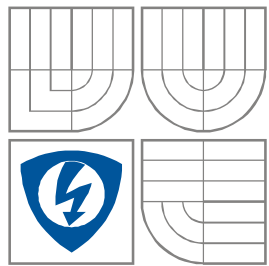


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**AUTOMATIZOVANÉ MĚŘENÍ S
MONOCHROMÁTOREM V PROSTŘEDÍ LABVIEW**
AUTOMATED MEASUREMENT WITH MONOCHROMATOR IN LABVIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

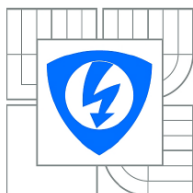
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LIBOR JAKEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK HAVRÁNEK, Ph.D.

BRNO 2012



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: Libor Jakeš
Ročník: 3

ID: 125462
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Automatizované měření s monochromátorem v prostředí LabVIEW

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Seznamte se s vývojovým prostředím LabVIEW, sběrem dat pomocí USB měřicí karty National Instruments a monochromátorem Carl-Zeiss.
- 2) Navrhněte a realizujte měřicí úlohu s monochromátorem, který bude řízen měřicí kartou NI - ovládání krokového motoru monochromátoru a sběr analogových dat z fotodetektorů s přepínatelnými předzesilovači od firmy Safibra. V případě nevyhovující funkce stávajících detektorů využijte integrované detektory od firmy Thorlabs.
- 3) Vytvořte základní programové vybavení v LabVIEW pro ovládání monochromátoru a sběr analogových dat z fotodetektoru pro měření spektrálních charakteristik různých optických prvků.
- 4) Ověřte funkčnost celého systému na úloze měření spektrálních charakteristik optických filtrů metodou vloženého útlumu. Rozeberte možnost další modifikace systému o synchronní detekci signálu z fotodetektoru při použití již zabudovaného mechanického přerušovače optického paprsku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Havlíček, J. a kol. Začínáme s LabVIEW. 248 stran. BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
[2] Firemní literatura National Instruments, Safibra a Thorlabs.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 28.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Havránek, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

Abstrakt

Tato bakalářská práce se bude zabývat návrhem a realizací automatizovaného měření s monochromátorem. Dále bude seznamovat čtenáře s ovládacími programy, které jsem vytvořil v LabVIEW. Pomocí měřicí karta NI myDAQ budu ovládat krokový motor na monochromátoru a současně i sbírat data z optického fotodetektoru.

Klíčová slova

LabVIEW, krokový motor, monochromátor Carl - Zeiss, měřicí karta NI myDAQ, optický detektor OMS 3.1

Abstract

This bachelor's thesis is dealing with plan and realization of automated measuring with monochromator. The next goal of this thesis is familiarizing us with control programs, which I have created in LabVIEW. I am going to control the monochromator by means of measuring card NI myDAQ and at the same time acquisition data from the optical photodetector.

Keywords

LabVIEW, stepper motor, monochromator Carl - Zeiss, measuring card NI myDAQ, optic detector OMS 3.1

Bibliografická citace:

JAKEŠ, L. *Automatizované měření s monochromátorem v prostředí LabVIEW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 46s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Havránek, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Automatizované měření s monochromátorem v prostředí LabVIEW 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: **28. 5. 2012**

.....
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 bakalářské práce.

V Brně dne: **28. 5. 2012**

.....

podpis autora

Obsah:

1	Úvod.....	8
2	LabVIEW.....	8
2.1	Úvod.....	8
2.2	Uživatelské rozhraní.....	8
2.2.1	Čelní panel.....	10
2.2.2	Blokový diagram.....	11
3	Krokové motory.....	12
3.1	Druhy krokových motorů.....	12
3.1.1	Pasivní krokové motory.....	12
3.1.2	Aktivní krokové motory.....	13
3.1.3	Hybridní krokové motory.....	13
3.2	Metody řízení krokových motorů.....	14
4	Monochromátor Carl-Zeiss.....	17
5	Měřicí karta NI myDAQ.....	18
5.1	Hardware karty NI myDAQ[5].....	18
5.2	NI myDAQ Instrument Launcher.....	20
6	Optický fotodetektor OMS 3.1.....	20
7	Automatizované měření s monochromátorem.....	20
8	Praktická část.....	22
8.1	Hardware měřicího systému.....	22
8.1.1	Zapojení krokového motoru.....	22
8.1.2	Modul pro ovládání motoru a sběr dat.....	22
8.1.3	Návrh plošného spoje.....	24
8.1.4	Držák na filtry.....	24
8.1.5	Přerušovač paprsku.....	25
8.2	Hlavní program.....	26
8.2.1	Čelní panel a ovládání programu.....	26
8.2.2	Blokové schéma hlavního programu.....	27
8.3	Podprogramy.....	29
8.3.1	Otáčení motoru.....	29
8.3.2	Výpočet počtu otáček pomocí rovnic.....	33
8.3.3	Výpočet zesílení fotodetektoru.....	34
8.3.4	Přepočtení napětí.....	35
8.3.5	Výpočet útlumu.....	36
9	Měření útlumu brýlí Thorlabs LG9.....	37
10	Závěr.....	40
11	Literatura.....	41
12	Seznam obrázků.....	42
13	Seznam tabulek.....	43

1 Úvod

Na začátku práce nejdříve popíšu základní ovládání programu LabVIEW, druhy krokových motorů a principy jejich ovládání. Dále popíšu přístroj monochromátor a uvedu jeho princip rozkládání světla. U měřicí karty NI myDAQ uvedu přehled vstupů i výstupů a napíšu další vlastnosti karty. Nakonec teoreticky popíšu optický fotodetektor a způsob jeho ovládání.

Nejdůležitějším úkolem této bakalářské práce je návrh a sestavení automatizovaného měření s monochromátorem. Pro řízení monochromátoru vytvořím aplikaci v programu LabVIEW a pro ovládání monochromátoru použiji měřicí kartu NI myDAQ. Vytvořené programy v LabVIEW popíšu, jak ze strany uživatelské, tak i programátorské. Pro sběr dat z optického fotodetektoru použiji opět měřicí kartu NI myDAQ.

Nakonec provedu finální měření brýlí ThorLabs LF9, kde porovnam mou změřenou útlumovou charakteristiku s výrobcem udávanou. Výsledky porovnam a zhotovím z toho závěr a doporučení.

2 LabVIEW

2.1 Úvod

Vývojové a programovací prostředí LabVIEW (zkr. LV) je produktem americké firmy National Instruments. Zkratka LabVIEW vznikla z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench a do češtiny jí lze přeložit jako „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“. Firma National Instruments je největším výrobcem a průkopníkem v oblasti virtuální instrumentace, technické disciplíny, u které probíhá nyní velký rozvoj v oblasti výzkumu, školství a průmyslu.

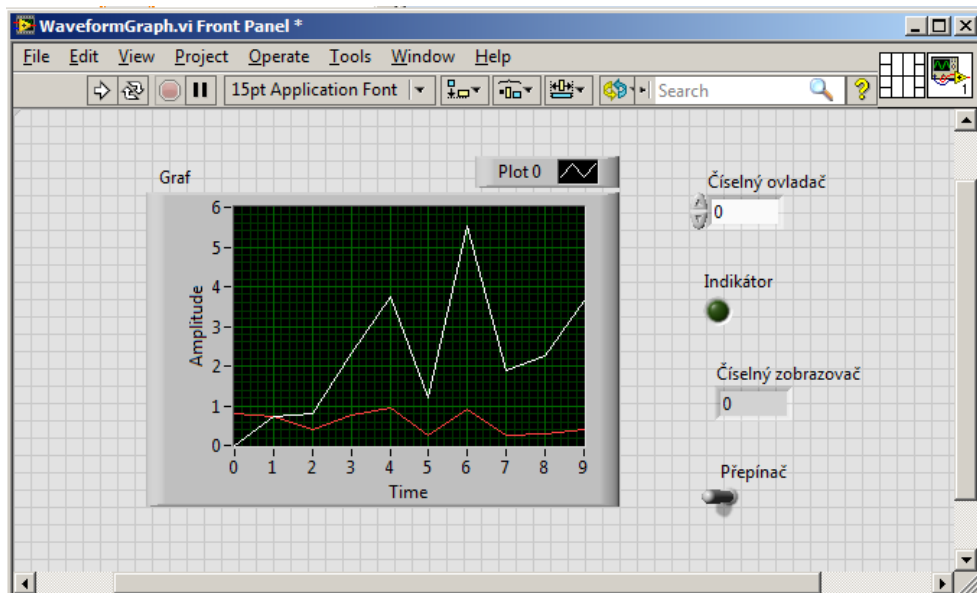
Hlavním rozdílem je využívání tzv. „grafického“ jazyka, který se na rozdíl od jiných programů neprogramuje po „řádcích“.

2.2 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní v programu LV má nejčastěji podobu čelního ovládacího panelu měřicího přístroje. To je jeden z důvodů, proč se programy v LV nazývají virtuální přístroje (zkr. VI). Každý program se skládá ze dvou sdružených oken.

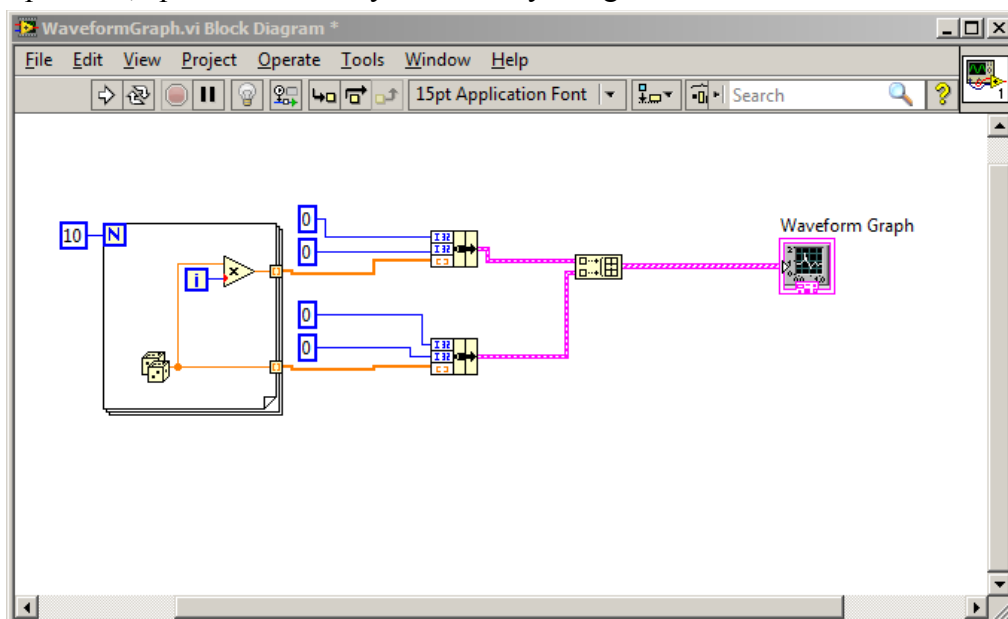
První část je uživatelské rozhraní, kterému se také říká čelní panel (z angl. Front Panel). Čelní panel slouží k určení vzhledu programu a ovládání programu (Obrázek 1). Přes objekty na čelním panelu lze řídit běh aplikace, zadávat různé parametry a získávat různé informace, které lze poté zpracovat např. do grafů. Prvky na čelním panelu lze

z funkčního hlediska rozdělit na dvě skupiny: vstupy (ovládací prvky) a výstupy (zobrazovače, indikátory). Vstupy mají různé podoby, např. tlačítka, otočná tlačítka, textový a číselný ovladač. Výstupy lze zobrazit jako např. textový nebo číselný zobrazovač, kontrolky (LED), grafy a další.



Obrázek 1: Čelní panel VI

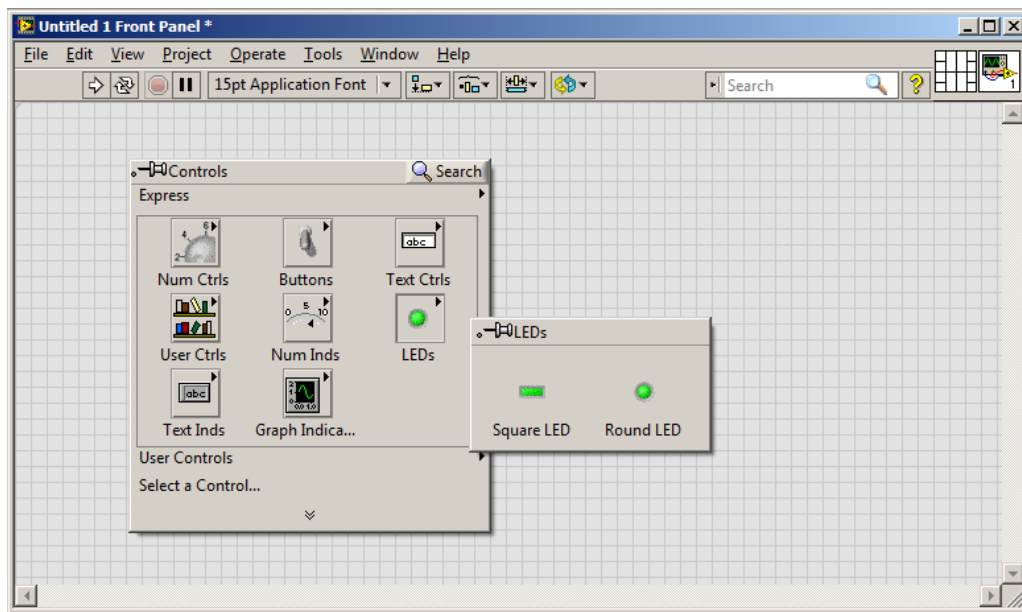
Druhou část aplikace tvoří blokový diagram, který je zdrojovým kódem VI. V okně blokového diagramu programátor vytváří svůj vlastní program (Obrázek 2). Mezi okny čelního panelu a blokového diagramu se lze přepínat klávesovou zkratkou <CTRL+E>. Do blokového diagramu lze vkládat různé smyčky, pole, řetězce, matematické operace, funkce pro sběr, zpracování a analýzu dat různých signálů. [1]



Obrázek 2: Blokové schéma VI

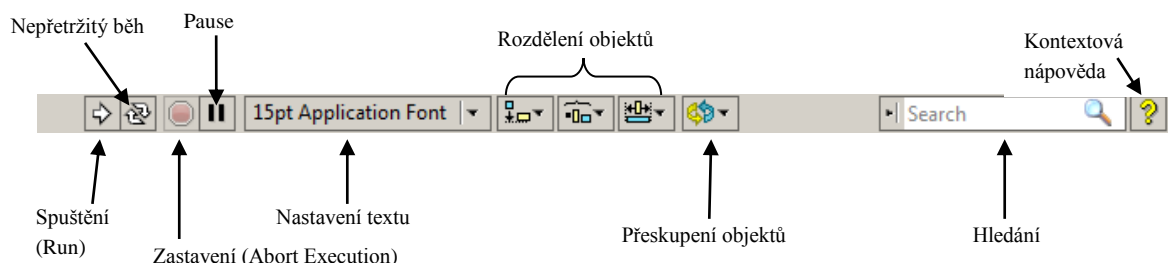
2.2.1 Čelní panel

Jak už jsem uvedl výše, čelní panel nám určuje, jak bude vypadat program, který bude mít uživatel k dispozici. Levým tlačítkem myši lze vyvolat nabídku Controls (Obrázek 3), ze které lze přesunout na čelní panel jednotlivé prvky. Od jednoduchých přepínačů, číselných indikátorů, led indikátorů až po složitější grafické zobrazovače, textové indikátory a numerická nastavovací tlačítka. Pro každý prvek umístěný na čelním panelu se automaticky vytvoří odpovídající blok v blokovém diagramu s konektorem pro připojení vstupních a výstupních signálů.




Obrázek 3: Čelní panel s Controls panelem

Dalším důležitým prvkem na čelním panelu je nástrojová lišta.



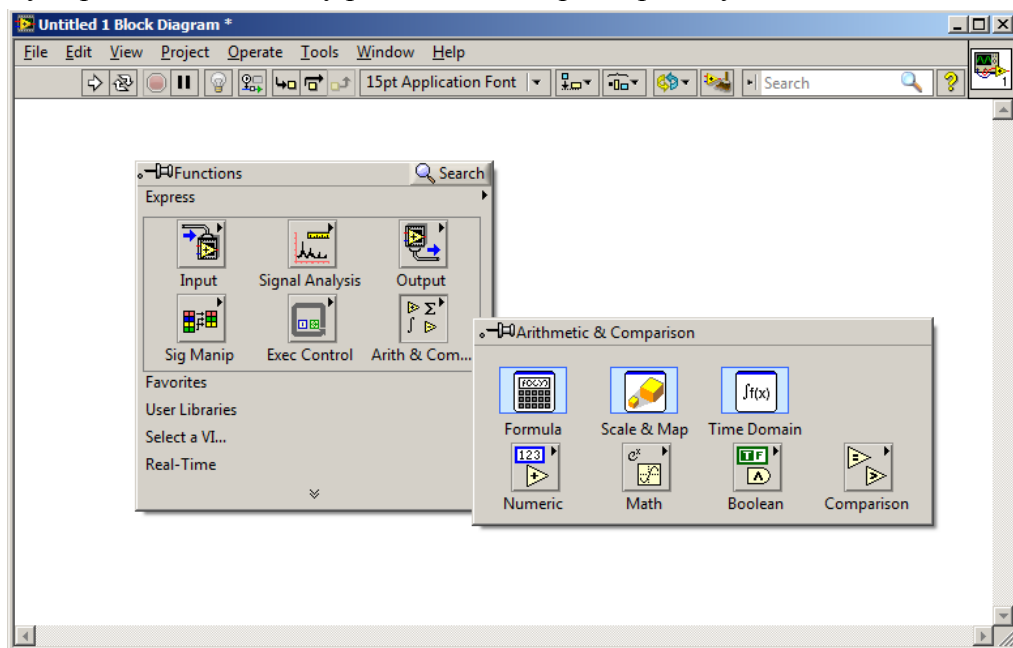
Obrázek 4: Nástrojová lišta v čelním panelu

Prvním tlačítkem Spuštění (Run) spustíme jeden běh programu (tzn. program se spustí a po jeho posledním úkonu se vypne). Zatímco tlačítko Nepřetržitý běh spouští program opakovaně. Kdykoliv můžeme program zastavit tlačítkem Zastavení (Abort Execution) nebo pozastavit tlačítkem Pause. Jestliže se v programu vyskytuje chyba, změní se tlačítko Run na Broken Run (přerušovaná šipka) . Stisknutím této šipky se zobrazí Error list, který zobrazí popis chyby. V další části se nachází tlačítko na změnu

velikosti písma, stylu písma atd. Další 4 tlačítka slouží k seřazení, rozdělení, změně velikosti objektů a přeskupení objektů.[1]

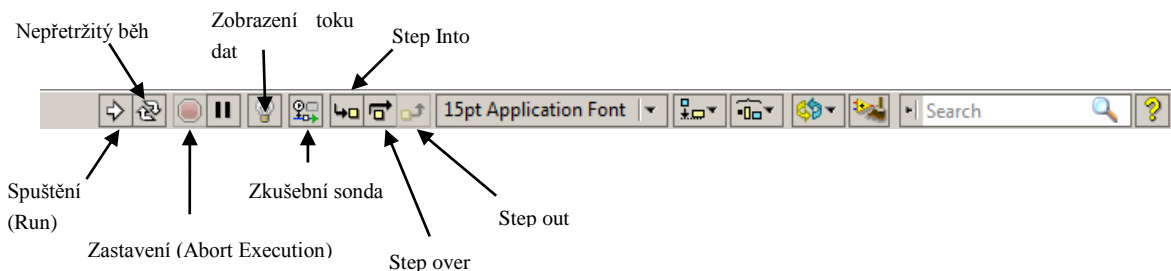
2.2.2 Blokový diagram

V prostředí blokového diagramu vytváříme vlastní algoritmus, propojujeme tedy prvky čelního panelu a přidáváme k nim další funkce. Paletu Functions lze vyvolat pravým tlačítkem myši a z ní pak můžeme vybírat jednotlivé prvky (Obrázek 5). Každý prvek v blokovém diagramu má vstupní i výstupní signály na svém konektoru. Vstupní signály se obvykle připojují zleva, výstupní signály mají svůj připojovací bod zprava. U některých prvků lze konektory přidávat i ubírat podle potřeby.



Obrázek 5: Blokový diagram s Functions paletou

Nástrojová lišta v blokovém diagramu má 5 jiných tlačítek než nástrojová lišta v čelním panelu. Jde o tlačítko se žárovkou, které slouží ke sledování toku dat během cyklů. Tlačítko Zkušební sonda nezdržuje běh programu jako předchozí tlačítko, ale lze ji umístit na libovolný datový tok v programu a při umístění sondy se nám otevře okno, kde se při spuštění běhu programu zobrazují hodnoty procházející námi zvoleným datovým spojem. Další 3 tlačítka slouží ke krokování programu.[1]



Obrázek 6: Nástrojová lišta v blokovém diagramu

3 Krokové motory

Krokový motor (KM) je synchronní točivý stroj, který je ovládán impulzy stejnosměrného proudu. Vhodným buzením jednotlivých cívek dosáhneme točivého magnetického pole, které nám motor roztočí. Každý KM má svoji maximální rychlost (počet kroků za sekundu), kterou když překročíme, motor začne ztrácet kroky.[2] Naopak při dodržení této podmínky lze motoru počítat kroky a následně z toho vypočítat úhel natočení motoru.

Pro pochopení činnosti krokového motoru musíme znát následující definice.

1) Krok - reakce rotoru na jeden řídicí impuls. Rotor se při jednom řídicím pulzu dostane z výchozí polohy do nejbližší stabilní polohy.

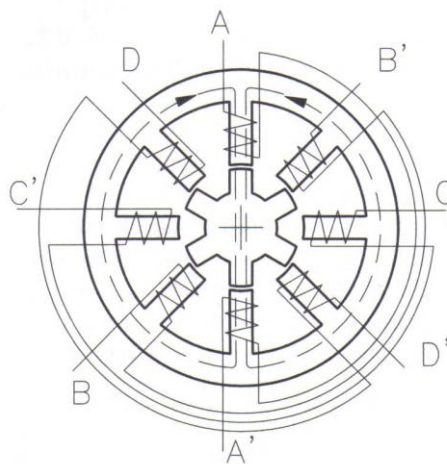
2) Úhel kroku - o jaký úhel α se natočí rotor při příchodu jednoho řídicího impulsu.

Úhel kroku lze spočítat a to vztahem $\phi = \frac{360^\circ \cdot N}{m}$, kde N je počet zubů v rotoru a m je počet fází statoru.[4]

3.1 Druhy krokových motorů

3.1.1 Pasivní krokové motory

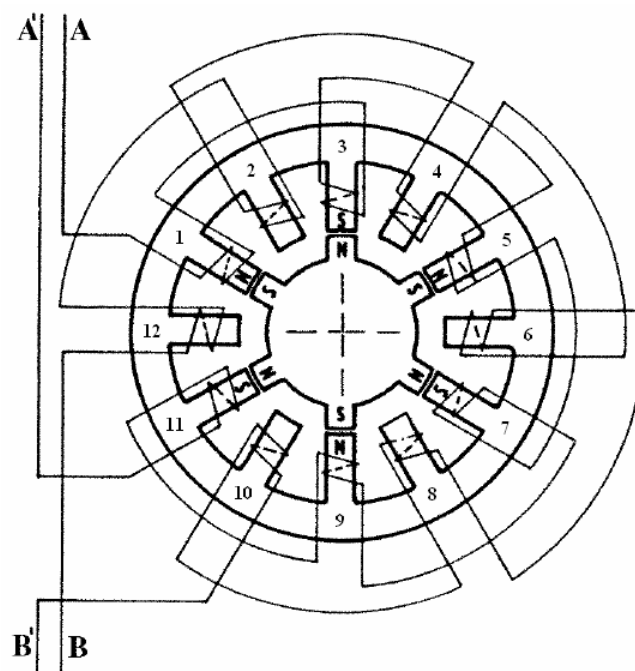
Rotor těchto motorů je bez vinutí, jsou na něm nalisovány pouze svazky plechů. Stator tvoří určitý počet navinutých cívek (Obrázek 7), v našem případě 8 cívek. Každý pár protilehlých cívek je spojený a tvoří jednu fázi motoru. Tento krokový motor má 4 fáze, na obrázku značené A, B, C, D. Rotor má v našem případě 6 pólů. Buzením fází v určitém pořadí dosáhneme toho, že se motor roztočí. Přitom stav, kdy je fáze buzena, protéká vinutím proud. Pokud není buzena, proud v ní neprochází. S postupem, jak budít jednotlivé fáze, se seznámíme v další kapitole (viz strana 14).[4]



Obrázek 7: Krokový motor s pasivním rotorem[4]

3.1.2 Aktivní krokové motory

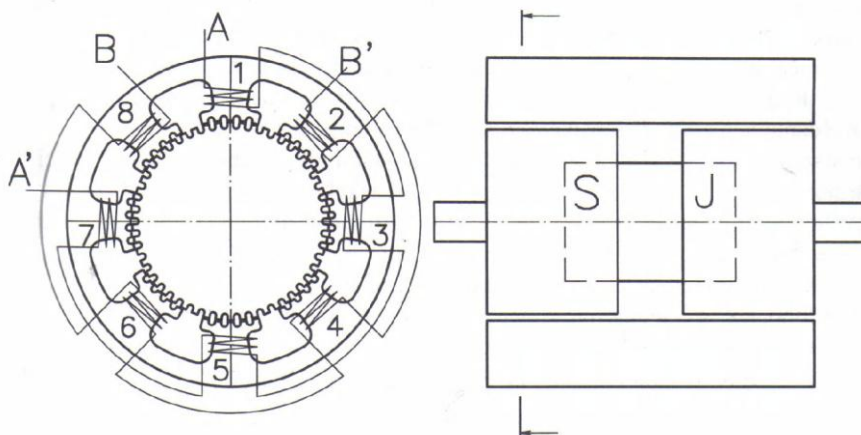
Rotor tohoto krokového motoru je tvořen permanentním magnetem, který obsahuje šest pólových nástavců, na kterých se střídá severní a jižní pól. U těchto motorů se využívá radiálně uložených permanentních magnetů na rotoru. Rotor obsahuje oproti statoru dvakrát méně pólových nástavců, ale zároveň musí být počet statorového vinutí dělitelný čtyřmi. Dvanáct statorových navinutých cívek je rozděleno dvoufázově, ve fázi A jsou nástavce označeny lichým číslem (1,3,5,7,9 a 11), zatímco ve fázi B jsou nástavce označeny sudým číslem (2,4,6,8,10 a 12).[4]



Obrázek 8: Aktivní krokový motor[4]

3.1.3 Hybridní krokové motory

Hybridní motory jsou v dnešní době nejvíce využívány, protože mají dostatečně jemné rozlišení kroku. Obrázek 9 zobrazuje hybridní krokový motor, který se při jednom kroku pootočí o $1,8^\circ$ stupně. Stator je rozdělen dvoufázově a má 8 pólových nástavců, kde každý pólový nástavec je tvořen 5 stejnými zuby. Cívky statoru jsou zapojeny sériově (fáze A, fáze B). Nejdůležitější na tomto motoru je, že zuby jednoho pólového nástavce rotoru jsou posunuty o půl zubu vůči druhému pólovému nástavci. Mezi pólovými nástavci je umístěn permanentní magnet, který je uložen podle osy hřídele.[4]



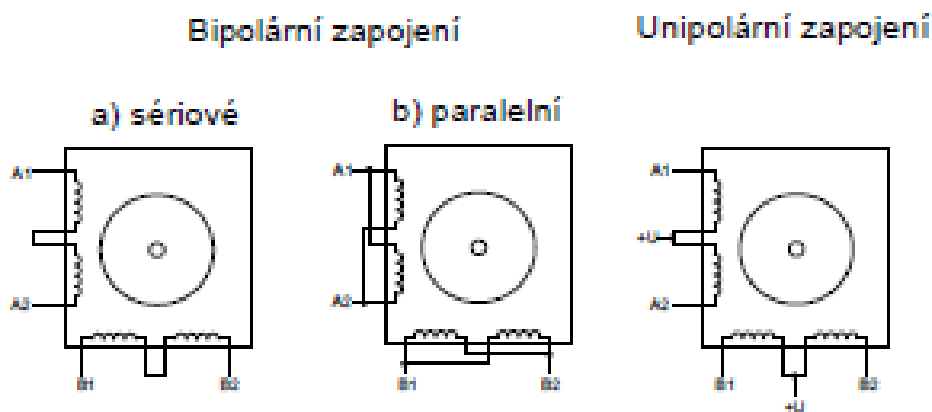
Obrázek 9: Hybridní krokový motor[4]

3.2 Metody řízení krokových motorů

Nejdříve, než začneme budit jednotlivé fáze, musíme zjistit vnitřní zapojení motoru. Existují dvě vnitřní zapojení, a to bipolární a unipolární.

V **bipolárním zapojení** prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami (Obrázek 10). Takto zapojené cívky mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Nevýhoda tohoto zapojení je vyšší spotřeba elektrické energie a složitost zapojení obvodu. Výhodou je však větší krouticí moment.

Při **unipolárním zapojení** prochází proud jednou nebo dvěma fázemi (Obrázek 10). Hlavní výhodou tohoto vnitřního zapojení je, že na vybuzení každé cívky, stačí jen jeden tranzistor. K řízení malých KM nám bohatě postačí integrovaný obvod ULN2803, kde má dostatek budičů pro dva motory v jednom pouzdře.[2]



Obrázek 10: Vnitřní zapojení krokových motorů[6]

Nyní si řekneme, jaké způsoby řízení existují.

Podle počtu buzených fází:

1) Jednofázové

Při jednofázovém řízení je buzena stejnosměrným proudem pouze jedna cívka motoru.

2) Dvoufázové

V tomto řízení jsou napájeny dvě sousední cívky. Výhodou je vyšší krouticí moment, ale zase nevýhodou je vyšší spotřeba elektrické energie.

Podle kroku:

a) S plným krokem

V motoru je buzena jedna cívka (Tabulka 1, Tabulka 4), nebo dvě sousední cívky (Tabulka 2, Tabulka 5).

b) S polovičním krokem

V tomto řízení se střídají řízení s jednofázovým a dvoufázovým buzením. Dosáhneme tím dvojnásobnou přesnost za cenu vyšší spotřeby (Tabulka 3).[2]

Nyní si ukážeme nějaké metody na obrázcích:

Animace				
Cívka 1	-	0	0	0
Cívka 2	0	-	0	0
Cívka 3	0	0	-	0
Cívka 4	0	0	0	-

Tabulka 1: Unipolární jednofázové řízení s plným krokem[2]

Animace				
Cívka 1	-	0	0	-
Cívka 2	-	-	0	0
Cívka 3	0	-	-	0
Cívka 4	0	0	-	-

Tabulka 2: Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem[2]

Animace								
Cívka 1	-	-	0	0	0	0	0	-
Cívka 2	0	-	-	-	0	0	0	0
Cívka 3	0	0	0	-	-	-	0	0
Cívka 4	0	0	0	0	0	-	-	-

Tabulka 3: Unipolární řízení s polovičním krokem[2]

Animace				
Cívka 1	-	0	+	0
Cívka 2	0	-	0	+
Cívka 3	+	0	-	0
Cívka 4	0	+	0	-

Tabulka 4: Bipolární jednofázové řízení s plným krokem[2]

Animace				
Cívka 1	-	+	+	-
Cívka 2	-	-	+	+
Cívka 3	+	-	-	+
Cívka 4	+	+	-	-

Tabulka 5: Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem[2]

Parametry našeho krokového motoru na monochromátoru:

Typ: STH-39D-127

Typ zapojení: Unipolární

Počet vývodů: 5

Odpor vinutí: 148Ω

Velikost kroku: 1,8°

Napájecí napětí: 12V DC

4 Monochromátor Carl-Zeiss

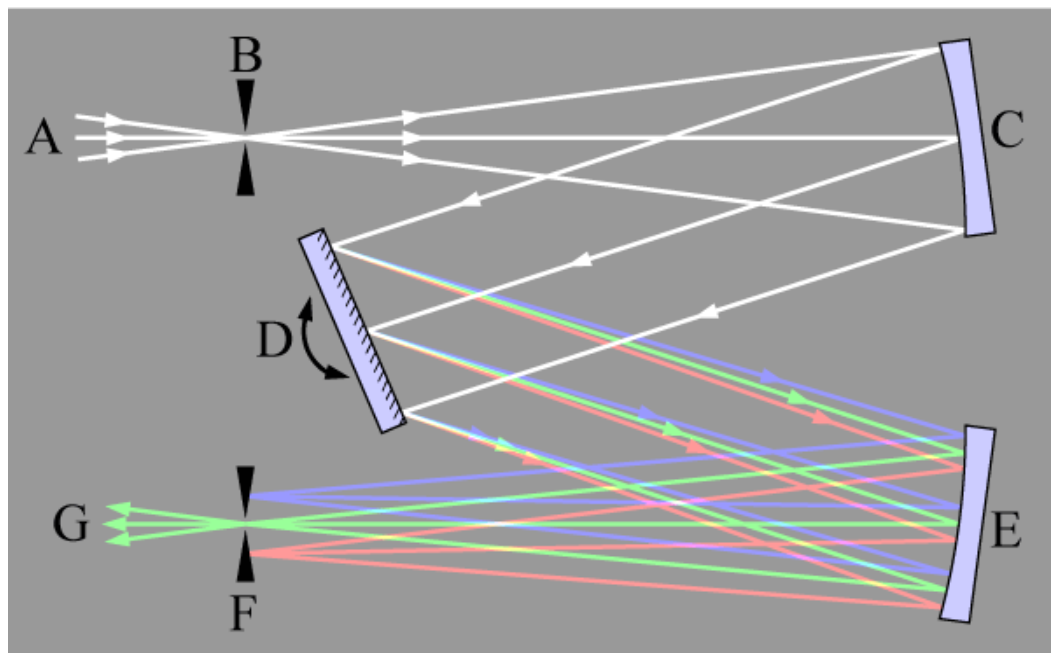
Monochromátor je optické zařízení, které propouští úzké pásmo vlnových délek světla. Výstupní vlnovou délku lze na monochromátoru mechanicky nastavovat. Slovo monochromátor je z řeckého *mono* - jedno, *chrom* - barva a latinský *ator* - zástupce. Zařízení, které produkuje monochromatické světlo, má v technice mnoho využití, protože spousta optických vlastností závisí na barvě světla. Existuje mnoho jednoduchých způsobů, jak vyrábět monochromatické světlo, ale neexistuje moc možností, jak vyrábět světlo různých barev v širokém rozmezí.[7]

Technika:

Monochromátor využívá jevu optické disperze v hranolu nebo optické difrakce pomocí difrakční mřížky, aby prostorově oddělil jednotlivé barvy světla. Obvykle má monochromátor mechanické pohyblivé zrcadlo (nebo i hranol), které určuje, jaká vlnová délka světla bude vystupovat z monochromátoru.[3]

Czerny - Turner monochromátor:

Vstupující polychromatické světlo (A), které závisí na intenzitě zdroje, vstupuje do vstupní štěrbině (B), která je v ohnisku zakřiveného zrcadla (C). Zaměřené světlo se láme o difrakční mřížku nebo hranol (D), kde ho pak shromažďuje další zrcadlo (E). Dále již rozptýlené světlo putuje na výstupní štěrbinu (F). Na výstupní štěrbině je již světlo rozloženo (na Obrázku 11 je světlo rozloženo v barvách duhy). Výstupní paprsky už obsahují pouze vlnovou délku světla, kterou jsme potřebovali. Šířky vstupní (B) a výstupní (F) štěrbin jsou upravovány společně.[3]



Obrázek 11: Czerny - Turner monochromátor [8]

5 Měřicí karta NI myDAQ

Měřicí karty NI myDAQ (MK) jsou přenosná zařízení pro sběr dat, využívající LabVIEW jako softwarový nástroj. Karta NI myDAQ (Obrázek 12) je ideální nástroj pro sběr a analýzu dat. S kombinací LabVIEW na počítači můžeme analyzovat, zpracovávat signály, a podle toho řídit příslušné procesy.[5]



Obrázek 12: Měřicí karta NI myDAQ[5]

5.1 Hardware karty NI myDAQ[5]

Karta poskytuje spoustu vstupů a výstupů. Pomocí karty lze změřit signál nebo signál generovat, měnit stavy na digitálních výstupech, konstantě napájet zařízení, měřit různá napětí v obvodu nebo měřit vlastnosti součástek. To bylo jenom malý přehled funkcí, co karta dokáže, ale ve skutečnosti je toho o dost víc. Blokované vnitřní schéma viz Obrázek 13.

Nyní k jednotlivým vstupům a výstupům:

1) Analogové vstupy (AI)

Existují zde dva vstupní kanály. Každý kanál má svorkovnici pro + a - (případně je tu zem (AGND) pro uzemnění. Tyto vstupy mohou být nastaveny jako univerzální vysoko-impedanční napěťové vstupy nebo audio vstupy. Analogové vstupy jsou multiplexované, což znamená, že oba vstupy mají jeden analogově digitální převodník (ADC). Jednotlivými vstupy lze měřit signály s rozsahy $\pm 10V$ a $\pm 2V$. Vstupní signál lze vzorkovat rychlostí až 200kS/s, což je výhodné pro získání průběhu měřeného signálu. AI jsou využívány v NI ELVIS mx Osciloskop, Bode Analyzátor, Signal Analyzátor (viz. Kapitola NI myDAQ Instrument Launcher 5.2).

2) Analogové výstupy (AO)

AO má dva výstupní kanály (0, 1). Oba výstupy mají jeden digitálně analogový převodník (DAC), který je schopen obnovovat signál na výstupu rychlostí 200kS/s. Jednotlivými výstupy lze měřit signály s rozsahy $\pm 10V$ a $\pm 2V$. AO lze také využít

v audio technice, kde oba kanály můžou představovat levý a pravý stereo kanál. AO využívá v NI ELVIS mx Funkční generátor, generátor libovolných průběhů, Bode Analyzátor (viz. Kapitola 5.2).

3) Digitální vstupy/výstupy (DIO)

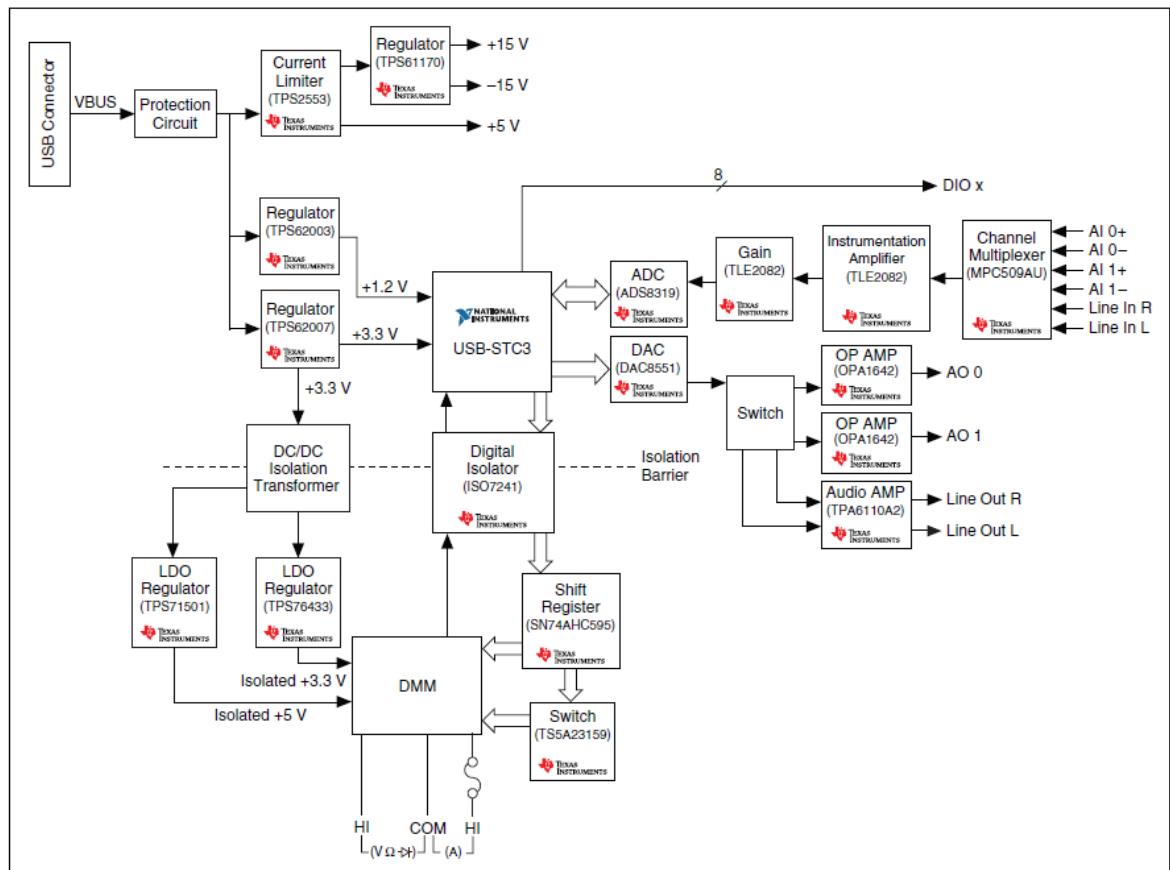
DIO kanálů je na měřiči kartě celkem 8. Každý může být naprogramován jako vstup nebo výstup. Lze je nastavit i jako vstup nebo výstup pro čítač/časovač. Digitální výstupy mají při stavu 1 napětí 3,3V.

4) Zdroje

K dispozici máme 3 napájecí zdroje. První zdroje jsou +15V a -15V, který slouží především k napájení analogových komponentů jako je operační zesilovač nebo lineární regulátory. +5V můžeme použít pro napájení digitálních zařízení. Celkový výkon analogových výstupů, digitálních výstupů a zdrojů je omezen na 500mW.

5) Digitální multimetr (DMM)

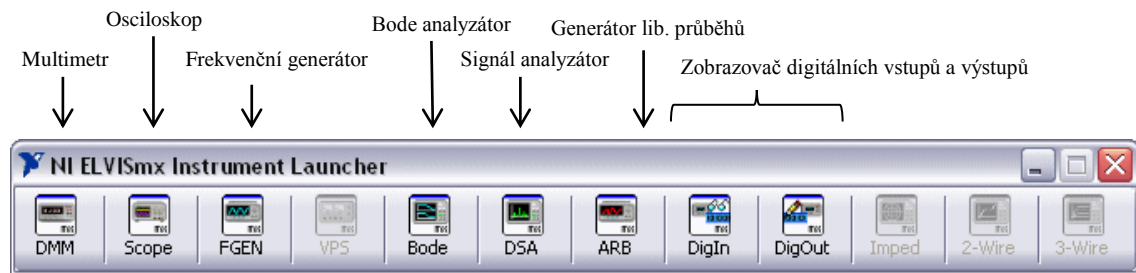
Digitální multimetr může měřit napětí (AC i DC), proud (AC i DC), odpor, test diody a akustický test průchodnosti. [5]



Obrázek 13: Blokové vnitřní schéma NI myDAQ[5]

5.2 NI myDAQ Instrument Launcher

Tento program slouží k okamžitému měření, generování, analyzování signálu nebo nastavování logických hodnot na digitálních výstupech. Spouští se automaticky při připojení NI myDAQ přes USB.[5]



Obrázek 14: NI myDAQ Instrument Launcher[5]

6 Optický fotodetektor OMS 3.1

Využívám optický fotodetektor s křemíkovou fotodiodou, která má citlivost na světlo v rozsahu $0,4\mu\text{m}$ až $1\mu\text{m}$. Schéma zapojení fotodetektoru je v příloze.

Modul s optickým fotodetektorem má 7 relátek, které spínají jednotlivé rezistory ve zpětné vazbě transimpedančního zesilovače a tím určuje konstantu převodu výstupního proudu fotodiody na napětí. Abychom mohli ovládat všech 7 stupňů zesílení, je ve fotodetektoru zařazen převodník z BCD na 1 z n, který umožňuje ovládat všechna relátka jenom 3 vstupy. O toto ovládání se starají digitální výstupy naší měřicí karty NI myDAQ (line4:6).

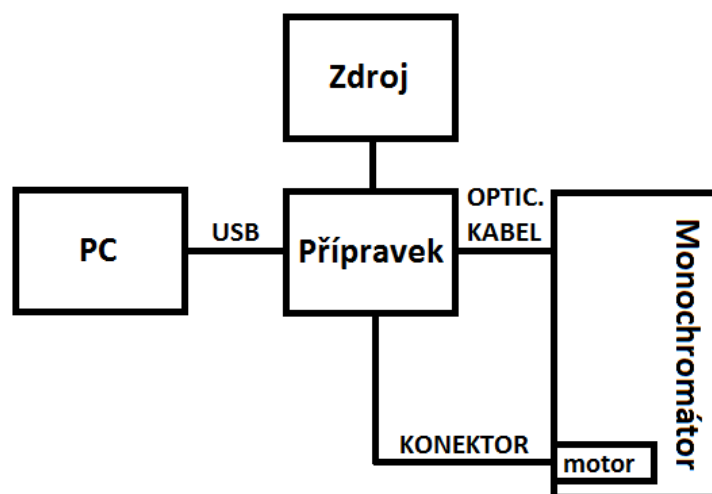
7 Automatizované měření s monochromátorem

Cílem této bakalářské práce je navržení a vytvoření automatizovaného pracoviště s monochromátorem Carl-Zeiss tak, aby bylo co nejjednodušší a nejpřehlednější.

Uživatel si zvolí počáteční a koncovou vlnovou délku, mezi kterými chce měřit daný útlum optického filtru a zadá do programu i velikost kroku. Nakonec ještě určí cesty souborů, kam se vyexportují tabulky s naměřenými hodnotami a grafy. O více se uživatel starat nemusí, neboť vše obstará program.

Měření probíhá ve třech hlavních stavech, ale celkem má šest stavů. V prvním hlavním stavu se měří napětí bez filtru (filtr není v optické dráze) při daném rozsahu vlnových délek. Ve druhém se měří průběh napětí s vloženým filtrem v optické dráze při stejném rozsahu vlnových délek a v posledním stavu dochází k přepočítání napětí na stejné zesílení optického detektoru a vykreslení grafů.

Schéma měřicího stanoviště zobrazuje Obrázek 15.



Obrázek 15: Schéma měřicího stanoviště



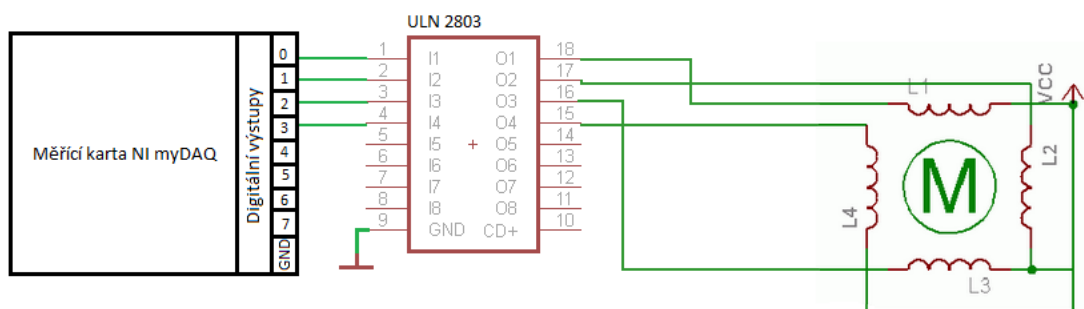
Obrázek 16: Pohled na automatizované měřicí stanoviště

8 Praktická část

8.1 Hardware měřicího systému

8.1.1 Zapojení krokového motoru

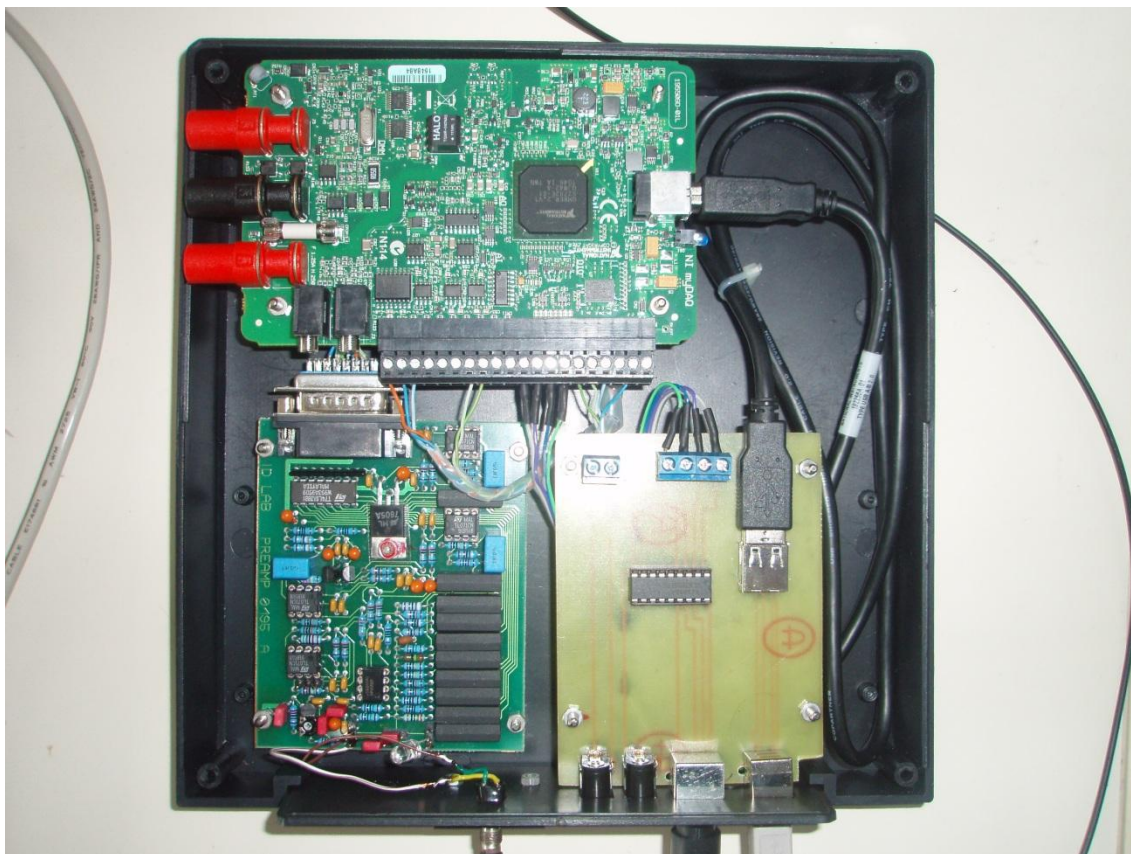
Podle pěti barevných vývodů z krokového kabelu jsem zjistil, že motor je zapojen unipolárně. Pomocí multimetru jsem změřil odpory vinutí krokového motoru a z toho odvodil střed motoru (v tomto případě je to černý kabel). Celkový odpor jednoho vinutí je 148Ω , takže od začátku po střed vinutí je odpor 75Ω . Jako výkonový budič byl použit integrovaný obvod ULN 2803. Tento integrovaný obvod obsahuje ochranné diody a invertor před každým výkonovým stupněm. Nejdříve si propojím digitální výstupy na měřicí kartě se vstupy do ULN 2803, dále výstupy výkonového budiče zapojím na jednotlivé vinutí. Vyvedený střed cívek z motoru zapojím na kladnou svorku zdroje a jako poslední propojím zápornou svorku zdroje na GND integrovaného obvodu ULN 2803. Na zdroji nastavíme 14V. Schéma zapojení zobrazuje Obrázek 17.



Obrázek 17: Schéma zapojení obvodu pro ovládání KM pomocí NI myDAQ

8.1.2 Modul pro ovládání motoru a sběr dat

Další částí mé bakalářské práce bylo vytvoření modulu, kde budou jednotlivé důležité obvody umístěny v jedné krabici. Můj modul tvoří 3 části, a to optický fotodetektor, měřicí karta NI myDAQ a mnou vytvořený plošný spoj, na kterém je umístěn budič na motor. V čelním panelu modulu se nachází optický vstup do fotodetektoru, následně dvě zdířky pro napájení. Dále konektor pro krokový motor a nakonec USB typu B pro spojení s PC.



Obrázek 18: Pohled do modulu na jednotlivé obvody



Obrázek 19: Vnější pohled na modul

8.1.3 Návrh plošného spoje

Pro návrh plošného spoje jsem použil program Eagle 6.2.0. Schéma zapojení, umístění součástek, návrh vodivých cest a seznam součástek nalezneme v příloze.

Na plošném spoji je umístěn budič ULN2803 pro krokový motor. Poté obsahuje dva napájecí konektory, které slouží jak k napájení motoru, tak i k napájení žárovky a přerušovače. Dále je na DSP USB konektory typu A i B. Důvod umístění těchto konektorů na plošný spoj byl takový, aby bylo možno kartu co nejrychleji a nejlépe vyjmout z přípravku bez dalšího pájení. Konektor MINI-Din slouží na propojení DSP a krokového motoru. Obsahuje 5 pinů, kde 4 piny tvoří fázové vinutí a jeden pin napájení motoru.

8.1.4 Držák na filtry

Pro ideální držení filtru v optické dráze jsem si vyrobil držák. Jako kloub jsem zvolil šestihrannou tyč ze železa, kterou jsem pomocí soustruhu a frézky řádně opracoval a upravil. Nosné tyče mají průměr 8mm ze železa a podložka je vyrobena z měděného plátu tloušťky 5mm. Na podložce jsou vyvrtány díry se závity M6 v různých vzdálenostech od sebe, aby bylo možné držák co nejlépe nastavit.

Do kloubu byly vyvrtány díry se závity M4 z důvodu zablokování pohybu v kloubu. Šroub v kloubu, který zajišťuje pohyb horizontální tyče, je opatřen křídlovou maticí pro snazší a rychlejší povolování nebo utahování. Na konci horizontální tyče je nasazena krokosvorka, která má upilované zuby, aby měřené filtry nepoškodila a dobře držela.



Obrázek 20: Držák filtrů

8.1.5 Přerušovač paprsku

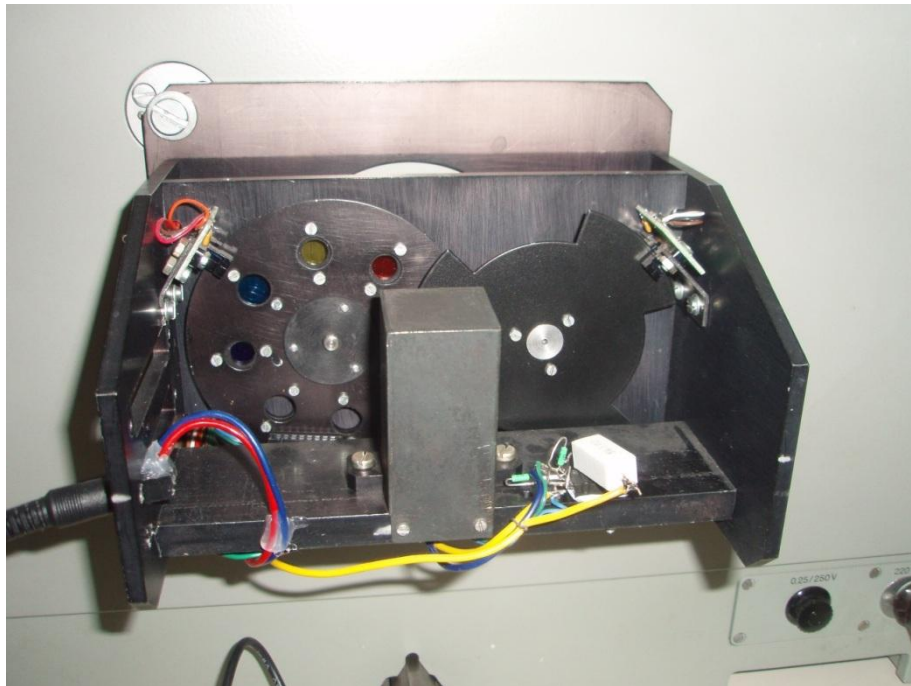
Přerušovač má v sobě motor, který přerušuje světelný paprsek vstupující do monochromátoru. Jedná se o jednofázový střídavý motor s napájením 12V. Ještě před motorem je umístěna žárovka od výrobce Osram, která tvoří zdroj polychromatického světla, s nímž monochromátor pracuje a dál ho rozkládá na monochromatické světlo.

Další hlavní důvod používání přerušovače je takový, že vytváří střídavou složku signálu pomocí přerušování paprsku. Střídavá složka signálu je odolnější vůči rušení než stejnosměrná složka.

Pomocí osciloskopu jsem si vykreslil spektrální charakteristiku a z ní vyčetl, že motor se otáčí rychlostí 258Hz. Náš motor má 3 lopatky a rychlost jsem vypočítal na 5160 otáček za minutu. Motor i žárovku lze vypnout vypínači na levé straně přípravku.

Výpočet:

$$f = \frac{258}{3} = 86\text{Hz}$$
$$v = 86 \frac{\text{ot.}}{\text{s}} * 60 = 5160 \text{ ot./min}$$



Obrázek 21: Přerušovač paprsku

8.2 Hlavní program

V této kapitole popíšu hlavní program, z pohledu ovládání tak i programování. Celkově je program navržen jako stavový automat, především kvůli zpřehlednění programu a možnosti rychlých úprav. Program má celkem 6 stavů:

- 1) Inicializaci
- 2) Měření bez filtru
- 3) Upozornění
- 4) Měření s filtrem
- 5) Výpočet + Zesílení
- 6) Export

Jednotlivé stavy popíši v kapitole 8.2.2.



Obrázek 22: Vývojový diagram programu

8.2.1 Čelní panel a ovládání programu

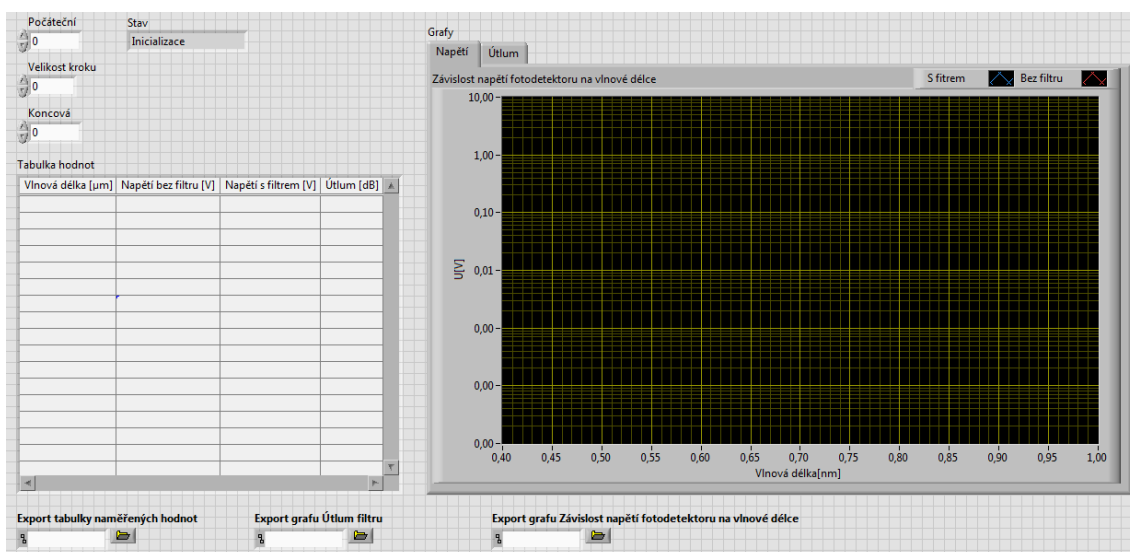
Ovládání programu jsem zvolil tak, aby bylo co nejjednodušší a také co nejpřehlednější. Nejdříve musím určit, pro jaké vlnové délky chci měřit útlum. Monochromátor má rozsah vlnových délek od $0,36\mu\text{m}$ do $2,7\mu\text{m}$. Bohužel ale křemíková fotodioda ve fotodetektoru má rozsah citlivosti pouze od $0,4\mu\text{m}$ do $1\mu\text{m}$, a proto musím volit v tomto rozsahu. Velikost kroku jsem zvolil $0,01\mu\text{m}$ kroku, abych měl dostatek změřených bodů.

V případě, že zadám nesmyslné vlnové délky nebo nulovou velikost kroku, program nás upozorní dialogem, který parametr je zadán špatně, a automaticky zastaví program.

Tabulka hodnot průběžně ukazuje, jaké hodnoty program naměřil a průběžně je vykresluje do grafu. Na čelním panelu se nachází TabControl, který má 2 záložky a v každé z nich je jeden graf. Poslední částí jsou okna na zadávání cest exportovaných souborů. Na tyto cesty budeme dotazováni v průběhu činnosti programu.

Pokud se stane nějaká událost a jsem nucen zastavit měření, musím stav programu nastavit do stavu Inicializace, v případě že chci měřit znovu.

Ještě velmi důležitým faktorem je ten, že musím mít nastavenou vlnovou délku na monochromátoru shodnou se zadávanou. Jestliže tak neučiním, program nebude měřit správné hodnoty. Stačí pouze toto před prvním měřením nastavit a pak už můžeme měřit. Občas ale doporučuji zkontrolovat, zda nastavená vlnová délka souhlasí s nastavenou vlnovou délkou na monochromátoru.



Obrázek 23: Čelní panel programu

8.2.2 Blokové schéma hlavního programu

Blokové schéma jsem navrhnul jako stavový automat, který má 6 stavů. Jednotlivé stavy jdou postupně za sebou a začínají vždy Inicializací a končí Exportem, pokud se v programu nenaskytne chyba (např. zadání špatných parametrů). Průběh programu zobrazuje Obrázek 22.

Nyní k jednotlivým stavům v programu:

1) Inicializace

Dojde k inicializaci všech potřebných proměnných a grafů. Dále pak program nastaví maximální a minimální hodnoty na grafech. Hodnotu proměnné *Počáteční* vloží do proměnné *Paměť* z důvodu pozdějšího zpracování. Z konstant řetězce string vytvoří pole, toto pole pak uloží horizontálně do tabulkového souboru, kde bude vytvářet hlavičku.

Dalším krokem je vyzkoušení správnosti zadaných hodnot (program *Test.vi*) v proměnných *Počáteční*, *Velikost kroku*, *Koncová*. Pokud jsem zadal neexistující hodnoty na stupnici nebo *Velikost kroku*=0, program nás upozorní hlášením, který parametr je zadán špatně a automaticky ukončí program. Jsou-li všechny hodnoty zadány dobře, změní se stav programu (*Inicializace* → *Měření bez filtru*).

2) Měření bez filtru

První krok je ten, že se změří napětí a velikost zesílení na dané počáteční vlnové délce a uloží do příslušných polí. Současně vloží proměnnou *Počáteční* do pole *Vlnová délka*.

Dále program vstoupí do struktury While, která se opakuje do té doby, než hodnota počáteční vlnové délky není shodná s koncovou vlnovou délkou.

Nyní program *Pocet otacek.vi* načte vstupní hodnoty a spočítá, kolik otáček je potřeba na nastavení požadované vlnové délky. Pokud program zjistí, že počáteční vlnová délka je shodná s koncovou, automaticky ukončí cyklus While. V opačném případě pošle hodnoty do programu *Pohyb motoru.vi*.

Program *Pohyb motoru.vi* si načte 3 hodnoty. První hodnota udává, kolik otáček musí motor vykonat. Druhá určuje, zda jde o pohyb dopředu nebo dozadu a třetí pak rychlost otáčení motoru. Po pootočení motoru vyšle program hodnotu True a spustí se následující struktura Case.

Ve struktuře Case se nejdříve zjistí zesílení optického detektoru pomocí programu *Zesileni.vi*. Po zjištění zesílení se provede zápis do proměnných, tabulek a vykreslení do grafu.

Poslední krok je přechod do dalšího stavu programu (*Měření bez filtru* → *Upozornění*).

3) Upozornění

V tomto stavu mi program vypíše na obrazovku pokyn pro vložení filtru do optické dráhy. Po vložení filtru stisknu Enter a program přejde na dalšího stavu (*Upozornění* → *Měření s filtrem*).

4) Měření s filtrem

Tato část programu je totožná se stavem *Měření bez filtru* až na vykreslení do grafu, které je nepatrně složitější. Zapisují se zde do grafu i hodnoty, které byli pořízeny ve stavu *Měření bez filtru*.

5) Výpočet + Zesílení

Další část programu obsahuje strukturu While, která se provede vždy jen třikrát a v ní je struktura Case. Daná struktura Case má 3 možnosti a jednotlivé možnosti se vykonávají postupně s počtem iterace struktury While.

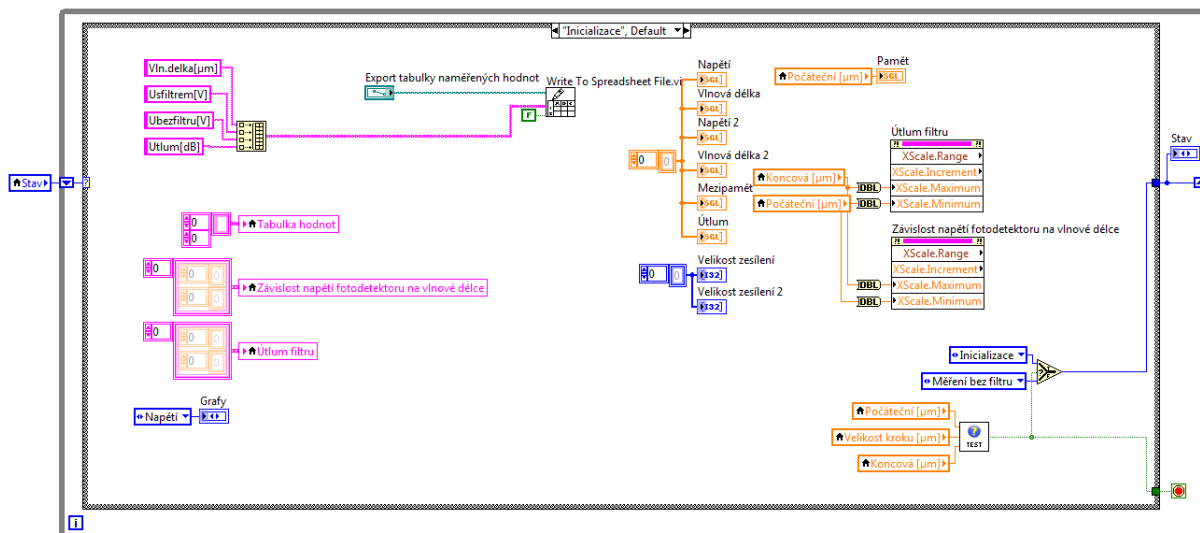
V prvním cyklu dojde k reverzaci polí z důvodu přehlednosti a k vymazání hodnot v grafu *Závislost napětí fotodetektoru na vlnové délce*, protože musím dále přepočítat napětí pro různá zesílení (viz. kapitola 8.3.4).

Druhý cyklus přepočítává (*Prepocet napeti.vi*) velikost napětí v případě, pokud mám rozdílná zesílení pro danou vlnovou délku.

V posledním cyklu program spočítá (*Utlum.vi*) útlum filtru a zobrazí jej v tabulce i grafu. Průběhy přepočítaných napětí při různých vlnových délkách se zobrazí v grafu *Závislost napětí fotodetektoru na vlnové délce*.

6) Export

Poslední stav mého hlavního programu vyexportuje dané grafy na mnou zvolené místo v počítači a zapíše všechny důležité hodnoty do tabulkového souboru, kam jsem už vložil hlavičku tabulky ve stavu *Inicializace*. Stav se nastaví na *Inicializaci* a hlavní program se ukončí.



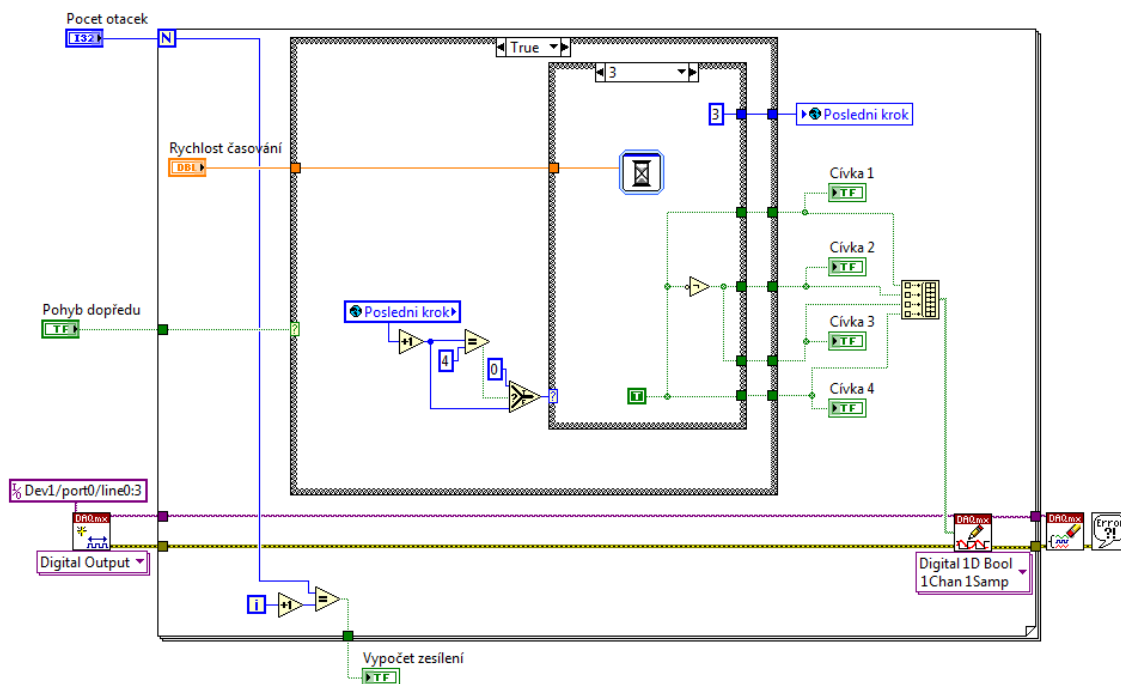
Obrázek 24: Ukázka blokového programu (stav Inicializace)

8.3 Podprogramy

8.3.1 Otáčení motoru

Celý program je ve smyčce For. Na vstup smyčky přijde hodnota, která udává, kolikrát se má motor pootočit. Dále zde jsou umístěné dvě struktury Case, které určují, jak se bude program chovat podle vstupních podmínek. V našem případě větší struktura Case rozhoduje podle True a False, zda se motor bude otáčet dozadu nebo dopředu. Menší struktura Case už budí jednotlivé fáze motoru podle posloupnosti.

Zjistil jsem, že motor je zapojen unipolárně, a tak si zvolíme řízení unipolární s plným krokem (Tabulka 2). Tedy nejdříve jsou buzeny cívky 1 a 2, poté 2 a 3, 3 a 4 a naposled 4 a 1. Toto celé se stále cyklicky opakuje. Vytvořil jsem si globální proměnnou a , která bude čítat hodnoty od 0 do 3. Při každém kroku motoru se navýší (při pohybu dopředu) nebo sníží (při pohybu dozadu) její hodnota. Pokud klesne pod 0, nastaví se hodnota proměnné na 3, v opačném případě ($a > 3$) se nastaví na 0. V každé změně fází je časové zpoždění, aby bylo možno regulovat rychlost otáčení. Při každém vybuzení cívek v programu se vytvoří pole o 4 prvcích nesoucí informace, které digitální výstupy (line0:3) budou aktivní na měřicí kartě NI myDAQ.



Obrázek 25: Program na buzení motoru

8.3.1.1 Analýza kroků

Stupnice na monochromátoru není bohužel lineární a já potřebuji nastavovat i dílčí hodnoty na stupnici. Proto jsem si v laboratoři změřil na monochromátoru velikost vzdáleností jednotlivých hodnot na stupnici.

Poté vynesl jednotlivé body do grafu a zkusil je proložit. Proto jsem si zhotovil graf v Excelu, který znázorňuje závislost velikosti otáček na vlnové délce (Obrázek 26). Dále je zapotřebí křivku grafu rozdělit na několik částí z důvodu přesné aproximace. Když použiji pouze jednu křivku na proložení, dané vypočtené odchylky jsou příliš velké, což by mohlo vést ke špatnému vypočtení velikosti otáčky, a tudíž špatnému nastavení výstupní vlnové délky z monochromátoru. Kvůli tomu jsem křivku rozdělil na 5 částí a jednotlivé části aproximoval polynomem 4. řádu, aby dané odchylky nepřesáhli chybu 1 kroku. V Matlabu pomocí funkce polyfit jsem aproximoval dané úseky a nechal si vypočítat velikosti otáček pro jednotlivé jednotky na stupnici. Vypočtené velikosti otáček byly odečteny od změřených a vynásobeny 200 (200 kroků musí udělat motor, aby se otočil kolem vlastní osy). Tím jsem vypočítal velikost odchylky kroku a z každé části křivky vybral tu největší. Rozsahy aproximace, rovnice aproximace a maximální odchylky se nachází v tabulkách pod textem (Tabulka 6).

Nyní jednotlivé maximální odchylky přepočítám na vlnovou délku. Nejdříve musím vědět, zda aproximační křivka leží nad nebo pod daným bodem. V tomto případě třetí maximální odchylka leží pod bodem a zbylé nad bodem. Je nezbytné si uvědomit, zda bude nastavovaná výstupní vlnová délka větší, nebo menší než požadovaná výstupní vlnová délka. Vše ukážu na prvním rozsahu. Víím, že nastavovaná hodnota bude větší

než požadovaná, a tudíž si musím přepočítat, kolik kroků je potřeba, abych změnil vlnovou délku z 0,375μm na 0,38μm (výpočet provádím z důvodu, protože stupnice není lineární, a tak jeden krok motoru v tomto rozmezí hodnot není stejný jako v jiném). Jednoduchým přepočtem to je 85 kroků (0,425*200=85). Toto rozmezí (0,375μm až 0,38μm) si musím rozdělit na stejné části => ((0,38-0,375)/85)=5.88*10⁻⁵. Tato hodnota udává, o kolik se změní výstupní vlnová délka, pokud se motor posune o jeden krok.

Naše největší chyba v tomto rozsahu je 0,74 kroku => motor se ale nemůže pootočit pouze 0,74 kroku. Ten se pootočí buď o krok víc nebo míň => 5.88*10⁻⁵*1= 5.88*10⁻⁵ => Celková výstupní vlnová délka s mou spočítanou chybou se spočítá následovně: 0,375+5.88*10⁻⁵=0,37506. Nakonec porovnáím vypočtenou a změřenou velikost otáčky a zjistím relativní chybu.

$$\partial_r = \frac{X_m - X_s}{X_s} * 100\% = \frac{0,375 - 0,37506}{0,37506} * 100\% = 0,01\%$$

Rozsah	Rovnice aproximace	Max. odchylka
0,36μm - 0,4μm	$y = -48951x^4 + 77874x^3 - 46864x^2 + 12708x - 1312,3$	0,74 kroku
0,4μm - 0,58μm	$y = -1571,1x^4 + 3514,7x^3 - 3011,7x^2 + 1189,3x - 175,24$	0,66 kroku
0,58μm - 0,9μm	$y = -70,075x^4 + 239,28x^3 - 316,49x^2 + 197,01x - 37,177$	0,6 kroku
0,9μm - 1,7μm	$y = 0,0291x^4 + 1,6751x^3 - 8,1226x^2 + 14,937x + 4,1346$	0,88 kroku
1,7μm - 2,8μm	$y = -0,3442x^4 + 2,9151x^3 - 8,8185x^2 + 13,69x + 5,2912$	0,8 kroku

Tabulka 6: Rovnice a maximální odchylky kroku

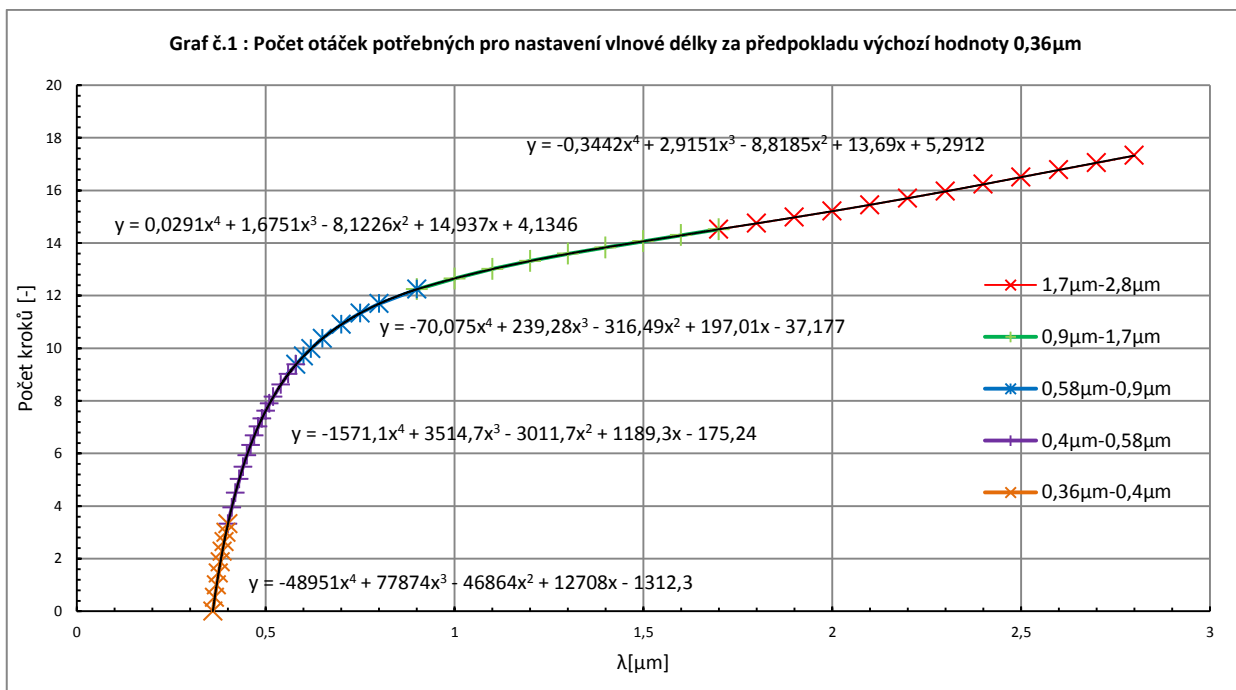
λ při max. odchylce	Velikost změřené ot.	Velikost vypočtené ot.	Odchylka	Vypočtená odchylka λ	Chyba
0,375μm	1,445	1,4487	+0,74 kroku	0,37506μm	0,01%
0,5μm	7,620	7,6233	+0,66 kroku	0,5002μm	0,04%
0,75μm	11,335	11,333	-0,6 kroku	0,7494μm	0,08%
1,4μm	13,830	13,8344	+0,88 kroku	1,402μm	0,14%
2,7μm	17,050	17,0539	+0,8 kroku	2,702μm	0,07%

Tabulka 7: Výpočet odchylky výstupní vlnové délky

Hodnoty stupnice		Velikost otáčky mezi hodnotami	Velikost otáčky od 0,36 μ m
$\lambda_{poč}[\mu\text{m}]$	$\lambda_{kon}[\mu\text{m}]$		
0,36	0,365	0,520	0,520
0,365	0,37	0,480	1,000
0,37	0,375	0,445	1,445
0,375	0,38	0,425	1,870
0,38	0,385	0,400	2,270
0,385	0,39	0,370	2,640
0,39	0,395	0,350	2,990
0,395	0,4	0,335	3,325
0,4	0,41	0,615	3,940
0,41	0,42	0,565	4,505
0,42	0,43	0,515	5,020
0,43	0,44	0,470	5,490
0,44	0,45	0,435	5,925
0,45	0,46	0,395	6,320
0,46	0,47	0,365	6,685
0,47	0,48	0,335	7,020
0,48	0,49	0,310	7,330
0,49	0,5	0,290	7,620
0,5	0,51	0,275	7,895
0,51	0,52	0,255	8,150
0,52	0,54	0,465	8,615
0,54	0,56	0,405	9,020
0,56	0,58	0,360	9,380
0,58	0,6	0,320	9,700
0,6	0,62	0,285	9,985

Hodnoty stupnice		Velikost otáčky mezi hodnotami	Velikost otáčky od 0,36 μ m
$\lambda_{poč}[\mu\text{m}]$	$\lambda_{kon}[\mu\text{m}]$		
0,62	0,65	0,385	10,370
0,65	0,7	0,530	10,900
0,7	0,75	0,435	11,335
0,75	0,8	0,355	11,690
0,8	0,9	0,550	12,240
0,9	1	0,410	12,650
1	1,1	0,360	13,010
1,1	1,2	0,310	13,320
1,2	1,3	0,270	13,590
1,3	1,4	0,240	13,830
1,4	1,5	0,235	14,065
1,5	1,6	0,230	14,295
1,6	1,7	0,230	14,525
1,7	1,8	0,225	14,750
1,8	1,9	0,230	14,980
1,9	2	0,230	15,210
2	2,1	0,240	15,450
2,1	2,2	0,255	15,705
2,2	2,3	0,260	15,965
2,3	2,4	0,270	16,235
2,4	2,5	0,270	16,505
2,5	2,6	0,275	16,780
2,6	2,7	0,270	17,050
2,7	2,8	0,275	17,325

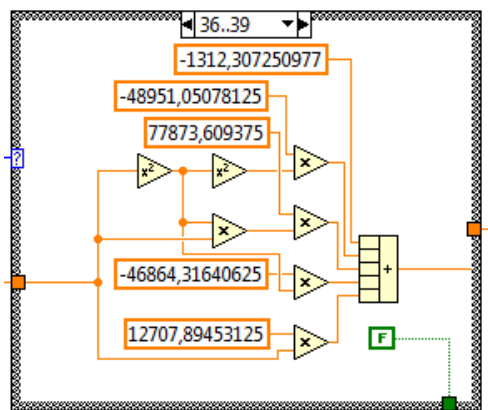
Tabulka 8: Velikost otáčky mezi jednotlivými hodnotami na stupnici



Obrázek 26: Počet otáček potřebných pro nastavení vlnové délky za předpokladu výchozího stavu monochromátoru na vlnové délce 0,36μm

8.3.2 Výpočet počtu otáček pomocí rovnic

Vytvořil jsem v LabVIEW program (*Pocet otacek.vi*) na výpočet počtu otáček pomocí zjištěných rovnic z aproximace. Tento program už dokáže nastavovat i dílčí hodnoty na stupnici. Základem jsou struktury Case. Velikost proměnné *Počáteční* rozhoduje, z jakého rozsahu se bude počítat velikost otáčky. Ve struktuře Case se nachází jednotlivé polynomy rovnice, které vypočítají přesný počet otáček. Program dokáže vyhodnotit i směr otáčení motoru a ukončit i celý hlavní program, jestliže proměnné *Počáteční* a *Koncová* se sobě rovnají.



Obrázek 27: Ukázka z programu na výpočet počtu otáček pomocí rovnic z aproximace

8.3.3 Výpočet zesílení fotodetektoru

V modulu s optickým detektorem je 7 různých stupňů zesílení. O jejich přepínání se starají relátka, která se ovládají skrz digitální výstupy (line4:6) na měřicí kartě NI myDAQ.

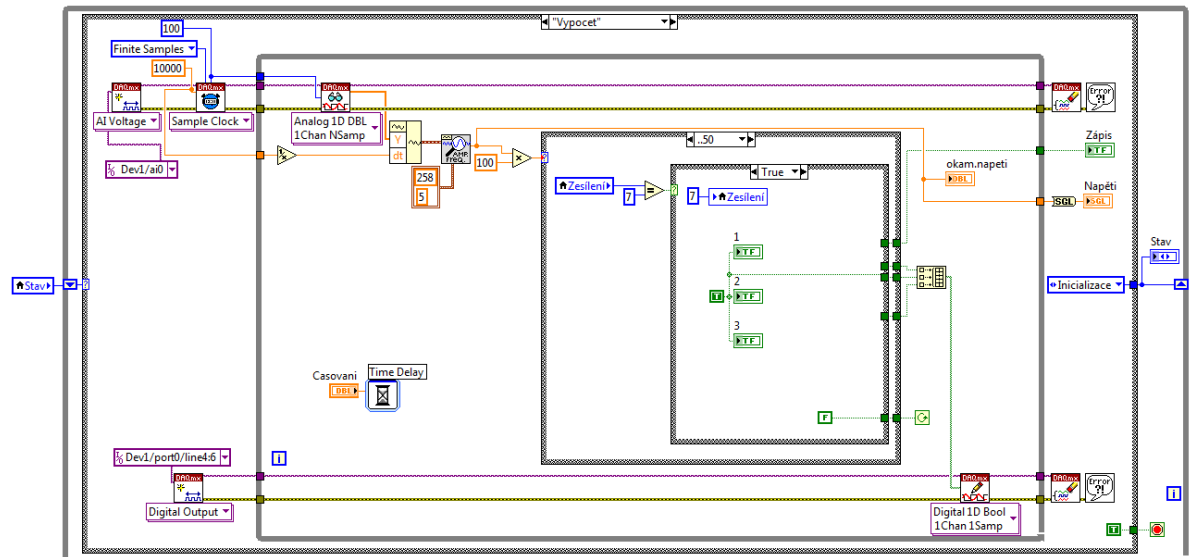
Celkově je podprogram navržen jako stavový automat se 2 stavy. První stav je *Inicializace* a druhý stav je *Vypočet zesílení*.

V prvním stavu se pouze inicializují potřebné proměnné a nastaví se všechny digitální výstupy na logickou nulu.

Druhý stav už zjišťuje, jaké zesílení bude zvoleno. Musel jsem si určit hranice napětí, kdy bude zesílení zvětšeno nebo zmenšeno. V případě, že $U < 0,5V$, bude zesílení zvětšeno. Naopak jestliže $U > 6,5V$, zesílení je zmenšeno. Pokud je nastaveno největší možné zesílení a napětí je pořád menší jak $0,5V$, zapíše automaticky velikost zesílení a napětí. V opačném případě jestliže je napětí pořád větší jak $6,5V$ a zesílení je nejmenší, opět zapíše velikost zesílení a napětí.

V případě, že je napětí v rozsahu $0,5V < U < 6,5V$, program uloží velikost zesílení a napětí do příslušných proměnných.

Zajímavá část v tomto schématu je sběr analogových dat (měření střídavého signálu). Z měřeného napětí si vytvořím signál, který pošlu do bloku *Extract Single Tone Information.vi*. Do tohoto bloku zadám frekvenci (258 Hz), na které má program hledat velikost amplitudy, a procentuální rozsah (5%). Dále je signál zpracováván a podle toho program vyhodnocuje, zda zesílení zvětší nebo zmenší.



Obrázek 28: Ukázka podprogram pro výpočet zesílení (stav výpočet)

8.3.4 Přepočítání napětí

V předchozí kapitole jsme si řekli, že náš optický fotodetektor má 7 stupňů zesílení. Nyní nastává situace, kdy bylo změřeno dvou průběhů napětí (s filtrem a bez filtru) na stejných vlnových délkách, ale s rozdílným zesílením a proto je nutné přepočítat velikost napětí, aby zesílení bylo stejné v každém bodě. Teoreticky i prakticky se ověřilo, že napětí s filtrem má většinou vyšší zesílení, než napětí bez filtru při dané vlnové délce.

Princip je takový, že program odečte zesílení měřené bez filtru od zesílení měřené s filtrem a podle výsledku vynásobí nebo vydělí napětí s filtrem.

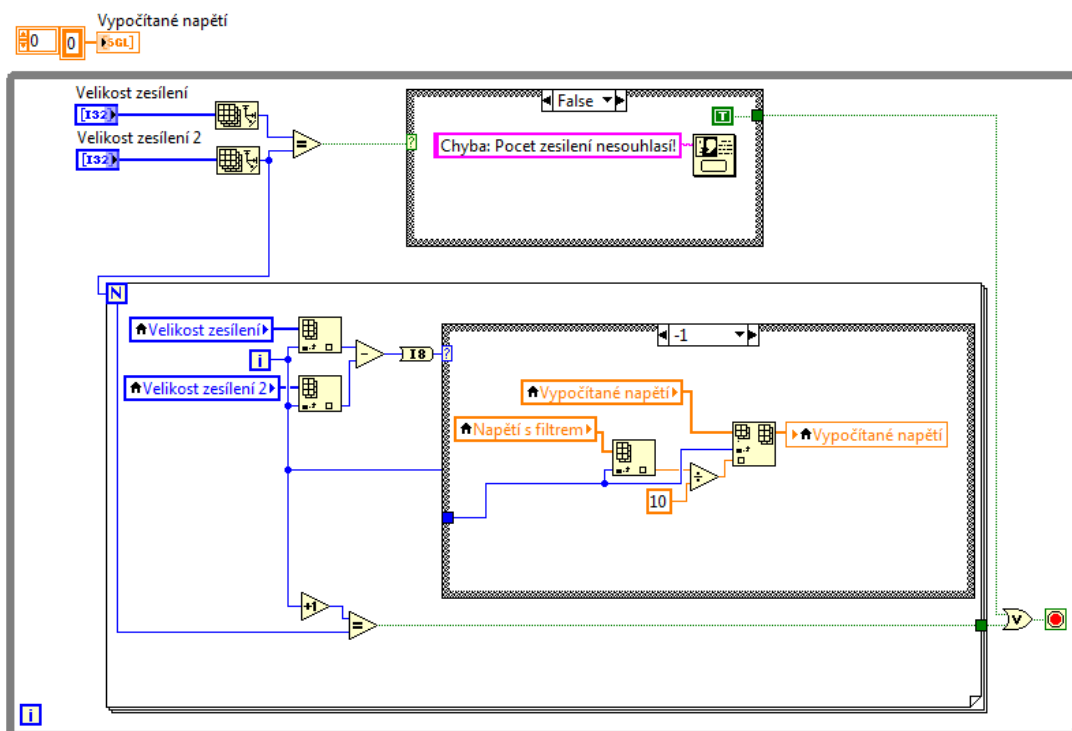
Př.:

$$U_{bez\ filtru} = 5V, A_1 = 6$$

$$U_{s\ filtrem} = 0,6V, A_2 = 7$$

$$(A_1 - A_2) = -1 \rightarrow A = 10, \text{ dělení}$$

$$U_{přepoč} = U_{s\ filtrem} / A = 0,6V / 10 = 0,06V$$



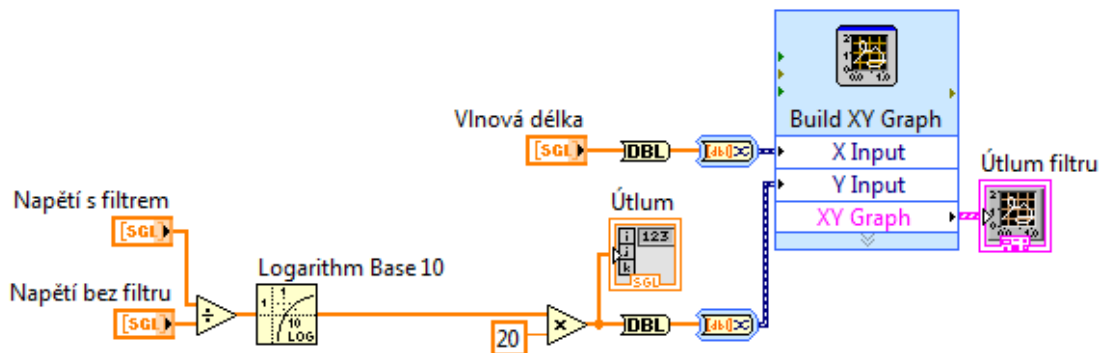
Obrázek 29: Ukázka program na přepočítání zesílení

8.3.5 Výpočet útlumu

Pro výpočet útlumu optického filtru jsem vytvořil podprogram s názvem *Utlum.vi*. Útlum filtru spočítám podle následujícího vztahu:

$$A = 20 * \log \frac{U_{sfiltru}}{U_{bezfiltru}} [dB]$$

Všechny hodnoty se uloží do pole *Útlum*, vykreslí do grafu *Útlum filtru* a nakonec se hodnoty pošlou zpět do hlavního programu.



Obrázek 30: Program na výpočet útlumu

9 Měření útlumu brýlí Thorlabs LG9

Finálním měřením mám za úkol porovnat mnou změřenou útlumovou charakteristiku s výrobcem udávanou útlumovou charakteristikou brýlí Thorlabs LG9. Tyto brýle slouží jako ochrana očí před laserovým zářením.[8] Vytvořený program počítá útlumovou charakteristiku v dB, zatímco výrobce brýlí uvádí charakteristiku v optické hustotě. Proto musím vypočítat pomocí mých změřených hodnot optickou hustotu D podle vztahů:

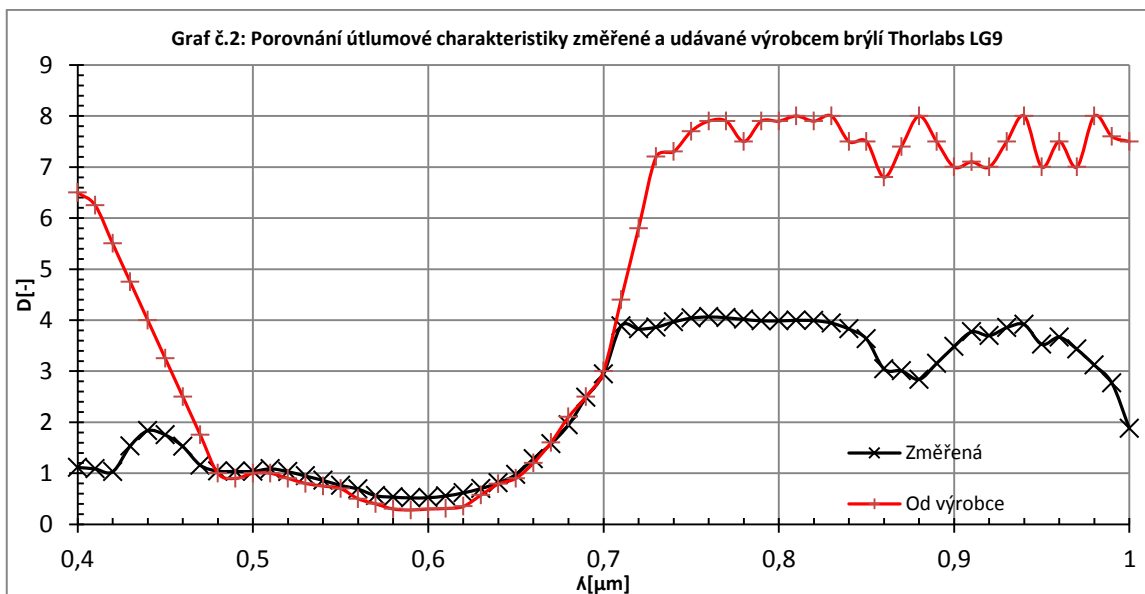
$$D = -\log(T) [-], T = \frac{I}{I_0} [-] \quad [9]$$

Z grafu s průběhy napětí lze vyčíst, že v oblasti od $0,4 \mu\text{m}$ do $0,47 \mu\text{m}$ bohužel dochází k velké odchylce, které je způsobena nedostatečným dodaným výkonem žárovky u ultrafialové oblasti a tudíž malým odstupem měřeného signálu a šumu. Toto lze zlepšit výměnou žárovky. Používaná žárovka je od výrobce Osram a ta obsahuje UV filtr. Pokud bych jí nahradil jinou, méně kvalitnější, dodávaný výkon u oblasti UV by se mohl zlepšit. Lze také vyčíst, že brýle propouští nejvíce světla v pásmu viditelného světla.

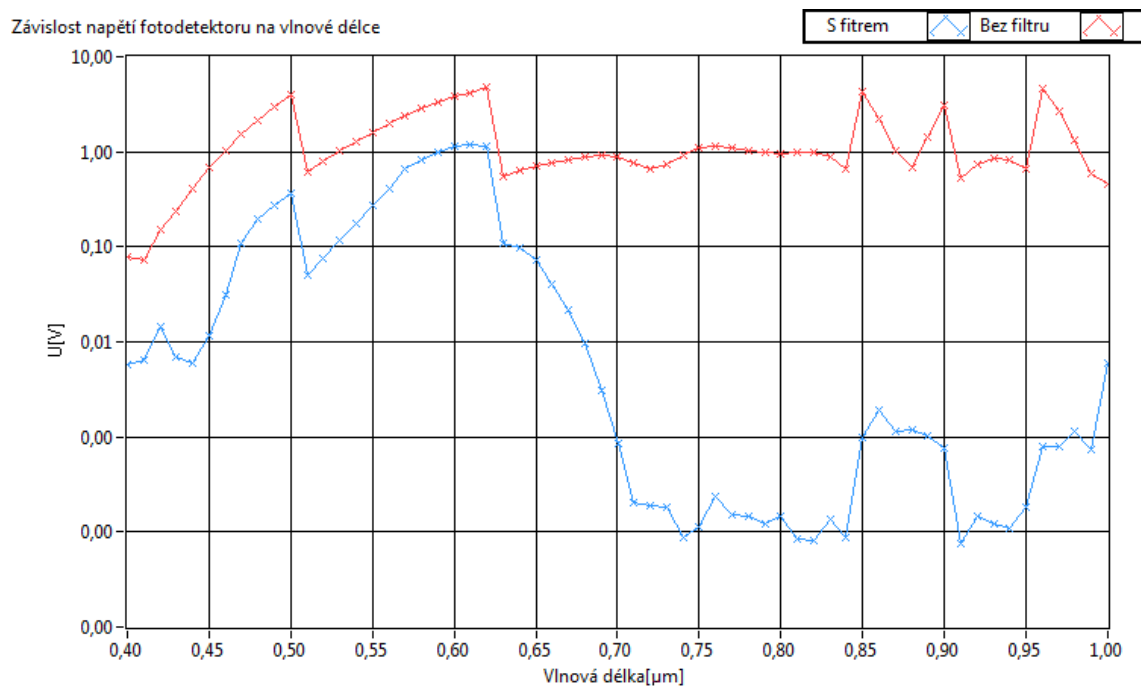
Naopak v rozsahu od $0,72 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$ mají brýle největší útlum. V tomto rozmezí vlnových délek dochází k odchylce, která může být způsobena špatným nastavením zesílení zesilovače v optickém fotodetektoru. Zesílení zesilovače se volí pouze na kmitočtu přerušovače, který ale neuvažuje celkové výstupní napětí na fotodetektoru.

Dalším zdrojem chyby může být i zmiňovaný odstup mezi signálem a šumem při měření s vloženým filtrem. Tento odstup může samozřejmě omezovat i dynamický rozsah měřicí karty. NI myDAQ má kromě rozsahu $\pm 10\text{V}$ také $\pm 2\text{V}$, který by mohl zvětšit daný odstup mezi signálem a šumem.

K závěru měření bych dodal, že v rozmezí $0,48 \mu\text{m} - 0,71 \mu\text{m}$ se obě útlumové charakteristiky shodují a tak jsem v daném rozsahu ověřil optickou hustotu laserových brýlí Thorlabs LG9.



Obrázek 31: Graf porovnání útlumových charakteristik



Obrázek 32: Průběhy naměřených napětí brýlí Thorlabs LG9

λ [μm]	$U_{\text{sfilt.}}$ [V]	$U_{\text{bezfilt.}}$ [V]	T [-]	$D_{\text{měr}}$ [-]	D_{ref} [-]	λ [μm]	$U_{\text{sfilt.}}$ [V]	$U_{\text{bezfilt.}}$ [V]	T [-]	$D_{\text{měr}}$ [-]	D_{ref} [-]
1	0,449	0,0060	0,013363	1,87	7,50	0,69	0,917	0,0030	0,003272	2,49	2,50
0,99	0,584	0,0010	0,001712	2,77	7,60	0,68	0,886	0,0100	0,011287	1,95	2,10
0,98	1,314	0,0010	0,000761	3,12	8,00	0,67	0,826	0,0220	0,026634	1,57	1,60
0,97	2,698	0,0010	0,000371	3,43	7,00	0,66	0,762	0,0400	0,052493	1,28	1,20
0,96	4,619	0,0010	0,000216	3,66	7,50	0,65	0,701	0,0740	0,105563	0,98	0,90
0,95	0,67	0,0002	0,000299	3,53	7,00	0,64	0,634	0,0980	0,154574	0,81	0,79
0,94	0,819	0,0001	0,000122	3,91	8,00	0,63	0,551	0,1100	0,199637	0,70	0,57
0,93	0,855	0,0001	0,000140	3,85	7,50	0,62	4,71	1,1430	0,242675	0,61	0,35
0,92	0,745	0,0002	0,000201	3,70	7,00	0,61	4,185	1,1660	0,278614	0,55	0,31
0,91	0,53	0,0001	0,000170	3,77	7,10	0,6	3,778	1,1390	0,301482	0,52	0,30
0,9	3,034	0,0010	0,000330	3,48	7,00	0,59	3,307	1,0040	0,303598	0,52	0,28
0,89	1,417	0,0010	0,000706	3,15	7,50	0,58	2,833	0,8320	0,293682	0,53	0,30
0,88	0,69	0,0010	0,001449	2,84	8,00	0,57	2,389	0,6570	0,275010	0,56	0,40
0,87	1,015	0,0010	0,000985	3,01	7,40	0,56	1,979	0,4040	0,204144	0,69	0,50
0,86	2,215	0,0020	0,000903	3,04	6,80	0,55	1,601	0,2770	0,173017	0,76	0,70
0,85	4,278	0,0010	0,000234	3,63	7,50	0,54	1,283	0,1770	0,137958	0,86	0,75
0,84	0,668	0,0001	0,000150	3,82	7,50	0,53	1,024	0,1160	0,113281	0,95	0,80
0,83	0,878	0,0001	0,000114	3,94	8,00	0,52	0,807	0,0750	0,092937	1,03	0,90
0,82	0,981	0,0001	0,000102	3,99	7,90	0,51	0,623	0,0510	0,081862	1,09	1,00
0,81	0,991	0,0001	0,000101	4,00	8,00	0,5	4,015	0,3690	0,091905	1,04	1,00
0,8	0,968	0,0001	0,000103	3,99	7,90	0,49	2,993	0,2750	0,091881	1,04	0,90
0,79	0,971	0,0001	0,000103	3,99	7,90	0,48	2,16	0,1960	0,090741	1,04	1,00
0,78	1,034	0,0001	0,000097	4,01	7,50	0,47	1,536	0,1070	0,069661	1,16	1,75
0,77	1,114	0,0001	0,000090	4,05	7,90	0,46	1,036	0,0310	0,029923	1,52	2,50
0,76	1,157	0,0001	0,000086	4,06	7,90	0,45	0,676	0,0120	0,017751	1,75	3,25
0,75	1,095	0,0001	0,000091	4,04	7,70	0,44	0,409	0,0060	0,014670	1,83	4,00
0,74	0,922	0,0001	0,000108	3,96	7,30	0,43	0,239	0,0070	0,029289	1,53	4,75
0,73	0,727	0,0001	0,000138	3,86	7,20	0,42	0,15	0,0140	0,093333	1,03	5,50
0,72	0,668	0,0001	0,000150	3,82	5,80	0,41	0,073	0,0060	0,082192	1,09	6,25
0,71	0,766	0,0001	0,000131	3,88	4,40	0,4	0,078	0,0060	0,076923	1,11	6,50
0,7	0,884	0,0010	0,001131	2,95	3,00						

Tabulka 9: Naměřené hodnoty měření s brýlemi Thorlabs LG9

10 Závěr

Výsledkem mé bakalářské práce je automatizované pracoviště s monochromátorem Carl – Zeiss. Ovládací program byl vytvořen a navržen v LabVIEW tak, aby byl pro uživatele co nejpřehlednější, vyžadoval co nejmíň zásahu během činnosti a aby rozpoznal i špatně zadané parametry.

Činnost monochromátoru je ovládána krokovým motorem, s kterým se pomocí měřicí karty NI myDAQ a programu vytvořeném v LabVIEW otáčí a tím se mění výstupní vlnovou délka světla z monochromátoru.

V praktické části jsem popsal hardware pro měřicí systém. O světelné přerušování paprsku se stará motor, který má na hřídeli upevněný kovový kotouč s třemi zuby a který vytváří střídavou složku signálu, která je více odolná vůči rušení než složka stejnosměrná. U přerušovače paprsku se nachází žárovka od výrobce Osram, která je pro monochromátor zdroj polychromatického světla. Pro držení optických filtrů jsem si vyrobil držák, který usnadňuje manipulaci s filtry. Dále jsem vytvořil modul, v kterém se nachází všechny důležité obvody pro sběr dat a řízení monochromátoru. Nachází se v něm měřicí karta NI myDAQ, optický fotodetektor a mnou vytvořený plošný spoj.

Na závěr mé bakalářské práce jsem provedl finální měření s brýlemi Thorlabs LG9. Tyto brýle slouží jako ochrana proti laserovému záření. Hlavním úkolem je srovnat změřenou útlumovou charakteristiku s výrobcem udávanou útlumovou charakteristikou.

Z prakticky změřených hodnot lze říct, že brýle mají nejmenší optickou hustotu ve spektru viditelného světla. K první odchylce dochází v rozsahu $0,4 \mu\text{m} - 0,48 \mu\text{m}$, kterou může způsobovat nedostatečný výkon žárovky a tudíž nedostačující odstup signálu od šumu.

Největší optickou hustotu mají naopak od $0,7 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$, kde ale dochází k dalšímu výraznému rozdílu mezi naměřenou a katalogovou hodnotou optické hustoty. Tento rozdíl může být způsoben chybným nastavováním zesílení zesilovače ve fotodetektoru, které se volí pouze podle velikosti napětí na kmitočtu přerušovače (258 Hz) a neuvažuje se celkové výstupní napětí zesilovače ve fotodetektoru, které může být vyšší a způsobovat limitaci následujících obvodů fotodetektoru. Tato chyba může být dána i nedostatečným odstupem signál/šum zesilovače fotodetektoru nebo malým dynamickým rozsahem napětíového vstupu použité měřicí karty NI myDAQ při měření velmi malých signálů.

Pro omezení této chyby by bylo nutné upravit program na volbu zesílení, kde by se pracovalo s celkovým výstupním napětím z fotodetektoru. Dalším vylepšením měřicího stanoviště bych vyměnil žárovku za méně kvalitní (bez UV filtru), aby dodávaný výkon u UV oblasti byl větší. Bohužel z důvodu časové tísně jsem nestačil tyto návrhy provést.

Celou tuto bakalářskou práci považuji pro mě za velmi přínosnou, protože mi umožnila praktické seznámení s danou problematikou.

11 Literatura

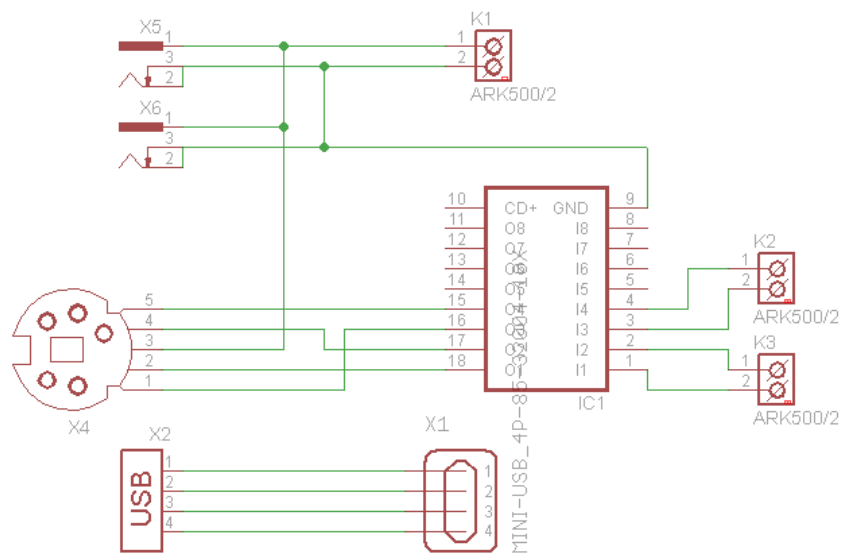
- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-807-3002-459.
- [2] *Robotika.cz* [online]. 2002-10-28 [cit. 2011-12-06]. Robotika.cz. Dostupné z WWW: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [3] Monochromator. *Monochromator* [online]. 4 May 2005 [cit. 2012-01-14]. Dostupné z: http://users.uj.edu.pl/~ufpostaw/2_Pracownia/S2/monochromator_en.htm
- [4] FRIEDL, František. *Řízení otáček krokového motoru*. Zlín, 2008. 62 str. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] National Instruments Corporation. User guide and specifications NI myDAQ. 2010-2011. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373060e.pdf>
- [6] KREJČÍ, O. *Realizace malého měniče pro krokové motory řízeného mikropočítačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Knobloch.
- [7] Monochromator. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2008, 14. prosince 2011 [cit. 2012-01-16]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Monochromator>
- [8] Thorlabs. Laser Safety Glasses LG9, 9. srpna 2011. Dostupné z: <http://www.thorlabs.de/Thorcat/13000/13061-S01.pdf>
- [9] TRÄGER, Frank. *Springer Handbook of Lasers and Optics* [online]. New York: Springer Science+ Business Media, 2007 [cit. 2012-05-22]. ISBN 0-387-30420-7. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=YOHJGz-9UNoC&pg=PR6&lpg=PR6&dq=0387304207+isbn&source=bl&ots=WLi419YAIr&sig=9w54HEQK1McIAvkLq9wNiFnh3sg&hl=cs&sa=X&ei=zQC8TebN8jRtAaQwdmRDg&ved=0CE0Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false>

12 Seznam obrázků

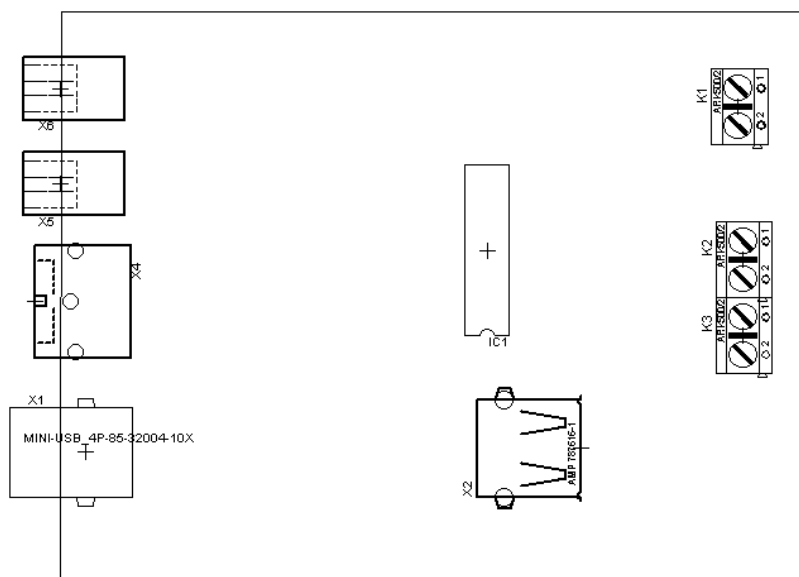
Obrázek 1: Čelní panel VI	9
Obrázek 2: Blokové schéma VI	9
Obrázek 3: Čelní panel s Controls panelem.....	10
Obrázek 4: Nástrojová lišta v čelním panelu	10
Obrázek 5: Blokový diagram s Functions paletou	11
Obrázek 6: Nástrojová lišta v blokovém diagramu	11
Obrázek 7: Krokový motor s pasivním rotorem[4]	12
Obrázek 8: Aktivní krokový motor[4]	13
Obrázek 9: Hybridní krokový motor[4].....	14
Obrázek 10: Vnitřní zapojení krokových motorů[6]	14
Obrázek 11: Czerny - Turner monochromátor [8].....	17
Obrázek 12: Měřičí karta NI myDAQ[5]	18
Obrázek 13: Blokové vnitřní schéma NI myDAQ[5].....	19
Obrázek 14: NI myDAQ Instrument Launcher[5].....	20
Obrázek 15: Schéma měřičího stanoviště	21
Obrázek 16: Pohled na automatizované měřičí stanoviště	21
Obrázek 17: Schéma zapojení obvodu pro ovládání KM pomocí NI myDAQ	22
Obrázek 18: Pohled do modulu na jednotlivé obvody.....	23
Obrázek 19: Vnější pohled na modul	23
Obrázek 20: Držák filtrů	24
Obrázek 21: Přerušovač paprsku	25
Obrázek 22: Vývojový diagram programu	26
Obrázek 23: Čelní panel programu	27
Obrázek 24: Ukázka blokového programu (stav Inicializace).....	29
Obrázek 25: Program na buzení motoru	30
Obrázek 26: Počet otáček potřebných pro nastavení vlnové délky za předpokladu výchozího stavu monochromátoru na vlnové délce 0,36 μ m	33
Obrázek 27: Ukázka z programu na výpočet počtu otáček pomocí rovnic z aproximace	33
Obrázek 28: Ukázka podprogram pro výpočet zesílení (stav výpočet)	34
Obrázek 29: Ukázka program na přepočtení zesílení	35
Obrázek 30: Program na výpočet útlumu	36
Obrázek 31: Graf porovnání útlumových charakteristik	38
Obrázek 32: Průběhy naměřených napětí brýlí Thorlabs LG9	38
Obrázek 33: Schéma zapojení optického fotodetektoru	44
Obrázek 34: Schéma zapojení DSP	45
Obrázek 35: Umístění součástek na DPS	45
Obrázek 36: Návrh vodivých cest na DSP.....	46

13 Seznam tabulek

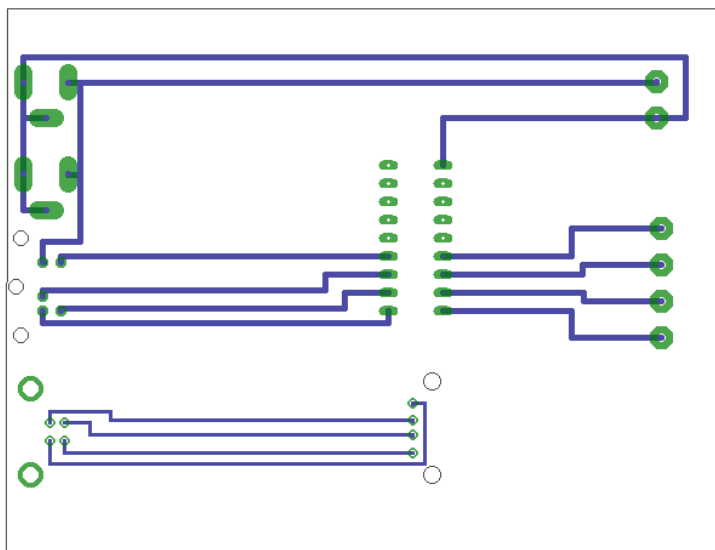
Tabulka 1: Unipolární jednofázové řízení s plným krokem[2].....	15
Tabulka 2: Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem[2]	15
Tabulka 3: Unipolární řízení s polovičním krokem[2]	16
Tabulka 4: Bipolární jednofázové řízení s plným krokem[2].....	16
Tabulka 5: Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem[2].....	16
Tabulka 6: Rovnice a maximální odchylky kroku.....	31
Tabulka 7: Výpočet odchylky výstupní vlnové délky	31
Tabulka 8: Velikost otáčky mezi jednotlivými hodnotami na stupnici	32
Tabulka 9: Naměření hodnoty měření s brýlemi Thorlabs LG9.....	39
Tabulka 10: Seznam součástí pro DPS	46



Obrázek 34: Schéma zapojení DSP



Obrázek 35: Umístění součástek na DPS



Obrázek 36: Návrh vodivých cest na DSP

Součástka	Množství
Patice DIL 18	1 ks
Svorkovnice ARK500/2	3 ks
USB typ A	1 ks
USB typ B	1 ks
Napájení konektor K375A	2 ks
Konektor MINI-Din MDD5BB	1 ks

Tabulka 10: Seznam součástek pro DPS