



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

OVLADAČE K OPTICKÉMU SPEKTRÁLNÍMU ANALYZÁTORU.

DRIVERS FOR OPTICAL SPECTRAL ANALYZER.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Fišer

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vlastimil Mancl

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Michal Fišer

ID: 211143

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Ovladače k optickému spektrálnímu analyzátoru.

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Zpracujte přehled metod měření vlnové délky a spektra viditelného a IR záření
- 2) Nastudujte a zdokumentujte možnosti komunikace a ovládání spektrálního analyzátoru Bristol Instruments 771B-NIR.
- 3) Vytvořte knihovnu funkcí v prostředí LabVIEW umožňující:
 - nastavení a vyčtení všech parametrů měření
 - vyčítání spektra na volitelném rozsahu s volitelným rozlišením
 - ukládání a načítání konfigurace měření
- 4) Pomocí vytvořené knihovny vytvořte aplikaci pro ovládání spektrálního analyzátoru, která bude poskytovat funkce jako aplikace, dodávané výrobcem analyzátoru.
- 5) Tuto aplikaci ověřte na kontrolním měření.
- 6) Součástí bakalářské práce bude dokumentace všech vytvořených funkcí a bloků

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. Začínáme s LabVIEW. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Mancl

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá popisem aplikace pro ovládání optického spektrálního analyzátoru Bristol Instruments 771B-NIR. Účelem aplikace je měření spektra optického signálu a vlnové délky. Teoretické znalosti o měření vlnové délky a spektra a o optických spektrálních analyzátorech jsou shrnuty v teoretické části, zatímco praktická část se zabývá realizací měřicí aplikace a knihovny funkcí, které byly vytvořeny v prostředí LabVIEW. Pro ovládání přístroje jsou použity příkazy standardu SCPI. Aplikace i knihovna funkcí je inspirována výrobcem dodaným rozhraním NuVIEW.

Klíčová slova

Bristol Instrument 771B-NIR, Knihovna funkcí, LabVIEW, Měřicí aplikace, National Instrument, NuVIEW, Optický spektrální analyzátor, SCPI, Spektrum, USB, Vlnová délka

Abstract

This bachelor thesis describes the application for the control of the optical spectrum analyzer Bristol Instruments 771B-NIR. The purpose of the application is to measure the spectrum of optical signal and wavelength. Theoretical knowledge of wavelength and spectrum measurement and the optical spectral analyzers are summarized in the theoretical part. The practical part focused on the realization of measurement application and library of functions that were created in the LabVIEW environment and the SCPI standard commands are used to control the instrument. Both the application and the library of functions are inspired by the factory-supplied NuVIEW interface.

Keywords

Bristol Instrument 771B-NIR, LabVIEW, Library of functions, Measurement application, National Instrument, NuVIEW, Optical spectrum analyser, SCPI, Spectrum, USB, Wavelength

Bibliografická citace

FIŠER, Michal. Ovladače k optickému spektrálnímu analyzátoru. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134712>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Vlastimil Mancl.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Michal Fišer
VUT ID studenta:	211143
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Ovladače k optickému spektrálnímu analyzátoru

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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: 21. května 2021

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vlastimilu Manclovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Taktéž bych rád poděkoval za odborné konzultace a podněty panu Ing. Michalu Skalskému.

V Brně dne: 21. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
ÚVOD	12
1 MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY A SPEKTRA VIDITELNÉHO A IR ZÁŘENÍ	13
1.1 VLNOVÁ DÉLKA	13
1.2 MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY.....	13
1.3 SPEKTRUM	14
1.3.1 Viditelné světlo.....	14
1.3.2 Infračervené záření	15
1.4 SPEKTROSKOPIE	15
2 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ SPEKTRA.....	17
2.1 MICHELSONŮV INTERFEROMETR	17
2.2 SPEKTROSKOPY	18
2.2.1 Hranolový	18
2.2.2 Czerny-Turner.....	18
2.2.3 Echelle spektroskop	19
2.2.4 FTIR spektroskop	19
2.2.5 Fabry-Perotův rezonátor	19
3 LABVIEW	20
3.1 PROSTŘEDÍ LABVIEW	20
3.2 STANDARD SCPI	22
4 OPTICKÝ SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR BRISTOL INSTRUMENTS 771B-NIR	23
4.1 KLÍČOVÉ VLASTNOSTI [8].....	23
4.2 MOŽNOSTI KOMUNIKACE	24
4.3 PROPOJENÍ PŘÍSTROJE S ROZHRAŇMÍM LABVIEW	24
4.4 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ NUVIEW	25
4.4.1 Obrazovka Spektra.....	25
4.4.2 Obrazovka Vlnové délky.....	25
4.4.3 Obrazovka Trendu	26
4.4.4 Obrazovka Interferogramu	26
4.5 MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ.....	27
5 KNIHOVNA FUNKCÍ V LABVIEW	28
5.1 FUNKCE PRO MĚŘENÍ.....	28
5.1.1 DialogConnectDevice.vi	28
5.1.2 ConnectDevice.vi	28
5.1.3 DisconnectDevice.vi.....	28
5.1.4 SetRangeAndResolution.vi	29
5.1.5 DialogNumSampAver.vi.....	29
5.1.6 SetWindowAndAverage.vi	29
5.1.7 MeanAndStDev.vi.....	30
5.1.8 UnitConversion.vi	30

5.1.9	<i>Measure.vi</i>	30
5.1.10	<i>Ostatní</i>	30
5.2	FUNKCE PRO PRÁCI S DATY	31
5.2.1	<i>DialogSearchFile.vi</i>	31
5.2.2	<i>LoadData.vi</i>	31
5.2.3	<i>SaveData.vi</i>	31
5.2.4	<i>LoadSetting.vi</i>	31
5.2.5	<i>SaveSetting.vi</i>	32
5.2.6	<i>DialogSetXAxis.vi</i>	32
5.2.7	<i>DialogSetYAxis.vi</i>	32
5.2.8	<i>SetAxisRange.vi</i>	32
5.2.9	<i>SetAxisUnit.vi</i>	33
5.2.10	<i>Cursors.vi</i>	33
5.2.11	<i>Markers.vi</i>	33
5.2.12	<i>TrendTable.vi</i>	34
5.2.13	<i>Ostatní</i>	34
5.3	FUNKCE APLIKACE	34
5.3.1	<i>MenuItem.vi</i>	34
5.3.2	<i>Ostatní</i>	34
6	POPIS MĚŘICÍ APLIKACE	35
6.1	POPIS STAVOVÉHO AUTOMATU.....	35
6.2	POPIS ČELNÍHO PANELU MĚŘICÍ APLIKACE	36
6.2.1	<i>Záložka Spectrum</i>	36
6.2.2	<i>Záložka Trend</i>	37
6.2.3	<i>Run-Time Menu</i>	37
6.2.4	<i>Run-Time Shortcut Menu</i>	38
6.3	POPIS VÝSLEDNÉHO VÝVOJOVÉHO DIAGRAMU MĚŘICÍ APLIKACE.....	38
6.3.1	<i>Load/Save Data</i>	39
6.3.2	<i>Load/Save Setting</i>	39
6.3.3	<i>Single Measure</i>	40
6.3.4	<i>Continuous Measure</i>	40
6.3.5	<i>Trend Measure</i>	40
7	ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ ŘETĚZEC	42
8	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MĚŘICÍ APLIKACE	43
8.1	MĚŘENÍ SPEKTRA	43
8.2	MĚŘENÍ TRENDU	44
9	ZÁVĚR	45
	LITERATURA	47
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
	SEZNAM PŘÍLOH	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1: Nalezení úhlové polohy světelných čar při difrakci na mřížce [5]	14
Obrázek 1.2: Elektromagnetické spektrum [3]	14
Obrázek 2.1: Michelsonův interferometr [4]	17
Obrázek 2.2: Hranolový spektroskop.....	18
Obrázek 2.3: Czerny-Turner spektroskop.....	18
Obrázek 2.4: Fabry-Perotův rezonátor.....	19
Obrázek 3.1: Okno projektu.....	20
Obrázek 3.2: Čelní panel	21
Obrázek 3.3: Blokový diagram.....	21
Obrázek 3.4: Ikona a konektor VI.....	21
Obrázek 3.5: Stromová struktura příkazů přístroje Bristol Instrument 771B	22
Obrázek 4.1: Bristol Instruments 771B.....	23
Obrázek 4.2: Obrazovka Spektra	25
Obrázek 4.3: Obrazovka Vlnové délky.....	26
Obrázek 4.4: Obrazovka Trendu.....	26
Obrázek 4.5: Obrazovka Interferogramu	27
Obrázek 5.1: Funkce DialogConnectDevice.vi.....	28
Obrázek 5.2: Funkce ConnectDevice.vi	28
Obrázek 5.3: Funkce DisconnectDevice.vi.....	29
Obrázek 5.4: Funkce SetRangeAndResolution.vi.....	29
Obrázek 5.5: Funkce DialogNumSampAver.vi	29
Obrázek 5.6: Funkce SetWindowAndAverage.vi.....	29
Obrázek 5.7: Funkce MeanAndStDev.vi	30
Obrázek 5.8: Funkce UnitConversion.vi.....	30
Obrázek 5.9: Funkce Measure.vi	30
Obrázek 5.10: Funkce DialogSearchFile.vi	31
Obrázek 5.11: Funkce LoadData.vi	31
Obrázek 5.12: Funkce SaveData.vi.....	31
Obrázek 5.13: Funkce LoadSetting.vi.....	32
Obrázek 5.14: Funkce SaveSetting.vi	32
Obrázek 5.15: Funkce DialogSetXAxis.vi.....	32
Obrázek 5.16: Funkce DialogSetYAxis.vi.....	32
Obrázek 5.17: Funkce SetAxisRange.vi	33
Obrázek 5.18: Funkce SetAxisUnit.vi	33
Obrázek 5.19: Funkce Cursors.vi.....	33
Obrázek 5.20: Funkce Markers.vi.....	33
Obrázek 5.21: Funkce TrendTable.vi	34
Obrázek 5.22: Funkce MenuItem.vi	34
Obrázek 6.1: Šablona Simple state machine.....	35
Obrázek 6.2: Diagram ovládacích prvků čelního panelu	36
Obrázek 6.3: Záložka Spectrum.....	37
Obrázek 6.4: Záložka Trend	37
Obrázek 6.5: Diagram Run-Time Menu	38
Obrázek 6.6: Diagram Run-Time Shortcut Menu.....	38
Obrázek 6.7: Vývojový diagram měřicí aplikace	39
Obrázek 6.8: Posloupnost větve Load/Save Data	39

Obrázek 6.9: Posloupnost větve Load/Save Setting	40
Obrázek 6.10: Posloupnost větve Continuous Measure.....	40
Obrázek 6.11: Posloupnost větve Trend Measure.....	41
Obrázek 7.1: Posloupnost základního měřicího řetězce.....	42
Obrázek 8.1: Spektrum měřeného signálu v lineárních jednotkách	43
Obrázek 8.2: Spektrum měřeného signálu v logaritmických jednotkách.....	43
Obrázek 8.3: Změřený trend vlnové délky.....	44
Obrázek A.1: Dialog pro připojení zařízení.....	50
Obrázek A.2: Dialog pro zadání počtu vzorků pro průměrování	51
Obrázek A.3: Tabulka markerů s vyznačeným tlačítkem	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Viditelné spektrum.....	15
Tabulka 2: Tabulka trendu vlnové délky	44

ÚVOD

Tato bakalářská práce se bude zabývat teoretickým i praktickým rozborem měření vlnové délky a spektra a popisem použitého optického spektrálního analyzátoru Bristol Instruments 771B-NIR. Hlavním cílem bude vytvořit měřicí aplikaci pro ovládání optického spektrálního analyzátoru. Tato aplikace bude vytvořena pomocí knihovny funkcí v prostředí LabVIEW a ovládání přístroje bude realizováno pomocí příkazů standardu SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). Aplikace i knihovna funkcí bude inspirována výrobcem dodaným rozhraním NuVIEW.

Rozhraní NuVIEW je uzpůsobeno pro měření vlnové délky a spektra, avšak uživatel může používat přístroj pouze způsobem, jakým zamýšlí výrobce. Tento nedostatek uzavřenosti rozhraní bude odstraněn tvorbou měřicí aplikace a knihovny funkcí. Uživatel si díky tomu bude moci nakonfigurovat měření podle sebe.

V teoretické části této bakalářské práce bude blíže popsána vlnová délka, spektrum, měření vlnové délky a spektra. Budou zde popsány různé druhy spektroskopů, jež se používají pro měření spektra, a zvláště Michelsonův interferometr, jež je základním principem použitého optického spektrálního analyzátoru.

Realizace měřicí aplikace a knihovny funkcí bude praktickou částí této bakalářské práce. Cílem bude vytvořit aplikaci pro měření vlnové délky a spektra, která bude sestavená z jednotlivých funkcí z knihovny funkcí. Dále se v ní budou moci nastavit jednotlivé parametry měření.

V rámci bakalářské práce bude popsáno prostředí LabVIEW, standard SCPI a jednotlivé funkce z knihovny funkcí. Dále se zde bude nacházet popis tvorby měřicí aplikace a uživatelský manuál pro její ovládání. Nedílnou součástí bude i otestování měřicí aplikace na kontrolním měření.

V závěru bakalářské práce proběhne zhodnocení a shrnutí dosažených výsledků.

1 MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY A SPEKTRA VIDITELNÉHO A IR ZÁŘENÍ

Tato kapitola se zabývá teoretickým popisem vlnové délky, spektra viditelného a IR záření a jejich měření.

1.1 Vlnová délka

Vlnová délka značí vzdálenost dvou nejbližších bodů postupného periodického vlnění, které kmitají ve fázi. Běžně se označuje řeckým písmenem lambda (λ). Závisí na médiu, kterým vlna prochází. Rozsah vlnových délek nebo frekvencí pro vlnové jevy se nazývá spektrum.

Vlnová délka λ sinusového průběhu, který se pohybuje konstantní rychlostí v , je dána vztahem:

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} = 2\pi \frac{v}{\omega}, \quad (1)$$

kde T je perioda vlnění, f frekvence vlnění, ω úhlová frekvence a v fázová rychlost šíření vlny.

Cestující sinusové vlny jsou často matematicky znázorněny z hlediska jejich rychlosti v (ve směru x), frekvence f a vlnové délky λ jako:

$$y(x, t) = A \cos\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - ft\right)\right) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right) = A \cos(k(x - vt)), \quad (2)$$

kde y je hodnota vlny v jakékoli poloze x a času t , A je amplituda vlny a k vlnové číslo.

1.2 Měření vlnové délky

K měření vlnové délky se nejčastěji používá difrakční mřížka. Difrakční mřížka je soustava úzkých štěrbin, často nazývaných vrypy, které jsou od sebe vzdálené o mřížkovou konstantu d .

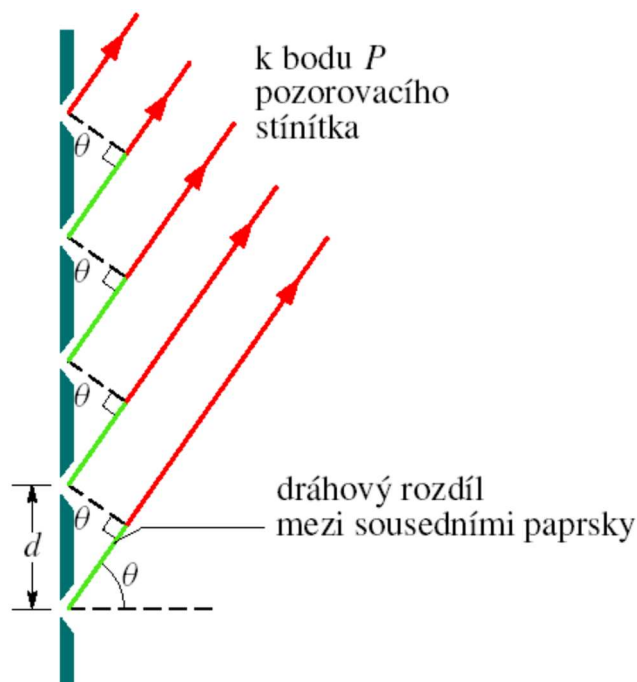
Pro určení úhlové polohy světlých čar na stínítku budeme předpokládat, že stínítko je tak daleko od mřížky, že paprsky přicházející do určitého bodu P stínítka byly přibližně rovnoběžné, když vycházely z mřížky. Pokud n štěrbin zaujímá šířku w , pak mřížková konstanta d je:

$$d = \frac{w}{n-1} \quad (3)$$

Dráhový rozdíl sousedních paprsků je $d \sin \theta$. V místě P je světlá čára tehdy, když dráhový rozdíl sousedních paprsků je celistvý násobek vlnové délky

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad (4)$$

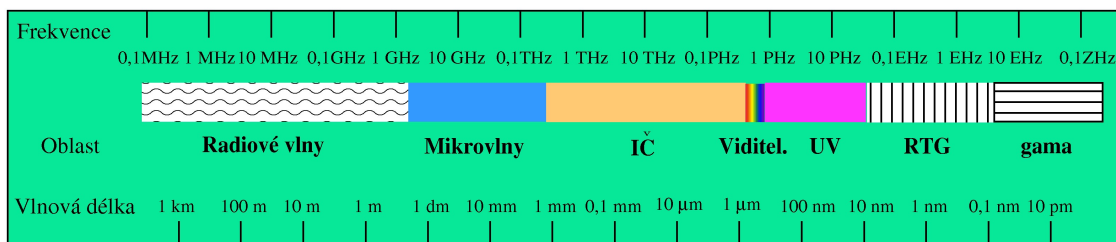
kde θ je úhel odchýlení od původního směru při průchodu štěrbinou a m je příslušný řád maxima nabývající hodnot 0, 1, 2, ... [5]



Obrázek 1.1: Nalezení úhlové polohy světelných čar při difrakci na mřížce [5]

1.3 Spektrum

Elektromagnetické spektrum je rozsah frekvencí elektromagnetického záření, jejich vlnových délek a fotonů energie. Spektrum se dělí na několik pásem: rádiové vlny, mikrovlny, infračervené záření, viditelné světlo, ultrafialové záření, rentgenové záření a gama paprsky.



Obrázek 1.2: Elektromagnetické spektrum [3]

1.3.1 Viditelné světlo

Viditelné světlo o vlnových délkách 380–750 nm je malá část spektra, na kterou je lidské oko nejcitlivější. Viditelné světlo a blízké infračervené světlo je obvykle absorbováno a emitováno elektrony v molekulách a atomech, které se pohybují z jedné energetické úrovně na druhou. Tato akce umožňuje chemické mechanismy, které jsou základem lidského vidění a fotosyntézy rostlin.

Bílé světlo je kombinací světél různých vlnových délek ve viditelném spektru. Při průchodu hranolem se rozdělí na jednotlivé spektrální barvy, jimž odpovídají určité intervaly vlnových délek.

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625–750 nm	~ 480–405 THz
oranžová	~ 590–625 nm	~ 510–480 THz
žlutá	~ 565–590 nm	~ 530–510 THz
zelená	~ 520–565 nm	~ 580–530 THz
azurová	~ 500–520 nm	~ 600–580 THz
modrá	~ 430–500 nm	~ 700–600 THz
fialová	~ 380–430 nm	~ 790–700 THz

Tabulka 1: Viditelné spektrum

1.3.2 Infračervené záření

Infračervené záření elektromagnetického spektra pokrývá rozsah od zhruba 300 GHz do 400 THz (1 mm - 750 nm). Lze jej rozdělit do tří částí:

Vzdálené infračervené záření (300 GHz - 30 THz): Toto záření je obvykle absorbováno takzvanými rotačními režimy v molekulách plynné fáze, molekulárními pohyby v kapalinách a fonony v pevných látkách.

Střední infračervené záření (30–120 THz): Toto záření mohou vyzařovat horké předměty a na spodní hranici i lidská kůže při normální tělesné teplotě. Záření je absorbováno molekulárními vibracemi, kde různé atomy v molekule vibrují kolem svých rovnovážných poloh.

Blízké infračervené záření (120–400 THz): Nejvyšší frekvence v této oblasti lze detekovat přímo některými typy fotografických filmů a mnoha typy polovodičových obrazových snímačů pro infračervené fotografování a videografii.

1.4 Spektroskopie

Spektroskopie je studium interakce mezi hmotou a elektromagnetickým zářením jako funkcí vlnové délky nebo frekvence záření. Zakladatelem je Jan Marek Marci a po něm sir Isaac Newton, který pomocí optického hranolu objevil monochromatické světlo. [2]

Spektroskopii lze rozdělit podle několika hledisek:

- Typ interakce záření
 - Absorpce – atom nebo molekula mohou záření pohltit
 - Emise – atom nebo molekula mohou uvolnit energii ve formě záření
 - Fluorescence, fosforescence – atom nebo molekula mohou záření pohltit a po čase jej opět emitovat
- Typ záření (použitá vlnová délka) viz Tabulka 1

Rozdělení podle použité techniky měření:

- Absorpční spektroskopie
 - Látka je prosvětlena zdrojem světla a zkoumá se změna spektrálního rozdělení po průchodu látkou.
- Emisní spektroskopie
 - Látka je excitována světelným zdrojem a kvůli tomuto vybuzení emituje elektromagnetické záření (fotoluminiscence)
- Ramonova spektroskopie
 - Detekuje záření, které je rozptýleno kmity krystalické mřížky nebo kmity v molekule. Látka je prosvětlena kontinuálním laserem s úzkou spektrální čarou. Záření interaguje s krystalickou mřížkou nebo molekulou a tím se změní jeho vlnová délka.
- Spektrometrie s Fourierovou transformací
 - Založena na matematické transformaci interferogramu získaného detekcí signálu vystupujícího z interferometru

Rozdělení podle spektrální oblasti

- Spektroskopie ve viditelné oblasti
- IR spektroskopie
- UV spektroskopie

Měřené veličiny

- Intenzita záření (hustota zářivého toku)
 - Měrná veličina zářivého toku na jednotku plochy.
 - $I_e = \frac{d\phi_e}{dS}$ (5)
- Vlnová délka viz 1.1
- Vlnové číslo
 - Počet vlnových délek připadajících na jednotku délky
 - $k = \frac{1}{\lambda}$ (6)
- Frekvence záření
 - Počet vlnových délek připadající na jednotku času
 - $f = \frac{c}{\lambda}$, kde c je rychlost světla (7)

2 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ SPEKTRA

Spektrometr je přístroj umožňující měřit spektrum světla či elektromagnetického záření mimo viditelnou oblast. Rozlišuje, jaká intenzita světla je nesena na jednotlivých vlnových délkách.

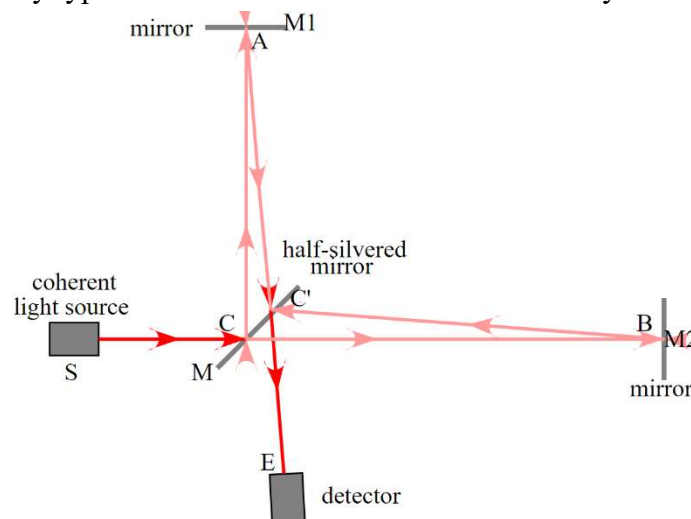
Spektroskop je přístroj pro rozkládání viditelného spektra a jejich vizuální pozorování. Skládá se z kolimátoru se štěrbinou, disperzního prvku a objektivu s dalekohledem. Kolimátor vytváří z rozbíhavých světelných paprsků rovnoběžné, které se na disperzním prvku rozloží na spektrum. Dalekohled umožňuje podrobnější zkoumání vzniklého spektra.

Spektrograf je přístroj, který rozděluje světlo podle vlnové délky a zaznamenává tato data pomocí multi-kanálového detektorového nebo zobrazovacího systému.

Interferometr je přístroj pro velmi přesná měření, jehož princip je založen na interferenci světla. Interferometry se používají k měření délek, k určení indexů lomu u plynů a u kapalin a k určení jemné struktury spektrálních čar.

2.1 Michelsonův interferometr

Byl vynalezen Albertem Abrahamem Michelsonem a je běžnou konfigurací pro optické interferometrie. Pomocí rozdělovače paprsků je světelný zdroj rozdělen do dvou ramen. Každý z těchto světelných paprsků se odráží zpět k rozdělovači paprsků, který poté kombinuje své amplitudy pomocí principu superpozice. Výsledný interferenční vzor, je směřován na nějaký typ fotoelektrického detektoru nebo kamery.



Obrázek 2.1: Michelsonův interferometr [4]

Michelsonův interferometr se skládá minimálně ze zrcadel M1 a M2 a děličem paprsků M. Na Obrázek 2.1: Michelsonův interferometr vyzařuje zdroj světla, které dopadne v bodě C na polopropustné zrcadlo, a část světla prochází skrz do bodu B,

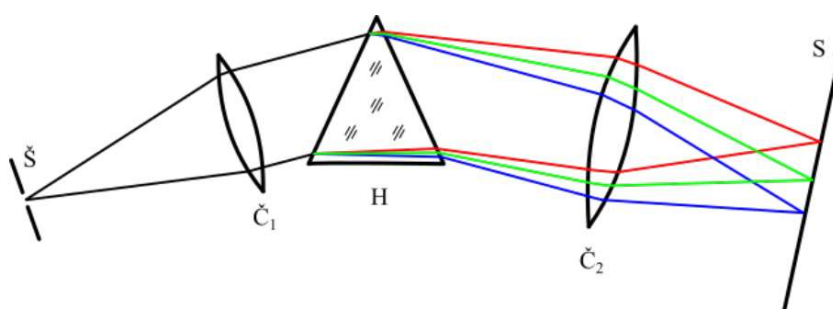
zatímco druhá část se odráží do bodu A. Oba paprsky se poté rekombinují v bodě C' a vytvářejí interferenční obrazec, který dopadá na detektor E. [2]

2.2 Spektroskopy

Tato kapitola se zabývá jednotlivými druhy spektroskopů.

2.2.1 Hranolový

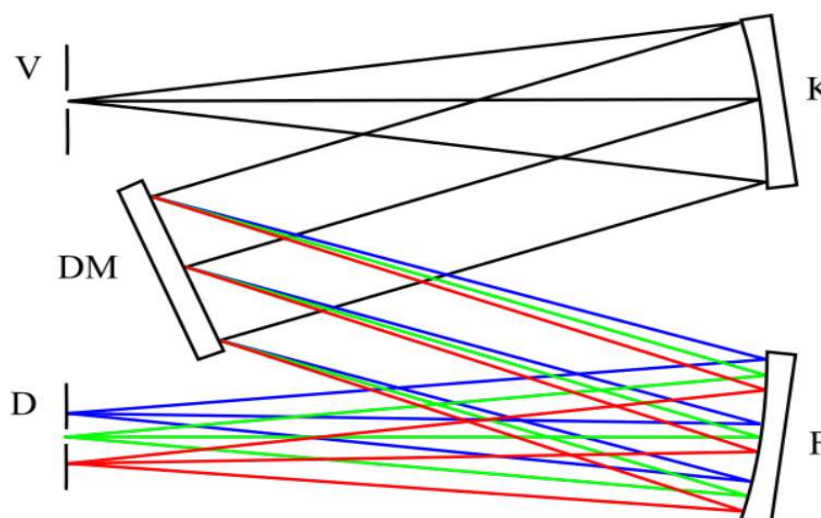
U tohoto spektroskopu se jako disperzní prvek využívá optický hranol z materiálu o vyšším indexu lomu. Rozlišovací schopnost hranolu se v průběhu spektra mění, což je slabou stránkou tohoto typu spektroskopu. Tento nedostatek lze vyřešit použitím hranolu s delší šířkou podstavu.



Obrázek 2.2: Hranolový spektroskop

2.2.2 Czerny-Turner

Tato konfigurace se nejvíce využívá u spektroskopů pro měření viditelné části spektra. V optickém systému se využívá konkávních zrcadel v kombinaci s rovinnou odraznou difrakční mřížkou. Použití odrazových ploch eliminuje barevnou vadu čoček. Avšak oproti hranolovému typu přináší další zobrazovací vady jako komu a astigmatismus.



Obrázek 2.3: Czerny-Turner spektroskop

2.2.3 Echelle spektroskop

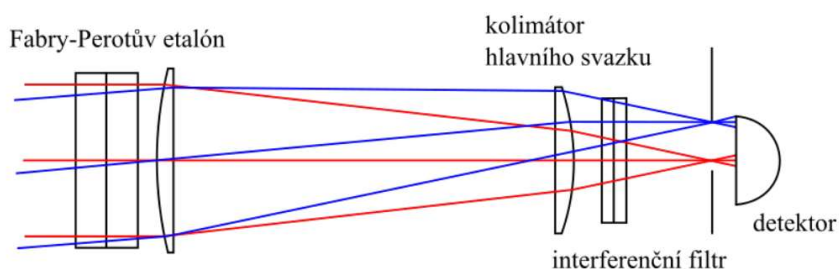
Tento typ využívá kombinace dvou výše zmíněných konfigurací. Při ohybu světla na difrakční mřížce využívá konfiguraci Czerny-Turner. Využívá se tu princip zvyšujícího se rozlišení s vyšším difrakčním řádem, kdy odražené difrakční řády z difrakční mřížky prochází hranolem. Avšak vyšší difrakční řády mají tendenci se překrývat, a proto je nutné volit kompromis mezi rozlišením a šířkou spektra.

2.2.4 FTIR spektroskop

Tento typ se používá v infračervené oblasti a jeho základní funkce představuje Fourierova transformace. Disperzní prvek tohoto spektroskopu tvoří Michelsonův interferometr. Zpracování probíhá skenováním polohovacího zrcadla a zaznamenávají se jednotlivé interferogramy. Ve srovnání s ostatními spektroskopy nedosahuje takového rozlišení, avšak umožňuje analyzovat rozsáhlou část elektromagnetického spektra.

2.2.5 Fabry-Perotův rezonátor

Spektroskopy využívající tento rezonátor dosahují nejvyšších rozlišovacích schopností. Podstata rezonátoru je interference záření mezi dvěma rovnoběžnými zrcadly. Do rezonátoru vstupuje zdroj záření, v závislosti na vlnové délce záření nastává interference a interferogram je poté kolimátorem promítnutý na detektor. [10]



Obrázek 2.4: Fabry-Perotův rezonátor

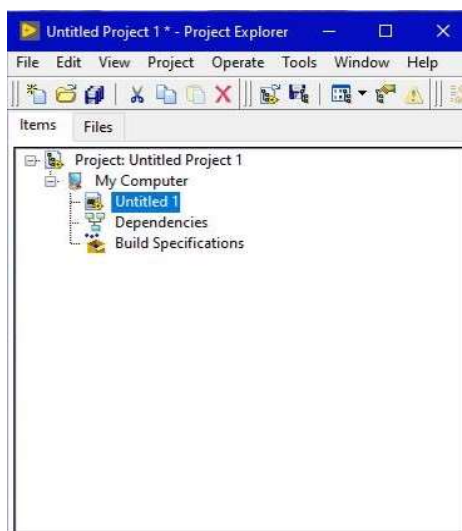
3 LABVIEW

LabVIEW (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je produktem firmy National Instruments. Vývoj prostředí začal v roce 1983 a umožňovalo tvořit programy v grafické interpretaci místo klasického textového programování.

Prostředí LabVIEW má široké spektrum použití od systémů pro měření a analýzu signálů až po vizualizaci technologických procesů. Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit prostorově náročné využití technických prostředků řešením virtuálním. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění změn v konfiguraci. [1]

3.1 Prostředí LabVIEW

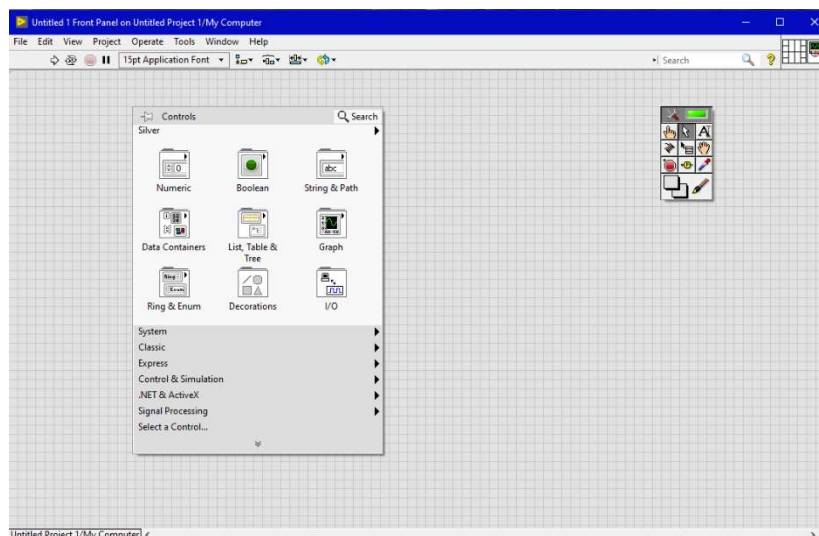
Prostředí LabVIEW se skládá z několika částí. Základní částí je okno projektu, ve kterém vidíme veškeré jeho VI (Virtual instrument), SubVI (podprogram VI) a další soubory přidávané k projektu.



Obrázek 3.1: Okno projektu

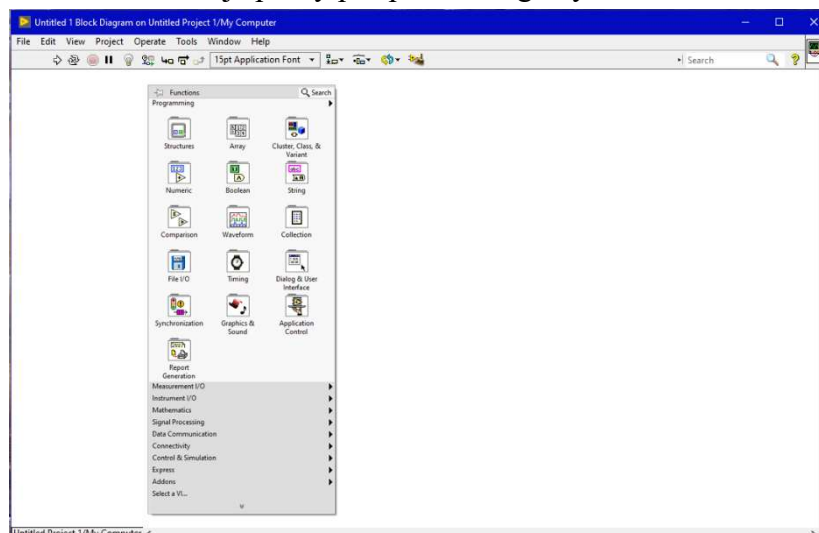
Samotné VI se skládá ze dvou částí, a to z čelního panelu (Front Panel, Obrázek 3.2) a z blokového diagram (Block Diagram, Obrázek 3.3).

Čelní panel tvoří uživatelské rozhraní vytvořené aplikace a určuje její vzhled a chování. Na ploše lze pracovat s mnoha vizuálními prvky, které se z funkčního hlediska dělí na vstupy a výstupy. Tyto prvky přidáváme na plochu z palety Controls, která nám umožňuje nejen vybrat mezi různými typy těchto prvků, ale také z různých vzhledů. Dále lze využít paletu Tools, která nám nabízí režim automatického a manuálního výběru nástrojů. Pokud se s ní uživatel naučí pracovat, dokáže si poměrně dobře usnadnit práci.



Obrázek 3.2: Čelní panel

Na blokovém diagramu definujeme vlastní propojení jednotlivých prvků a jejich parametrů, což nám vytváří zdrojový kód programu. Pro přidávání prvků nám slouží paleta Functions, která nám umožňuje přidávat vstupní a výstupní prvky stejně jako paleta Controls, ale zároveň obsahuje prvky pro práci se signály.



Obrázek 3.3: Blokový diagram

V pravém horním rohu čelního panelu a blokového diagramu se nachází ikona, která graficky reprezentuje dané VI. Ikonu lze opatřit konektory, které nám definují vstupy a výstupy VI. Toto nám umožňuje lépe rozpoznat jednotlivá VI a jejich funkci, pokud je použijeme jako SubVI do nadřazeného VI. [1]



Obrázek 3.4: Ikona a konektor VI

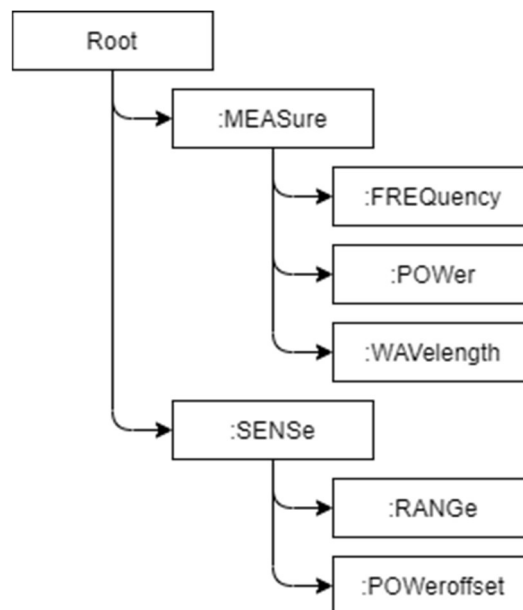
3.2 Standard SCPI

Jedním ze základních prvků při programování a komunikaci s přístrojem jsou příkazy, které si každý výrobce sám definuje. Bristol Instrument u přístroje 771B používá příkazy dle standardu SCPI.

SCPI (z angl. Standard Commands for Programmable Instruments) definuje standard pro syntaxi a příkazy, které se používají při ovládní programovatelných testovacích a měřicích zařízení. Příčinou vzniku byla snaha o standard, který by byl jednotný pro všechny výrobce a modely. Vyvinula ho firma Hewlett-Packard v rámci standardu IEEE - 488.2.

Příkazy SCPI jsou textové řetězce ASCII, které se do přístroje odesílají přes fyzickou vrstvu. Příkazy jsou řadou jednoho nebo více klíčových slov, z nichž mnohé mají parametry. Ve specifikaci jsou napsána klíčová slova, která lze použít celá nebo je lze zkrátit na část velkých písmen. Odpovědi na příkazy dotazu jsou obvykle řetězce ASCII nebo binární formáty.

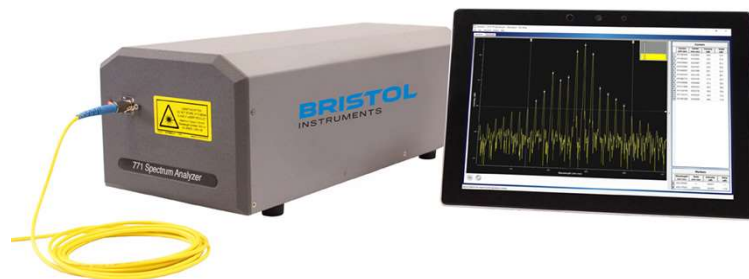
Příkazy jsou seskupeny do hierarchie nebo stromové struktury. Dílčí příkazy jsou v hierarchii vnořeny pomocí dvojtečky. Na konci příkazu se poté nachází buď otazník, pokud se jedná o dotazovací operaci, nebo číslo či slovo, pokud se jedná o operaci nastavovací. [2]



Obrázek 3.5: Stromová struktura příkazů přístroje Bristol Instrument 771B

4 OPTICKÝ SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR BRISTOL INSTRUMENTS 771B-NIR

Optický spektrální analyzátor řady 771 kombinuje technologii Michelsonova interferometru s rychlou analýzou Fourierovy transformace. Díky této technologii se analyzátor vyznačuje vysokým rozlišením při měření spektra a přesností při měření vlnové délky. Přístroj poskytuje velmi detailní spektrální analýzu laserů, které obsahují vlnové délky od 520 nm do 1700 nm, se spektrálním rozlišením až 2 GHz, přesností vlnové délky až $\pm 0,75$ dílů na milion a poměrem optického potlačení více než 40 dB. [7]



Obrázek 4.1: Bristol Instruments 771B

4.1 Klíčové vlastnosti [8]

- Rozsah měřené vlnové délky:
 - 520–1700 nm
- Absolutní přesnost:
 - $\pm 0,75$ ppm
 - $\pm 0,0008$ nm na 1000 nm
 - $\pm 0,008$ cm⁻¹ na 10000 cm⁻¹
 - ± 225 MHz na 300000 GHz
- Rozlišení:
 - Nízké: 33 GHz
 - Normální: 4 GHz
 - Vysoké: 2 GHz
- Minimální vstupní výkon:
 - 520 nm – 3 μ W
 - 1100 nm – 2 μ W
 - 1700 nm – 3 μ W
- Měřitelné parametry:
 - Vlnová délka
 - Vlnové číslo
 - Frekvence záření
 - Intenzita záření

4.2 Možnosti komunikace

Přístroj umožňuje 4 možnosti připojení externích zařízení:

- Vysoko rychlostní rozhraní USB
 - Připojení k PC
 - Ovládání přístroje a hlášení dat
- Ethernet
 - Připojení k síti
 - Ovládání přístroje a hlášení dat
- Port monitoru DB-9
 - Zobrazování interferenčních proužků a časových signálů pomocí osciloskopu
- Optický konektor FC/PC
 - Připojení vstupního signálu

V rámci řešení bakalářské práce bylo využito připojení přístroje k PC pomocí rozhraní USB. Připojení přístroje pomocí ethernetu bylo vyzkoušeno, avšak nepodařilo se navázat spojení mezi počítačem a přístrojem. Proto byl zaslán dotaz ohledně připojení pomocí ethernetu výrobci přístroje a zatím jsem neobdržel odpověď.

4.3 Propojení přístroje s rozhraním LabVIEW

Toto propojení se nastavuje pomocí protokolu Telnet s programem NI-MAX. Protokol telnet pracuje na aplikační vrstvě a používá TCP/IP. Používá se pro realizaci duplexního spojení typu klient-server protokolem TCP. Pro správné fungování propojení a možnosti komunikace pomocí SCPI příkazů je nezbytné mít následující software:

- LabVIEW SCPI Interface
- NI-VISA Drivers
- NI-MAX
- NI-LabVIEW

V rámci této bakalářské práce byl využit následující postup:

- Otevřete NI-MAX
- Klikněte na “Devices and Interface” a vyberte “Create New”
- Vyberte “VISA TCP/IP Resource” a klikněte na “Next”
- Vyberte “Manual Entry of Raw Socket” a klikněte na “Next”
- Zadejte IP adresu přístroje (pro USB připojení je to vždy 10.199.199.1) a zadejte číslo portu 23 (Telnet server)
- Pokud je přístroj připojen pomocí USB a je zapnutý, klikněte na “Validate”, tím se otestuje připojení
- Pokud je to požadováno, zadejte název přístroje a klikněte na “Save”

- Klikněte na “Finish”, poté by mělo být možné nalézt připojení pod “Devices and Interface > Network Devices”

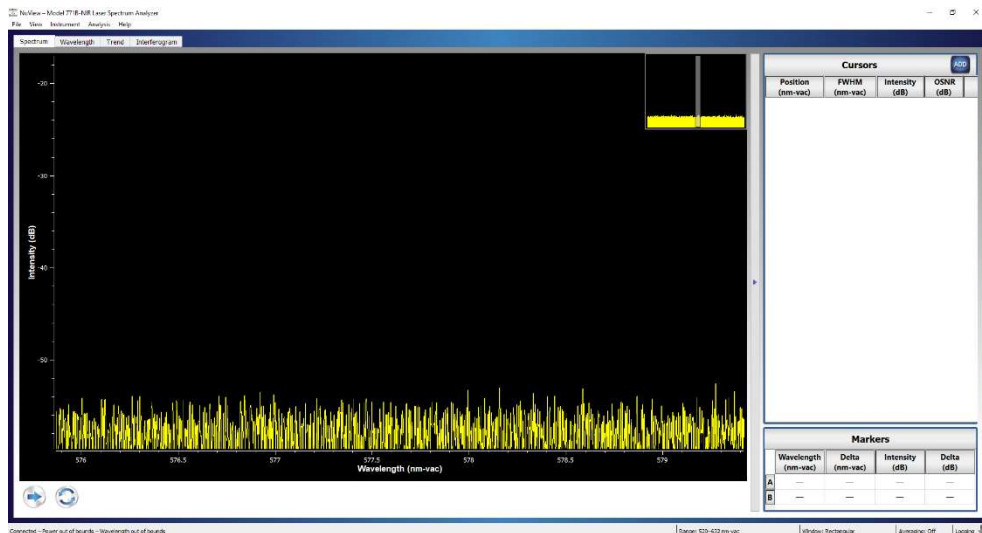
Další informace o propojení přístroje s LabVIEW či jiným programem lze nalézt v literatuře [9].

4.4 Uživatelské rozhraní NuVIEW

NuVIEW je uživatelské rozhraní pro získávání naměřených dat z přístroje. Tento software je dodáván k přístroji výrobcem. Pomocí tohoto rozhraní je možné si zobrazit spektrum nebo interferogram měřeného signálu, dále je možné si zobrazit také jen trend vlnové délky. Ovladače k přístroji a rozhraní NuVIEW nejsou volně dostupné, proto jsem se dotázal výrobce, jestli neexistuje novější verze než ta, která přišla s přístrojem. Dostal jsem od výrobce odpověď, že tato verze, která přišla s přístrojem, je aktuálně nejnovější.

4.4.1 Obrazovka Spektra

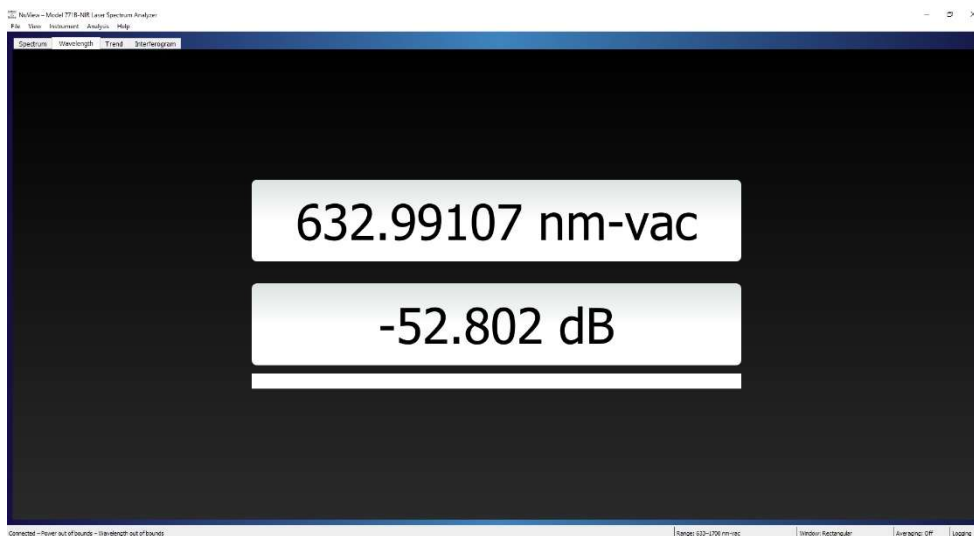
Zobrazuje měřené spektrum testovaného laseru a uživatelsky volitelná data, jako např. kurzory či markery. Lze si navolit zobrazovaný rozsah či jednotky jednotlivých os.



Obrázek 4.2: Obrazovka Spektra

4.4.2 Obrazovka Vlnové délky

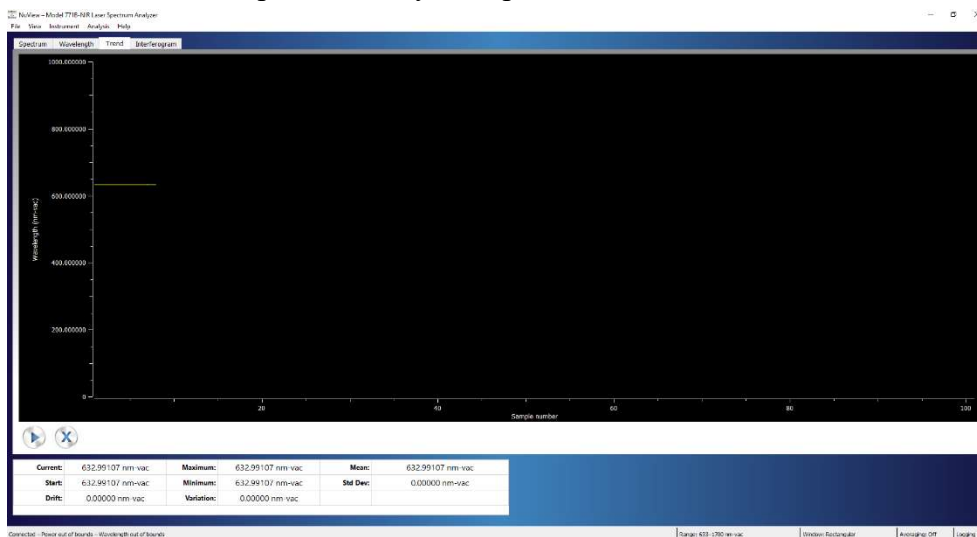
Zobrazuje absolutní vlnovou délku, vlnové číslo nebo frekvenci, intenzitu nejintenzivnějšího spektrálního prvku a grafické zobrazení relativní intenzity celého spektra.



Obrázek 4.3: Obrazovka Vlnové délky

4.4.3 Obrazovka Trendu

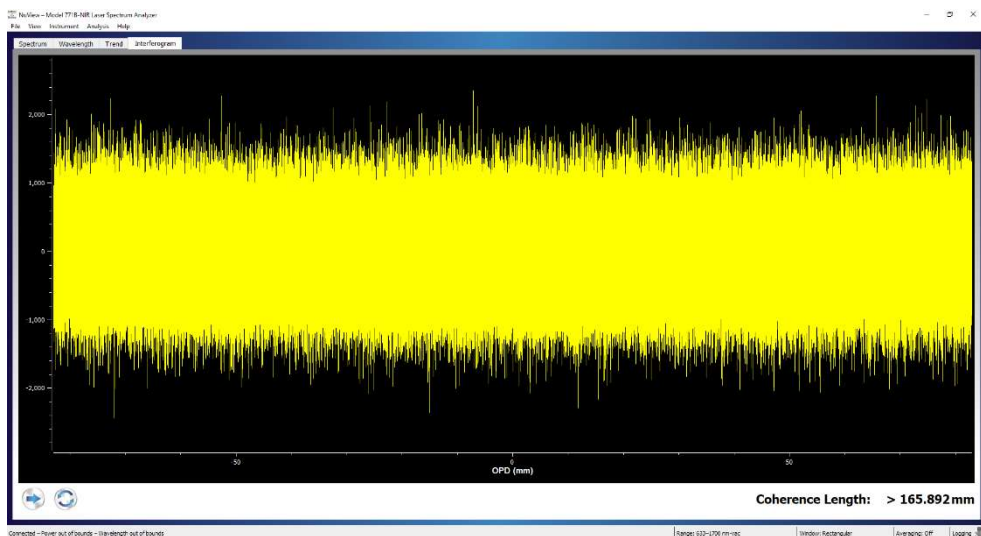
Zobrazuje záznam trendu vypočtené vlnové délky, vlnového čísla nebo frekvence s největším intenzivním spektrálním rysem spolu se statistikou v tabulce.



Obrázek 4.4: Obrazovka Trendu

4.4.4 Obrazovka Interferogramu

Zobrazuje surová data v interferogramu, které se následně používají pro výpočet vlnových délek a intenzit pro spektrum. [6]



Obrázek 4.5: Obrazovka Interferogramu

4.5 Možnosti programování

Výrobce umožňuje řídit chod přístroje pomocí příkazů SCPI, které definuje v dodávané knihovně. Více o tomto standardu lze nalézt v 3.2. Tento standard lze využít pro ovládání přístroje. Pro komunikaci se používají příkazy, které jsou definované výrobcem a odpovídají syntaxi standardu. Do přístroje jsou zasílány jednotlivé příkazy, přístroj vykoná akci příslušnou pro daný příkaz a pokud je příkaz dotazovacího typu, odešle odpověď.

Přístroj umožňuje pomocí příkazu `*STB?` zobrazit stav stavového registru. Přístroj hlásí stav po každém získaném měření. Stav je 32-bitové číslo a každý bit označuje jinou informaci. Popis významu jednotlivých bitů lze najít v manuálu přístroje. [6]

Podle dodaných ovladačů výrobcem je možné programovat pomocí jazyku C/C++, Python, C# nebo v prostředí LabVIEW.

Pro tvorbu ovladačů jsem využil volbu programování v prostředí LabVIEW viz LabVIEW. Důležitým faktorem při výběru bylo, že LabVIEW je hojně využívané na ústavu měření, a tudíž zapojení přístroje do měřicího řetězce bude jednodušší než v případě programování v některých z nabízených jazyků. LabVIEW je grafické, a proto je přehlednější. Díky tomu je i příjemnější používání SCPI příkazů.

5 KNIHOVNA FUNKCÍ V LABVIEW

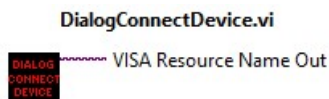
Výrobce dodávaný software NuVIEW je uzavřený a tato uzavřenost znemožňuje použít přístroj jinak, než zamýšlí výrobce. Proto bylo rozhodnuto, že budou vytvořeny jednotlivé funkce, které při spojení do větších částí, budou napodobovat funkcionalitu výrobcem dodávaného software. Zároveň však budou poskytovat uživateli volnost, jakým způsobem bude moct přístroj používat. Dále bude poskytovat možnost modularity a přidání nových funkcí.

5.1 Funkce pro měření

Zde se nacházejí všechny základní funkce pro základní řízení přístroje, které jsou zahrnuty v paletě funkcí. Tyto funkce slouží pro připojení/odpojení přístroje, nastavení parametrů měření, výpočty, převody jednotek a pro samotné měření.

5.1.1 DialogConnectDevice.vi

Tato funkce slouží jako dialogové okno pro vybrání zařízení, se kterým se má program propojit.



Obrázek 5.1: Funkce DialogConnectDevice.vi

5.1.2 ConnectDevice.vi

Tato funkce slouží pro propojení zařízení s programem. Vstupem je *Dialog?*, který slouží pro výběr zařízení pomocí vstupu *VISA refnum* nebo pomocí dialogového okna. Nejdříve se propojí vybrané zařízení s programem pomocí funkce *VISA Open* a následně se ověří jeho připojení přijmutím zprávy pomocí *VISA Read*. Pokud vše proběhne v pořádku, povolí se ukončovací znak, který se nastaví na Line Feed (n), a časový limit se nastaví na 3 sekundy.



Obrázek 5.2: Funkce ConnectDevice.vi

5.1.3 DisconnectDevice.vi

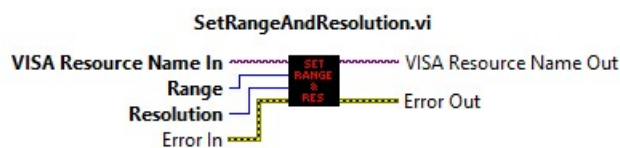
Tato funkce slouží pro odpojení zařízení od programu. Vstupem do funkce je *VISA refnum*. Zařízení odpojujeme pomocí funkce *VISA Close*.



Obrázek 5.3: Funkce DisconnectDevice.vi

5.1.4 SetRangeAndResolution.vi

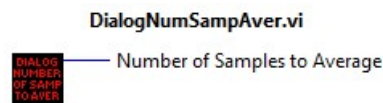
Tato funkce slouží pro nastavení rozsahu a rozlišení měření. Jeho vstupy jsou *VISA refnum*, hodnota rozsahu a rozlišení měření. Hodnoty se převedou na SCPI příkazy a následně se pomocí nich nastaví na přístroji. Při výběru rozsah měření lze vybírat ze 3 možností: 520–632 nm, 633–1700 nm a 520–1700 nm. Rozlišení lze nastavit na standartní nebo nízké.



Obrázek 5.4: Funkce SetRangeAndResolution.vi

5.1.5 DialogNumSampAver.vi

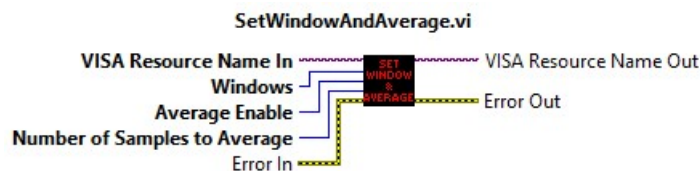
Tato funkce slouží jako dialogové okno pro zadání počtů vzorků, které se budou průměrovat.



Obrázek 5.5: Funkce DialogNumSampAver.vi

5.1.6 SetWindowAndAverage.vi

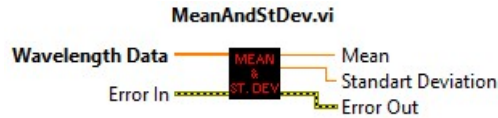
Tato funkce slouží pro nastavení, s jakým oknem bude přístroj počítat spektrální informace a jestli bude používat průměrování. Jeho vstupy jsou *VISA refnum*, příslušné okno, povolení průměrování a nastavení počtu vzorků k průměrování. Parametry se nastaví na přístroji pomocí SCPI příkazy. Při výběru okna můžeme vybírat z 5 možností: Blackman, Rectangular, Hanning, 5-term Cosine a Triangular. Průměrování lze nastavit v rozsahu 2 až 128 vzorků.



Obrázek 5.6: Funkce SetWindowAndAverage.vi

5.1.7 MeanAndStDev.vi

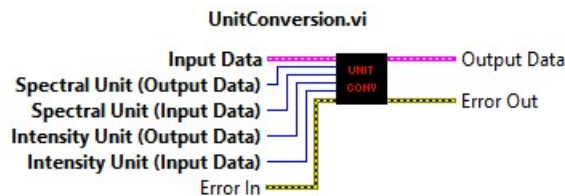
Tato funkce slouží pro výpočet průměru a směrodatné odchylky. Vstupem do funkce je pole hodnot vlnové délky. Nejprve se spočítá průměr a následně z ní směrodatná odchylka.



Obrázek 5.7: Funkce MeanAndStDev.vi

5.1.8 UnitConversion.vi

Tato funkce slouží pro převádění hodnot vlnové délky a intenzity na zvolenou jednotku. Vstupem je cluster dat vlnové délky a intenzity a jednotky vstupních a výstupních dat.

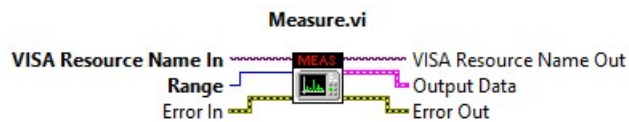


Obrázek 5.8: Funkce UnitConversion.vi

5.1.9 Measure.vi

Tato funkce slouží pro měření spektra. Vstupy jsou *VISA refnum* a měřený rozsah. Pomocí SCPI příkazu vyčteme dvojici hodnot vlnové délky a intenzity. Jednotlivé hodnoty se od sebe oddělí a dají se zvlášť do příslušného pole. Pole hodnot vlnové délky a intenzity se nakonec sloučí do clusteru.

Při vytváření této funkce nastal problém s tím, že binární data, která jsem vyčetl z přístroje, neměla nikde v manuálu ani u popisu příkazu SCPI napsáno, v jakém formátu je posílá. Po konzultaci s vedoucím práce bylo zjištěno, že na začátku řetězce se nachází hodnota počtu přenesených bytů a následné hodnoty vlnové délky a intenzity záření mají pořadí bytů typu little-endian.



Obrázek 5.9: Funkce Measure.vi

5.1.10 Ostatní

Dále se v této knihovně nachází předdefinované typy clusterů pro parametry a data měření (ParamCluster.ctl, DataCluster.ctl).

5.2 Funkce pro práci s daty

Tyto funkce byly vytvořené především pro správný chod měřicí aplikace. Jelikož jsou to vlastní funkce a v měřicím řetězci se nevyužijí, tak nejsou zahrnuty v paletě. Nachází se zde funkce, které slouží pro načítání dat a nastavení ze souboru, ukládání dat a nastavení do souboru a pro práci s grafy a tabulkami.

5.2.1 DialogSearchFile.vi

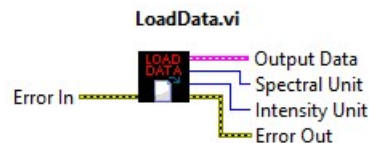
Tato funkce slouží jako dialogové okno pro vybrání souboru, do kterého se buď uloží nebo se z něj načtou parametry měření či spektrální data.



Obrázek 5.10: Funkce DialogSearchFile.vi

5.2.2 LoadData.vi

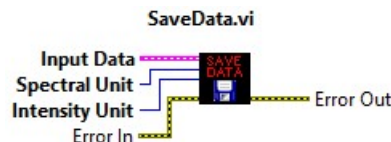
Tato funkce slouží pro vyčtení uložených dat ze souboru. Nejdříve uživateli vyskočí okno průzkumníku souborů, kde vybere soubor s daty. Následně se z tohoto souboru vyčtou hodnoty vlnové délky a intenzit a jejich jednotky.



Obrázek 5.11: Funkce LoadData.vi

5.2.3 SaveData.vi

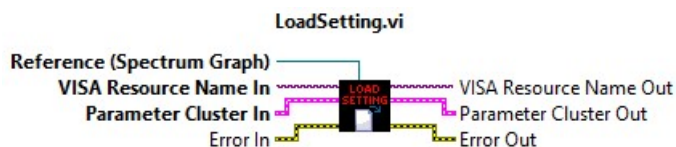
Tato funkce slouží pro ukládání naměřených dat vlnové délky a intenzity. Vstupem je cluster dat vlnové délky a intenzity a jejich jednotky. Nejdříve se vytvoří nebo otevře vybraný soubor. Následně se do něj zapíše počet dvojic hodnot, jednotka a pole hodnot vlnových délek a jednotka a pole hodnot intenzit.



Obrázek 5.12: Funkce SaveData.vi

5.2.4 LoadSetting.vi

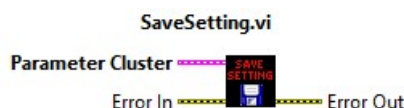
Tato funkce slouží pro načtení parametrů měření ze souboru. Vstupem je *VISA refnum*, cluster s parametry měření a reference grafu spektra. Nejdříve se z textového souboru vyčtou jednotlivé hodnoty parametrů měření a následně se pomocí funkcí *SetRangeAndResolution.vi*, *SetWindowAndAverage.vi*, *SetAxisRange.vi* a *SetAxisUnit.vi* přiřadí na správná místa. Jednotlivé funkce jsou popsány níže.



Obrázek 5.13: Funkce LoadSetting.vi

5.2.5 SaveSetting.vi

Tato funkce slouží pro uložení parametrů měření do souboru. Vstupem je cluster s parametry měření. Jednotlivé parametry se v daném pořadí poskládají za sebe do textového řetězce, který se následně uloží do textového souboru.



Obrázek 5.14: Funkce SaveSetting.vi

5.2.6 DialogSetXAxis.vi

Tato funkce slouží jako dialogové okno pro zadání zobrazovaného rozsahu na ose x na grafu. Vstupem je měřený rozsah a jednotka spektrálních hodnot. Hodnoty lze zadávat pouze v měřeném rozsahu.



Obrázek 5.15: Funkce DialogSetXAxis.vi

5.2.7 DialogSetYAxis.vi

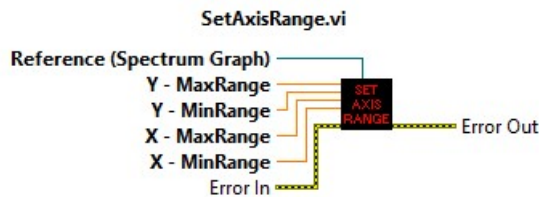
Tato funkce slouží jako dialogové okno pro zadání zobrazovaného rozsahu na ose y na grafu.



Obrázek 5.16: Funkce DialogSetYAxis.vi

5.2.8 SetAxisRange.vi

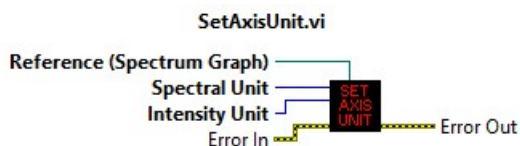
Tato funkce slouží pro nastavení hodnot zobrazovaného rozsahu os x a y na grafu. Vstupy jsou minimální a maximální hodnoty zobrazovaného rozsahu a reference grafu spektra. Navolené hodnoty rozsahu os se na grafu změní pomocí Property Node.



Obrázek 5.17: Funkce SetAxisRange.vi

5.2.9 SetAxisUnit.vi

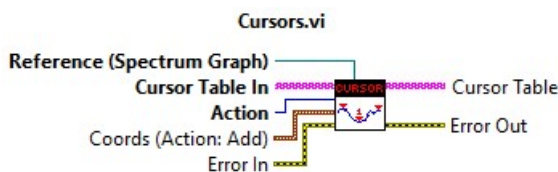
Tato funkce slouží pro nastavení jednotek os. Vstupy jsou vybrané jednotky vlnové délky a intenzity a reference na graf. Příslušné jednotky se nastaví na osách grafu pomocí Property Node. Při výběru jednotky vlnové délky lze vybírat z 5 možností: vlnová délka (nm-vac, $\mu\text{m-vac}$), frekvence (THz, GHz) a vlnové číslo ($\text{cm}^{-1}\text{-vac}$), a u jednotky intenzity ze 2 možností: lineární (mW/m^2) a logaritmické (dBm).



Obrázek 5.18: Funkce SetAxisUnit.vi

5.2.10 Cursors.vi

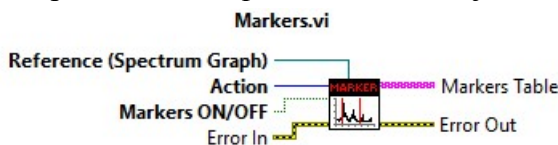
Tato funkce slouží pro ovládání kurzorů v grafu. Vstupy jsou tabulka kurzorů, akce, kterou má funkce vykonat, souřadnice myši na grafu a reference na graf. Akcí *Add* lze do grafu přidat kurzor, který se přidá na místo, kde se na grafu rozkliklo menu. Dále akcí *Delete* lze odebrat poslední přidáný kurzor nebo akcí *Clear* lze odebrat všechny kurzory. Akcí *Update* se aktualizují hodnoty v tabulce kurzorů.



Obrázek 5.19: Funkce Cursors.vi

5.2.11 Markers.vi

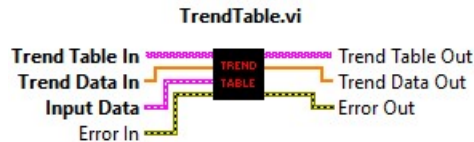
Tato funkce slouží pro ovládání markerů v grafu. Vstupy jsou akce, kterou má funkce provést, tlačítko pro zobrazení či skrytí markerů a reference grafu. Akcí *Initialization* se nastaví parametry obou markerů, akcí *Markers* se ovládá zobrazení nebo skrytí markerů a nastavení jejich výchozí pozice a akcí *Update* se aktualizují hodnoty v tabulce markerů.



Obrázek 5.20: Funkce Markers.vi

5.2.12 TrendTable.vi

Tato funkce slouží pro aktualizaci tabulky trendu. Vstupy jsou tabulka trendu, data trendu, cluster dat vlnové délky a intenzity. Nejprve se vyhledá prvek s nejvyšší intenzitou z naměřených hodnot a ten se přidá do dat trendu. Následně se z dat trendu zjistí první a současná hodnota a jejich rozdíl, maximální a minimální hodnota a jejich rozdíl a průměr se směrodatnou odchylkou dat. Tyto data se následně vloží do tabulky trendu.



Obrázek 5.21: Funkce TrendTable.vi

5.2.13 Ostatní

Dále se v této knihovně nachází předdefinované typy grafů a tabulek (SpectrumGraph.ctl, TrendGraph.ctl, CursorTable.ctl, MarkerTable.ctl, TrendTable.ctl).

5.3 Funkce aplikace

Zde jsou popsány všechny funkce, které nejsou obsaženy ve vytvořených knihovnách, ale používají se ve vytvořené měřicí aplikaci.

5.3.1 MenuItem.vi

Tato funkce slouží pro aktivace a deaktivace tlačítek v Run-Time Menu. Vstupem je reference na menu, *ItemTag* a *VISA refnum*.



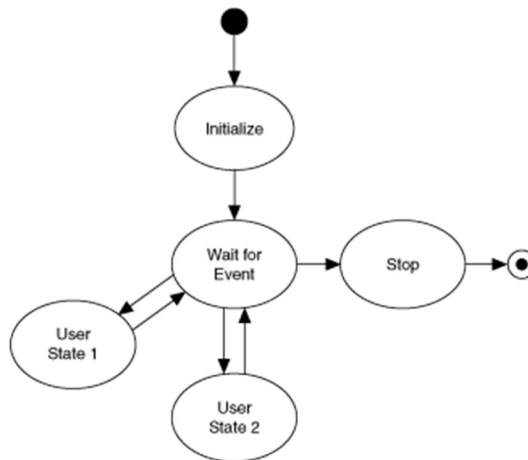
Obrázek 5.22: Funkce MenuItem.vi

5.3.2 Ostatní

Dále se zde nachází předdefinované typy Run-Time Menu pro hlavní aplikaci (Menu.rtm) a graf (Graph.rtm), stavů stavového automatu (State.ctl) a cluster pro parametry programu (AppCluster.ctl).

6 POPIS MĚŘICÍ APLIKACE

Tato část bakalářské práce se věnuje popisu tvorby měřicí aplikace a prostředků, které byly při tvorbě využity. Program byl vytvořen ve vývojovém prostředí LabVIEW 2020 od firmy National Instruments. Popisky a názvy veličin a prvků v menu byly psány v anglickém jazyce, jelikož prostředí může mít problém s českou diakritikou, proto jsou tyto názvy používány i zde. Jako architektura programu je použit stavový automat podle šablony *Simple state machine* (Obrázek 6.1: Šablona Simple state machine), kterou lze vybrat při zakládání nového projektu v prostředí LabVIEW. Pro tvorbu měřicí aplikace byly použity všechny vytvořené měřicí funkce i funkce pro práci s daty.



Obrázek 6.1: Šablona Simple state machine

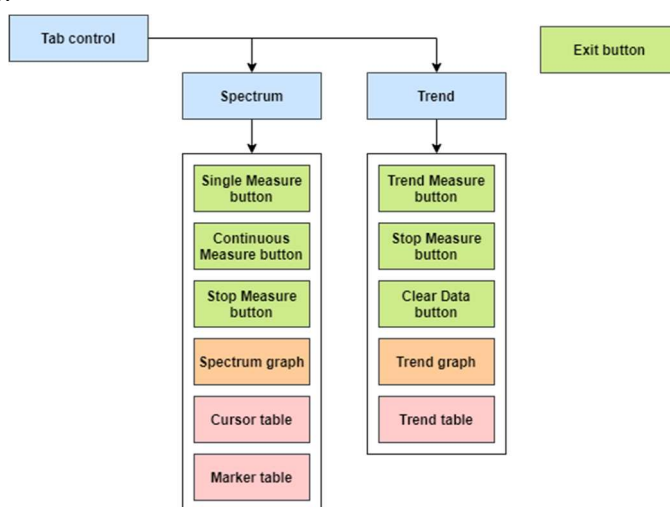
6.1 Popis stavového automatu

Stavový automat je tvořen while cyklem, ve kterém se nachází case struktura, jež obsahuje jednotlivé stavy. Počáteční stav je *Initialize*, ve kterém se nastaví jednotlivé prvky aplikace na inicializační hodnoty. Tento stav se vykonává pouze jednou, a to okamžitě po spuštění aplikace. Po vykonání počátečního stavu přejde stavový automat do výchozího stavu *Wait for event*. V tomto stavu se nachází event struktura. Ta reaguje na definované události jako např. změna hodnoty proměnné nebo stisknutí tlačítka. Po inicializaci se aplikace nachází ve stavu, ve kterém nelze skoro nic dělat, jelikož zatím nemá s čím pracovat. Proto je nutné, aby uživatel buď připojil zařízení nebo načtl data ze souboru. Po vykonání jedné z těchto akcí přejde stavový automat do stavu *Start*, zde povolí příslušné prvky z menu a zviditelní okno záložek (tab control). Po provedení automat přejde zpět do stavu *Wait for event*. Jednotlivé další stavy obsahují obslužné algoritmy, které zpracovávají požadavky a vykonávají žádanou operaci. Při stisknutí tlačítka exit nebo při ukončení aplikace přejde automat do stavu *Exit*, ve kterém se odpojí přístroj od programu a ukončí se aplikace.

Jednou z důležitých částí stavového automatu a cyklických struktur jsou shift registry, které slouží jako paměť, a lze díky nim předávat data mezi jednotlivými iteracemi. Pro lepší přehled kódu byly použity 3 clustery, jeden slouží pro data vlnové délky a intenzity, druhý pro parametry měření a třetí pro parametry programu.

6.2 Popis čelního panelu měřicí aplikace

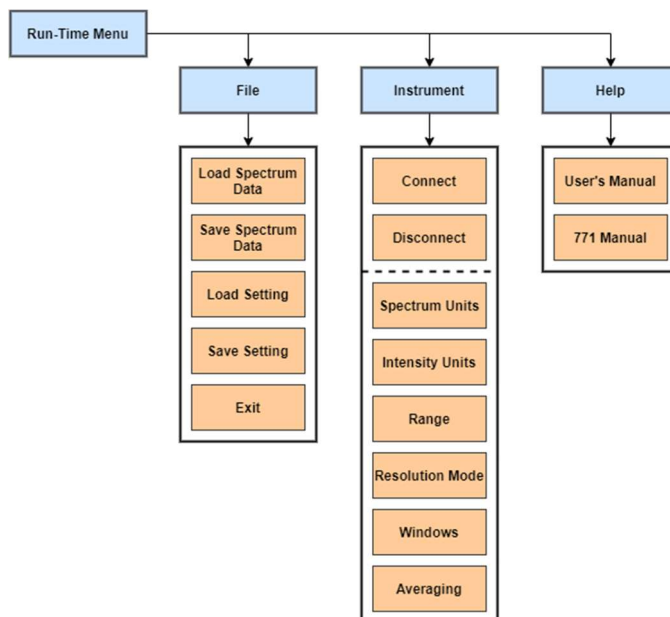
Jednotlivé prvky čelního panelu měřicí aplikace lze vidět na Obrázek 6.2. Na diagramu byly ponechány barvy prvků podle jejich datového typu v prostředí LabVIEW. Pokud se jedná o cluster nebo pole hodnot je jejich ohraničení dvojité. Jak lze vidět z Obrázek 6.3 a Obrázek 6.4, hlavním prvek čelního panelu je okno záložek, které má 2 záložky: *Spectrum* a *Trend*.



Obrázek 6.2: Diagram ovládacích prvků čelního panelu

6.2.1 Záložka Spectrum

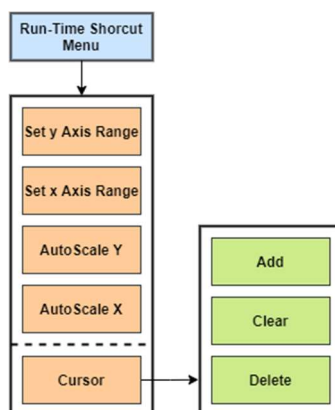
V první záložce se nachází okno pro měření spektra signálu. V tomto okně se nachází tlačítka pro spuštění jednorázového měření a kontinuálního měření. Po spuštění kontinuálního měření se zobrazí tlačítko pro ukončení měření. Dále se zde nachází graf, který slouží pro zobrazení spektra, a tabulky pro zobrazení kurzorů a markerů. Markery se zobrazují, popřípadě skrývají tlačítkem v levém horním rohu tabulky a kurzory se ovládají pomocí prvků v menu grafu.



Obrázek 6.5: Diagram Run-Time Menu

6.2.4 Run-Time Shortcut Menu

Pro graf v záložce *Spectrum* bylo vytvořeno Run-Time Shortcut Menu, které slouží pro úpravu zobrazovaného rozsahu na grafu a pro ovládání kurzorů. Jednotlivé prvky menu lze vidět na Obrázek 6.6.



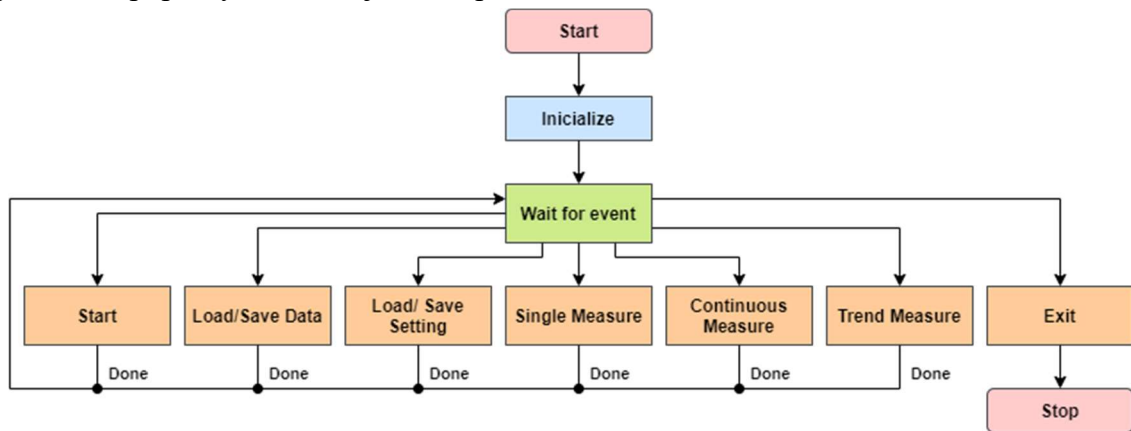
Obrázek 6.6: Diagram Run-Time Shortcut Menu

6.3 Popis výsledného vývojového diagramu měřicí aplikace

Výsledný vývojový diagram měřicí aplikace se nachází na Obrázek 6.7. Jak lze vidět, základní struktura stavového automatu byla dodržena.

Ihned po spuštění se provede inicializace hodnot parametrů měření a automat následně přejde do stavu *Wait for event*. Zde čeká, než uživatel připojí zařízení nebo načte spektrální data ze souboru a poté přejde do stavu *Start*, kde se povolí další části programu, a automat přejde zpět do stavu *Wait for event*.

Zbytek struktury tvoří 5 větví, které obsahují vlastní programovou posloupnost. Tento diagram byl vytvořen pro přehledné vyobrazení všech funkcí aplikace. Jednotlivé větve jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

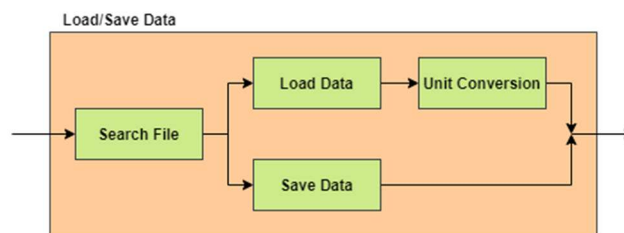


Obrázek 6.7: Vývojový diagram měřicí aplikace

6.3.1 Load/Save Data

Tato větev slouží k nahrávání dat ze souboru a ukládání dat do souboru. Nejdříve se zavolá dialogové okno *DialogSearchFile.vi*, které slouží pro vytvoření nebo vybrání souboru. Následně se vyhodnotí, jestli uživatel načítá nebo ukládá data a dále se pokračuje na konkrétní posloupnost (Obrázek 6.8). Do této větve se uživatel dostane zmáčknutím volby *Load Spectral Data* nebo *Save Spectral Data* v menu v záložce *File*.

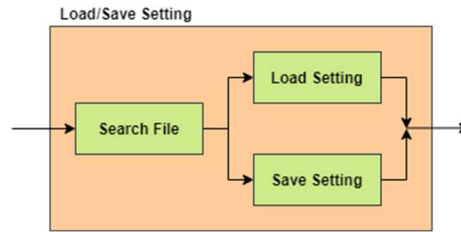
První posloupnost postupuje řetězcem těchto subVI: *LoadData.vi* a *UnitConversion.vi*. Druhá posloupnost obsahuje pouze *SaveData.vi*. Po dokončení jedné z posloupností se automat vrací zpět do stavu *Wait for event*.



Obrázek 6.8: Posloupnost větve Load/Save Data

6.3.2 Load/Save Setting

Tato větev slouží pro načtení nebo uložení parametrů měření. Stejně jako u dat se nejprve zavolá dialogové okno pro vybrání souboru a následně se vyhodnotí, kterou posloupností má pokračovat (Obrázek 6.9). Do této větve se uživatel dostane zmáčknutím volby *Load Setting* nebo *Save Setting* v menu v záložce *File*. Po dokončení jedné z posloupností se automat vrací zpět do stavu *Wait for event*.



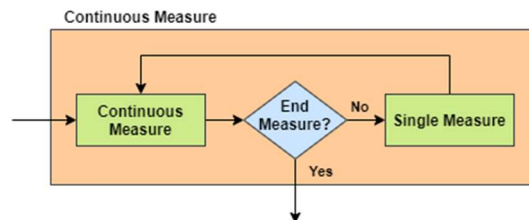
Obrázek 6.9: Posloupnost větve Load/Save Setting

6.3.3 Single Measure

V této větvi se provádí jednorázové měření, pomocí subVI *Measure.vi*. Spouští se zde měření a v cyklu *while* se postupně čtou jednotlivá data, dokud se nevyčtou všechny. Po dokončení měření se data vloží do clusteru a automat přejde do stavu *Wait for event*. Do této větve se uživatel dostane zmáčknutím tlačítka *Single Measure* v záložce *Spectrum*.

6.3.4 Continuous Measure

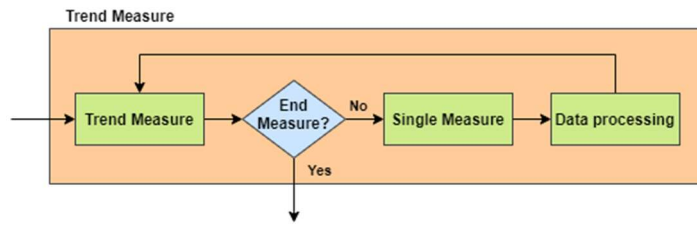
V této větvi se provádí kontinuální měření. Nejdříve se ověří podmínka pro ukončení měření, pokud je podmínka splněna, automat přechází do stavu *Wait for event*, pokud splněna není, provede se jednorázové měření a celá posloupnost se následně opakuje (Obrázek 6.10). Do této větve se uživatel dostane zmáčknutím tlačítka *Continuous Measure* v záložce *Spectrum* a posloupnost se ukončí tlačítek *Stop Measure*.



Obrázek 6.10: Posloupnost větve Continuous Measure

6.3.5 Trend Measure

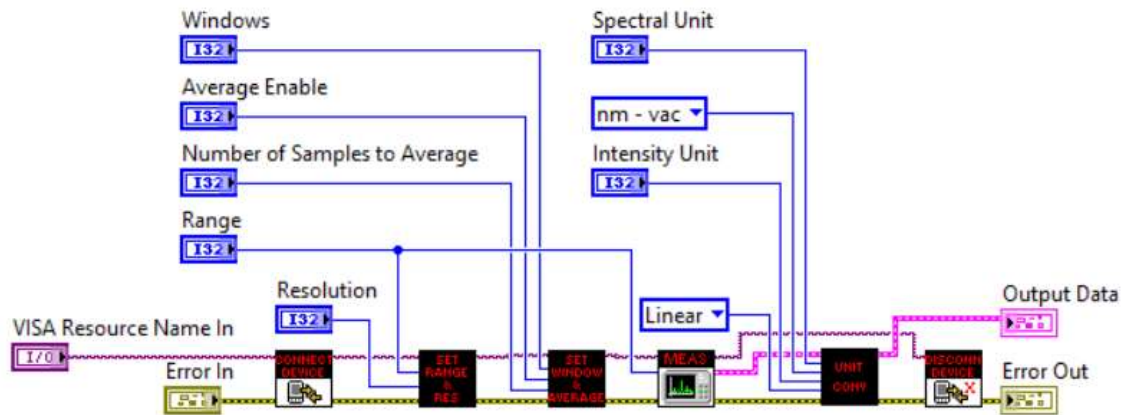
V této větvi se provádí kontinuální měření. Nejdříve se ověří podmínka pro ukončení měření, pokud je podmínka splněna, automat přechází do stavu *Wait for event*, pokud splněna není, provede se jednorázové měření, zpracují se data do trendové tabulky a následně se celá posloupnost opakuje (Obrázek 6.11). Do této větve se uživatel dostane zmáčknutím tlačítka *Trend Measure* v záložce *Trend* a posloupnost se ukončí tlačítek *Stop Measure*.



Obrázek 6.11: Posloupnost větve Trend Measure

7 ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ ŘETĚZEC

V rámci bakalářské práce byl vytvořen příklad základního měřicího řetězce, ve kterém byly použity funkce z palety viz 5.1. Posloupnost měřicího řetězce lze vidět na Obrázek 7.1.



Obrázek 7.1: Posloupnost základního měřicího řetězce

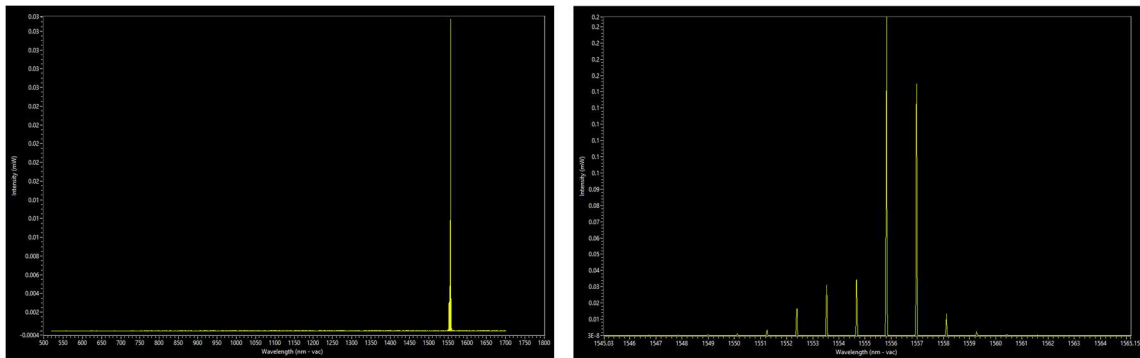
Nejprve se propojí vybrané zařízení s programem a nastaví se na něm navolené parametry měření. Následně proběhne naměření spektra připojeného optického signálu a převedení naměřených dat do požadovaných jednotek. Po dokončení všech operací se odpojí propojené zařízení a program se ukončí.

8 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MĚŘICÍ APLIKACE

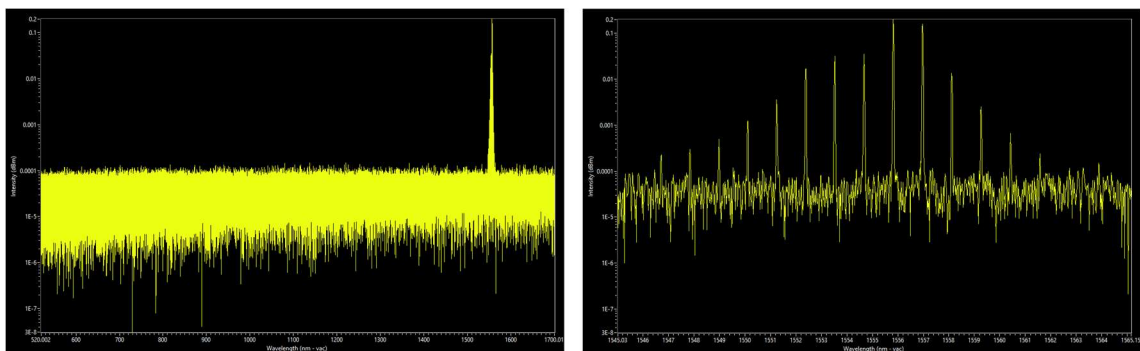
Pro ověření funkčnosti měřicí aplikace bylo provedeno kontrolní měření. Jako zdroj optického signálu byl použit přístroj FOSS-11-9/125-1550-P-1-3S-3-1 od firmy Oz Optics Ltd. Jedná se o pigtailový laserový diodový zdroj s vlnovou délkou 1550 nm o výkonu 1 mW. K optickému spektrálnímu analyzátoru byl připojen pomocí kabelu na FC/PC konektor. Nejdříve bylo provedeno několikanásobné měření spektra a následně jsme ověřili i funkci měření trendu.

8.1 Měření spektra

Měření spektra bylo provedeno nejdříve v lineárních jednotkách intenzity (mW/m^2), viz Obrázek 8.1, a následně i v jednotkách logaritmických (dBm/m^2), viz Obrázek 8.2. Na levé straně je zobrazeno celé měřené spektrum a na pravé straně je přiblížený vrchol spektra, který by měl v ideálním případě odpovídat 1550 nm. U těchto dvou měření zobrazených na obrázku se vrchol s nejvyšší intenzitou rovná skoro 1556 nm. Z datasheetu zdroje [11] byla zjištěna přesnost vlnové délky ± 20 nm (pro rozsah 1310 až 1625 nm), z toho lze odvodit, že změřená vlnová délka je v toleranci přesnosti zdroje. Dále je v datasheetu uvedena šířka tohoto vrcholu, která je okolo 1,5 nm. Když tuto šířku odečteme z grafu, její hodnota se bude blížit právě 1,5 nm. Ostatní vrcholy, které lze vidět na obrázcích, jsou způsobeny typem zdroje záření.



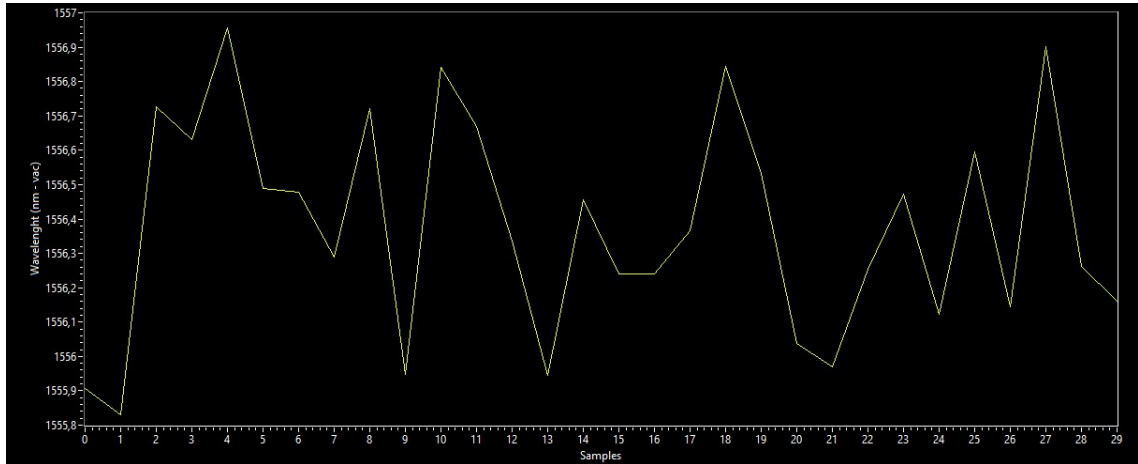
Obrázek 8.1: Spektrum měřeného signálu v lineárních jednotkách



Obrázek 8.2: Spektrum měřeného signálu v logaritmických jednotkách

8.2 Měření trendu

Při měření trendu vlnové délky bylo změřeno 30 vzorků, jak lze vidět na Obrázek 8.3. Můžeme si všimnout, že hodnota vlnové délky s největší intenzitou se pohybovala od 1555,83 nm do 1556,96 nm, její průměrná hodnota byla 1556,38 nm a směrodatná odchylka křivky je 0,33 nm. Všechny tyto údaje lze vyčíst z tabulky trendu, která se nachází v Tabulka 2.



Obrázek 8.3: Změřený trend vlnové délky

Current:	1556,159520	Maximum:	1556,957233	Mean:	1556,378819
Start:	1555,905377	Minimum:	1555,829579	Std Dev:	0,325417
Drift:	0,254143	Variation:	1,127654		

Tabulka 2: Tabulka trendu vlnové délky

9 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat aplikaci pro měření spektra a vlnové délky optického signálu, která bude realizována pomocí vytvořené knihovny funkcí. Inspirací pro tvorbu měřicí aplikace a knihovny funkcí bude výrobcem dodávané rozhraní NuVIEW. Měřicí aplikace i knihovna funkcí byla navržena a realizována. Pro splnění tohoto cíle se postupovalo dle bodů zadání bakalářské práce.

V kapitole 1 a 2 se nachází teoretické podklady pro měření vlnové délky a spektra. Nejdříve bylo nutné si nastudovat jednotlivé kapitoly teoretické části. V první kapitole se nachází podrobný popis vlnové délky, měření vlnové délky, spektra a spektrometrie. Při popisu spektra byly blíže popsány jeho dvě části, a to viditelné spektrum a infračervené záření. V kapitole 2 se tato bakalářská práce zaměřila na jednotlivé druhy spektroskopů.

V rámci kapitoly 3 byl vypracován popis vývojového prostředí LabVIEW, ke kterému byl následně připojen základní popis standardu SCPI.

U kapitoly 4 bylo nejprve nutné se seznámit se spektrálním analyzátozem Bristol Instruments 771B-NIR a rozhraním NuVIEW. Spektrální analyzátor byl nastudován a popsán. V rámci popisu analyzátoru byly popsány klíčové vlastnosti, možnosti komunikace, rozhraní NuVIEW a možnosti programování. V rámci seznámení s rozhraním NuVIEW byl výrobce dotázán o nejnovější verzi ovladačů. Výrobce odpověděl, že mnou používaná verze je aktuální.

Kapitola 5 představuje první část praktické části této bakalářské práce, jelikož se zabývá popisem jednotlivých funkcí z knihovny funkcí. Byly vytvořeny funkce, které byly inspirovány rozhraním NuVIEW kromě interferogramu. Jelikož výrobce v manuálu přístroje neudává žádný SCPI příkaz pro získání interferogramu, a tudíž by se musel složitě získávat zpětným přepočtem ze získaného spektra, bylo po konzultaci s vedoucím a konzultantem rozhodnuto, že data z interferogramu nejsou u měřicí aplikace potřebná.

Při tvorbě funkce pro vyčtení měřených hodnot páru vlnové délky a intenzity záření vyvstal problém při přetypování vyčtených dat. Jelikož v manuálu přístroje nebyl popsán formát dat, ve kterém to přístroj posílá. Po konzultaci s vedoucím práce bylo zjištěno, že na začátku binárního řetězce je hodnota počtu přenesených bytů a hodnoty vlnové délky a spektra mají pořadí bytů typu little-endian.

Kapitola 6 se zabývá druhou částí praktické části této bakalářské práce, a to popisem samotné měřicí aplikace. V této kapitole se nachází popis architektury aplikace, kterou je stavový automat, jednotlivých záložek a menu aplikace a také výsledným vývojovým diagramem aplikace.

Funkčnost měřicí aplikace byla ověřena na kontrolním měření. Z naměřených dat lze usoudit, že vytvořená aplikace je funkční a lze s ní měřit spektrum a trend vlnové délky optického signálu. Měřicí aplikace je připravená na případné rozšíření, tato bakalářská práce je psána tak, aby posloužila jako návod při budoucím rozšíření této aplikace.

V rámci bakalářské práce byl vytvořen uživatelský manuál pro ovládání měřicí aplikace, který se nachází v Příloha A -. Jsou zde popsány jednotlivé ovládací prvky aplikace a práce s nimi. Dále zde můžeme najít, jak připojit a odpojit zařízení, jak nastavit jednotlivé parametry měření a jak pracovat s markery a kurzory.

V bakalářské práci byly splněny všechny body zadání.

LITERATURA

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. Začínáme s LabVIEW. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org>
- [3] Spektrum elektromagnetického záření. Wikipedia [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:ElmgSpektrum.png>
- [4] Path of light in Michelson interferometer. Wikipedia [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson_interferometer#/media/File:Michelson_interferometer_with_labels.svg
- [5] KHEILOVÁ, M., K. LIEDERMANN, P. TOMÁNEK a V. ZDRAŽIL. Kmity, Vlny, Optika, Termodynamika, Moderní fyzika [PDF]
- [6] BRISTOL INSTRUMENTS, Inc. User Manual Laser Spectrum Analyzer Model 771 [PDF]. 12. 12. 2019
- [7] BRISTOL INSTRUMENTS, Inc. Bristol 771 Series Product Details [PDF].
- [8] BRISTOL INSTRUMENTS, Inc. Bristol 771 Laser Spectrum Analyser [PDF].
- [9] BRISTOL INSTRUMENTS, Inc. Programming Guide [PDF]. 21. 8. 2018
- [10] ŠILHAN, Lukáš. Konstrukce spektroskopického systému pro systém reaktivního iontového leptání. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2019
- [11] OZ OPTICS LTD., Oz Optics FOSS Datasheet [PDF]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.artisanng.com/info/OzOptics_FOSS_Datasheet.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
VI	Virtual Instrument
NI	National Instrument
MAX	Measurement & Automation Explorer
VISA	Virtual Instrument Software Architecture
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
NIR	Near-Infrared Radiation
PC	Personal Computer
USB	Universal Serial Bus
DB-9	Serial communications D-Shell connector (9 pins)
FC/PC	Fiber-optic Connector for Physical Contact
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
Telnet	Teletype network

Symboly:

λ	Vlnová délka	(m)
nm	Nanometry	
μm	Mikrometry	
k	Vlnové číslo	(m^{-1})
cm^{-1}	Centimetr na mínus první	
f	Frekvence záření	(Hz)
GHz	Gigahertz	
THz	Terahertz	
I_e	Intenzita záření	(W/m^2)
mW/m^2	Miliwatt na metr krychlový	
dBm	Decibel na metr krychlový	

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - UŽIVATELSKÝ NÁVOD K OBSLUZE MĚŘICÍ APLIKACE	50
PŘÍLOHA B - OBSAH PŘILOŽENÉHO CD.....	52

Příloha A - Uživatelský návod k obsluze měřicí aplikace

V následující kapitole se nachází uživatelská příručka k měřicí aplikaci. Hlavní VI, které je určeno pro uživatele, se nazývá *Main.vi*.

Pro lepší přehlednost aplikace je využito okno záložek a Run-Time Menu. Aplikace je rozdělena do 2 záložek, první záložka je určena pro měření a zobrazování spektra měřeného signálu a druhá záložka slouží pro zobrazení trendu vlnové délky. Po spuštění aplikace proběhne inicializace programu a následně se uživateli zobrazí pouze prázdná stránka. Aby byl uživateli povolen přístup pro zobrazení okna záložek a pro nastavování parametrů měření, musí nejdříve připojit přístroj nebo načíst spektrální data ze souboru.

Načítání ze souboru a ukládání do souboru je řešeno pomocí vyskakovacího okna a uživatel si tak může pohodlně vybrat, jaký soubor si chce načíst, popřípadě kam chce daný soubor uložit a jak se má jmenovat.

A.1 Připojení a odpojení zařízení

Připojení a odpojení přístroje lze provést v Run-Time Menu v záložce *Instrument*. Při připojování zařízení vyskočí uživateli okno s výběrem *VISA refnum*, kde je potřeba vybrat příslušný přístroj, viz Obrázek A.1. Pokud uživatel vybere zařízení, které není připojené k počítači, nebo se s ním nelze spojit, vyskočí na něj upozornění, že přístroj nelze připojit. Při odpojení zařízení vyskočí okno, že přístroj byl odpojen.

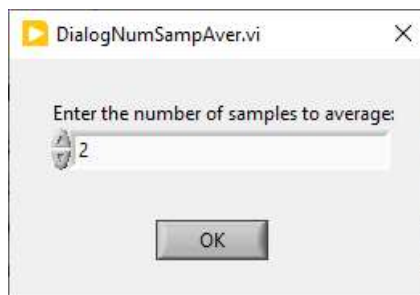


Obrázek A.1: Dialog pro připojení zařízení

A.2 Nastavení parametrů měření

Jednotlivé parametry měření spektra lze nastavit pomocí Run-Time Menu v záložce *Instrument*. Uživatel si zde může zvolit jednotku vlnové délky a intenzity, měřený rozsah, rozlišení a okno pro výpočet spektra a také si může zapnout výpočet spektra průměrováním z navoleného počtu vzorků.

Zadávání počtu vzorků pro průměrování je řešeno pomocí vyskakovacího okna s kolonkou pro zadání čísla, které je omezeno na interval 2 až 128 vzorků, viz Obrázek A.2.



Obrázek A.2: Dialog pro zadání počtu vzorků pro průměrování

A.3 Měření spektra a trendu vlnové délky

Ovládání bylo vytvořeno tak, aby bylo intuitivní. Spouštění měření spektra se provádí buď tlačítkem *Single*, kdy se spustí jednorázové měření, nebo tlačítkem *Continuous*, kdy se spustí kontinuální měření, které se následně přerušuje tlačítkem *Stop*.

Měření trendu vlnové délky probíhá podobně. Měření se spustí tlačítkem *Start* a přerušit se stisknutím tlačítka *Stop*. Pro smazání dat z grafu se v této záložce ještě nachází tlačítko *Clear*.

A.4 Ovládání markerů a kurzorů

Markery se v grafu zobrazí zmáčknutím tlačítka v levém horním rohu tabulky markerů, viz Obrázek A.3. Následně se s nimi dá manipulovat přímo v grafu, kdy uchopíme jeden z markerů a posuneme ho na požadovanou pozici.

Jednotlivé kurzory lze do grafu přidávat a odebírat pomocí Run-Time Shortcut Menu grafu spektra. Kurzor se přidává stisknutím volby *Add* a jeho souřadnice v ose x se určuje podle toho, kde bylo s myší na grafu rozkliknuto menu. Kurzory lze odebírat postupně volbou *Delete*, kdy se odebere poslední přidaný kurzor, anebo je lze odstranit všechny volbou *Clear*. S kurzory lze posouvat stejně jako s markery.

Markers OFF	A	B	Delta
Wavelength			
Intensity			

Obrázek A.3: Tabulka markerů s vyznačeným tlačítkem

Příloha B - Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD se nachází bakalářská práce a dvě složky. Ve složce dokumentace se nachází manuál k přístroji a ovladač RNDIS, který je potřebný pro připojení zařízení k počítači. Ve druhé složce LabVIEW se nachází projekt měřicí aplikace, knihovna funkcí, paleta funkcí a příklad základního měřicího řetězce.

