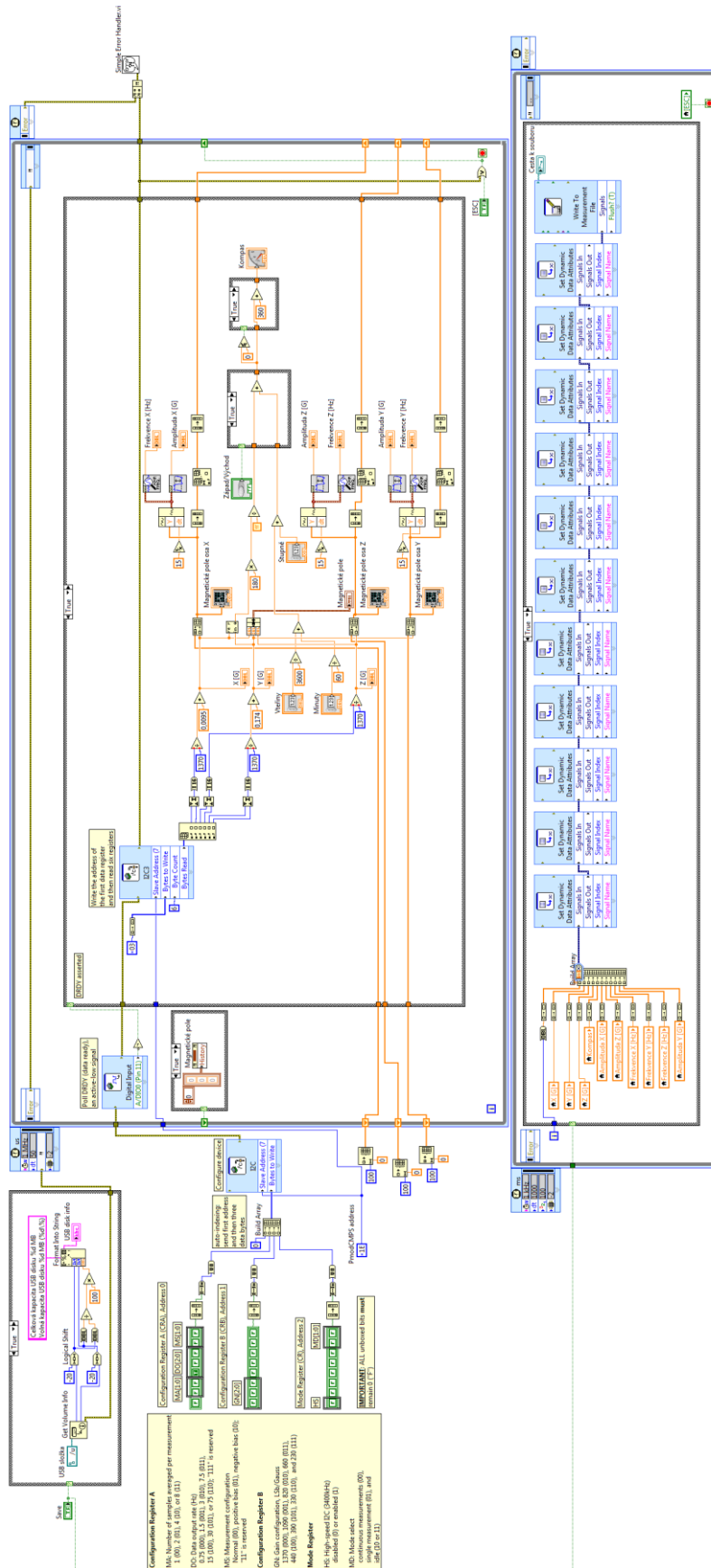
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21935D.pdf>



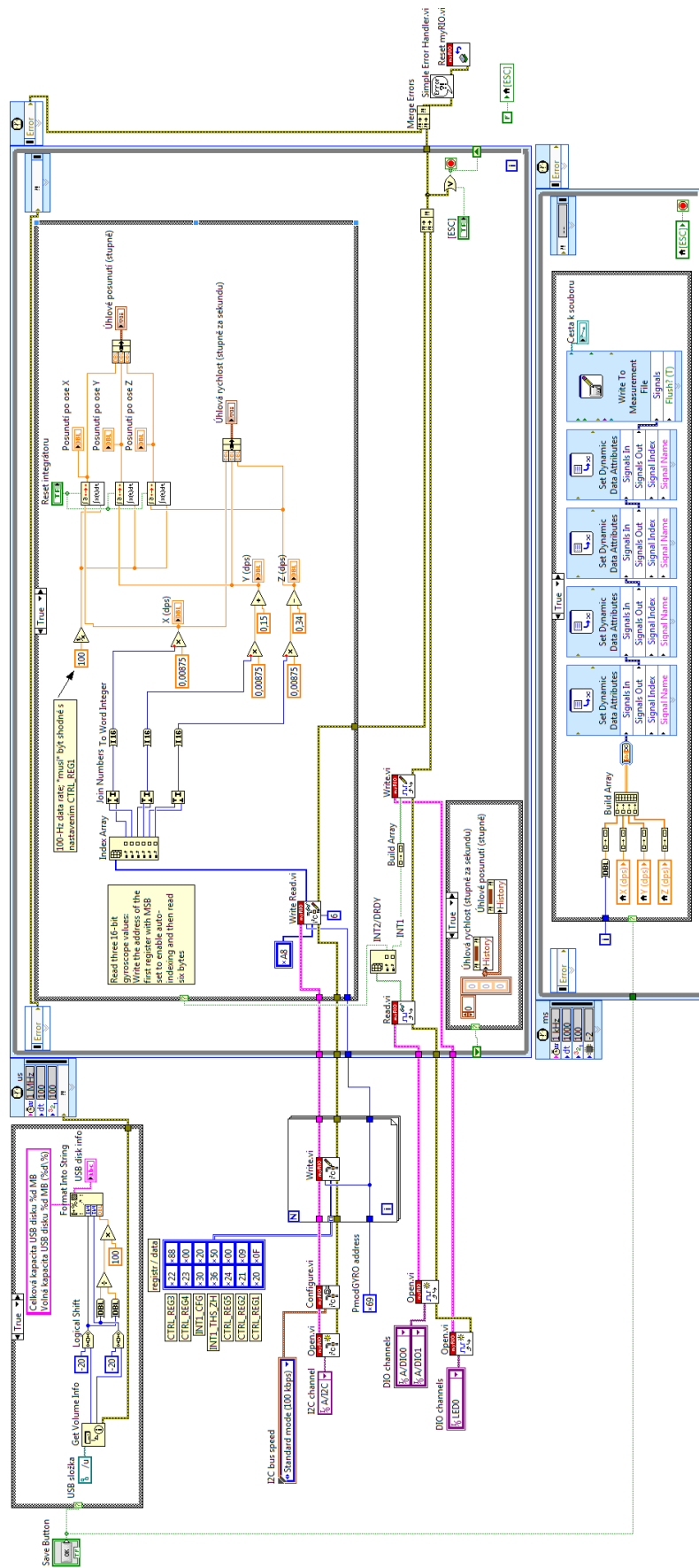
Příloha 1: Blokový diagram programu pro měření vibrací.



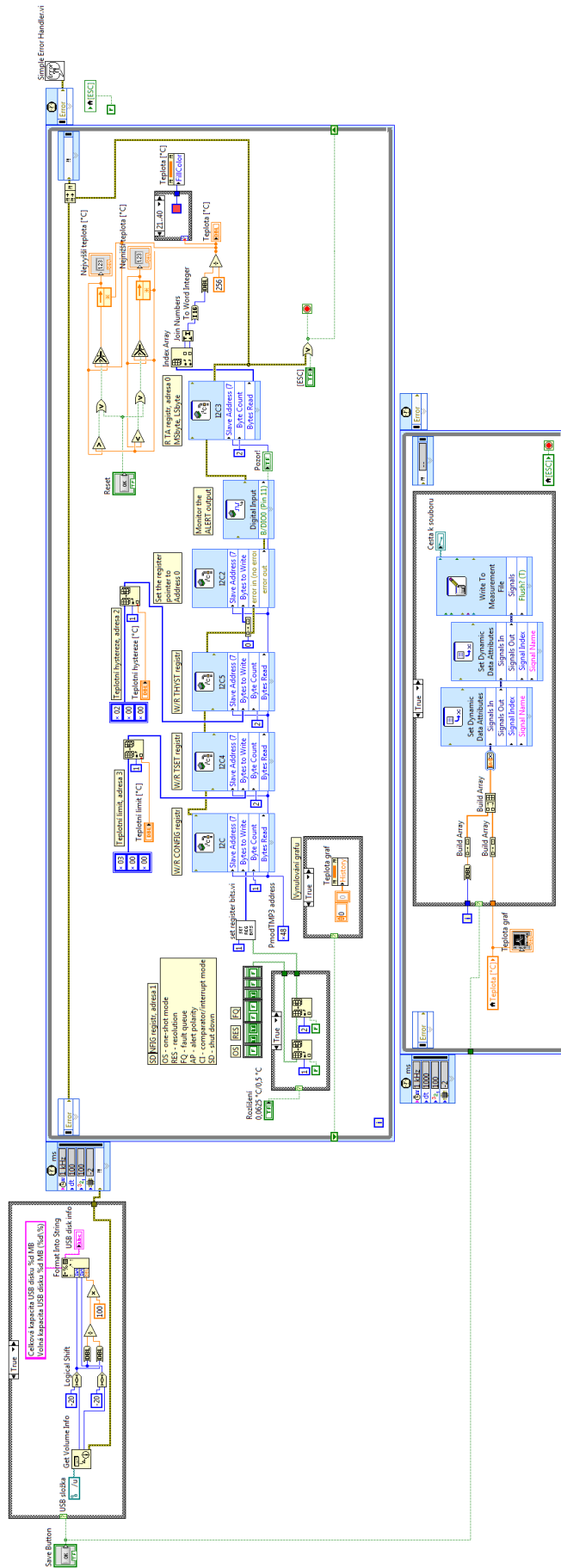
Příloha 2: Blokový diagram programu pro měření hodnoty okolního osvětlení.



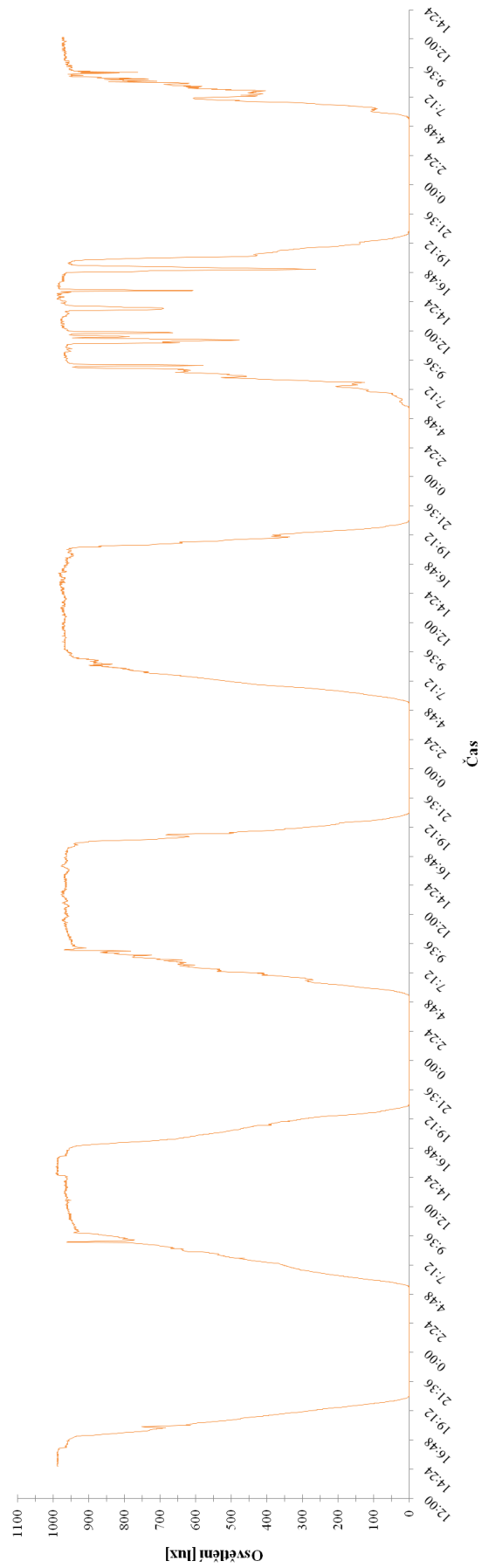
Příloha 3: Blokový diagram programu pro měření magnetické indukce a rozložení magnetického pole.



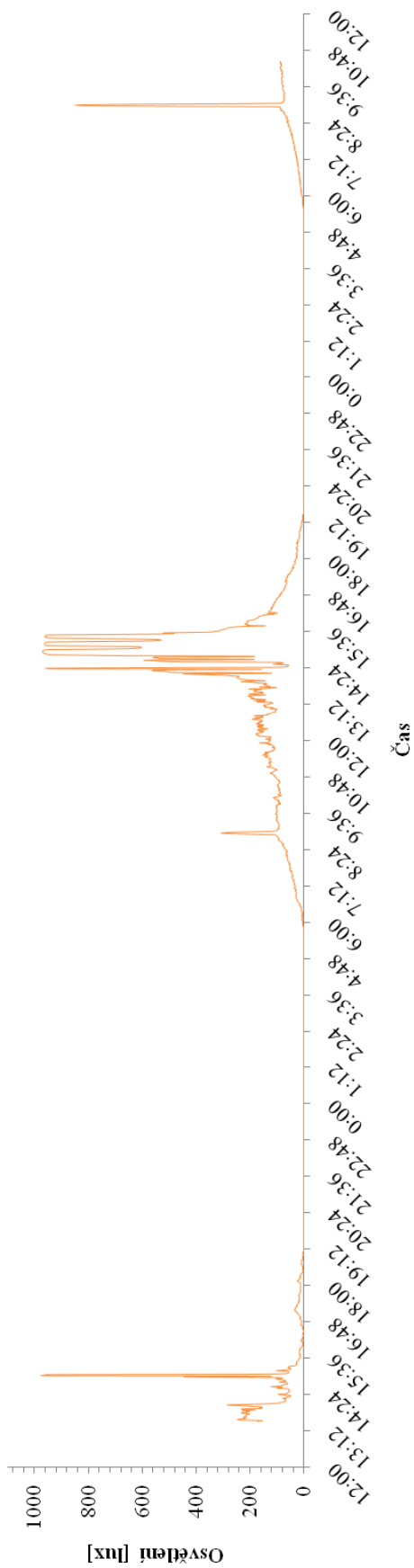
Příloha 4: Blokový diagram programu pro měření úhlové rychlosti a úhlového posunutí.



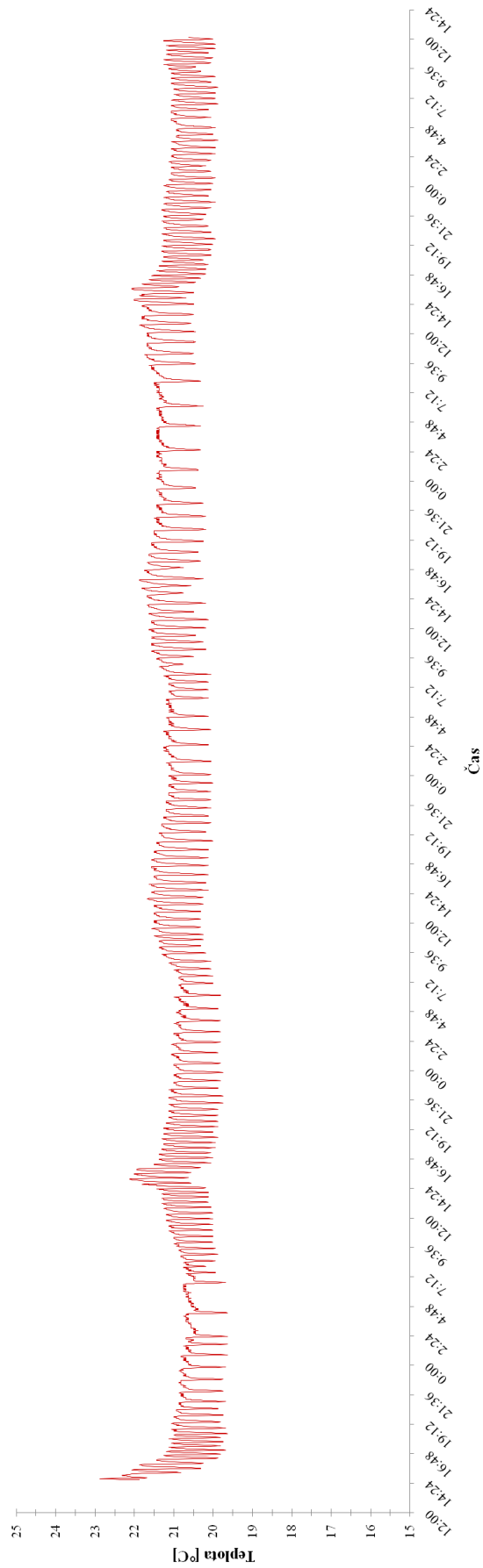
Příloha 5: Blokový diagram programu pro měření teploty.



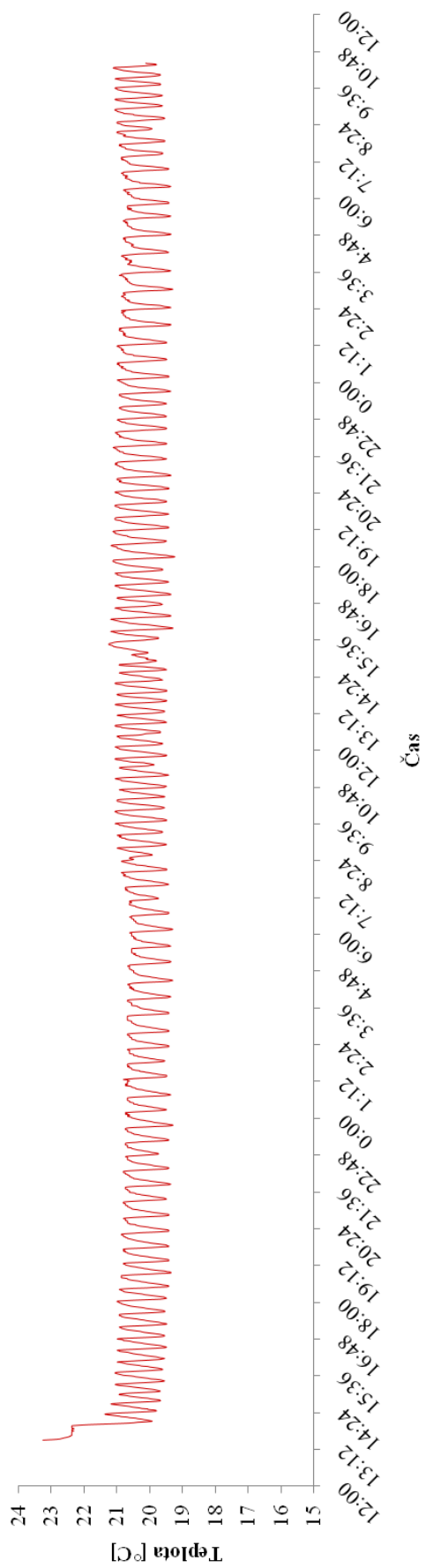
Příloha 6: Graf naměřeného osvětlení v laboratoři (roztáhnuté žaluzie).



Příloha 7: Graf naměřeného osvětlení v laboratoři (zatáhnuté žaluzie).



Příloha 8: Graf naměřené teploty v laboratoři (roztáhnuté žaluzie).



Příloha 9: Graf naměřené teploty v laboratoři (zatáhnuté žaluzie).

Příloha 10: CD, které obsahuje kopii práce v pdf formátu a LabVIEW projekt se všemi výše popsanými aplikacemi.