

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziky

Fyzikální měření s pomocí počítače a software NI LabVIEW
Diplomová práce

Autor: Lenka Lušková
Studijní program: N1701
Studijní obor: Fyzikální měření a modelování

Vedoucí práce: RNDr. Daniel Jezbera

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 20.5.2018

Lenka Lušková

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce RNDr. Danieli Jezberovi za cenné rady a připomínky, které mi poskytl při psaní diplomové práce.

Anotace

LUŠKOVÁ, Lenka. *Fyzikální měření s pomocí počítače a software NI LabVIEW*. Hradec Králové, 2018. Diplomová práce. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce: RNDr. Daniel Jezbera

Práce demonstruje příklad použití prostředí LabVIEW pro výukové účely. Možnost aplikace tohoto prostředí je demonstrována na několika úlohách, které mají prezentovat přístup k řešení reálných fyzikálních problémů. Úlohy v této práci se zaměřují na problematiku radioaktivity, voltampérové charakteristiky a fotometrických měření. V práci je vytvořeno několik programů. Na těchto programech jsou naměřena vzorová řešení.

Klíčová slova

radioaktivita, voltampérová charakteristika diody, fotometrické měření, LabVIEW

Annotation

LUŠKOVÁ, Lenka. *Physical measurement using PC and LabVIEW software*. Hradec Králové, 2018. Thesis. University of Hradec Králové, Faculty of Science. Supervisor: RNDr. Daniel Jezbera

The work demonstrates an example of using LabVIEW for learning purposes. The ability to apply this environment is demonstrated in several tasks that are designed to present a solution to real physical problems. The tasks in this thesis are focused on the issues of radioactivity, voltameric characteristics and photometric measurements. Several programs are created in the work. Example measurements are made.

Keywords

radioactivity, current-voltage characteristic, photometric measurements, LabVIEW

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Radioaktivita.....	2
2.1	Jaderná přeměna	3
2.2	Fyzikální jednotky.....	4
2.3	Geiger-Müllerův detektor.....	5
2.4	Lambert-Beerův zákon.....	6
3	Voltampérová charakteristika diody	8
3.1	Ohmův zákon	8
3.2	Dioda	8
3.3	VA charakteristika diody.....	11
4	Fotometrická měření	14
4.1	Fotometrické veličiny	19
4.2	Fotometrické veličiny plošného zdroje	22
4.3	Fotometrická měření	23
5	Praktická měření	25
5.1	NI LabVIEW	25
5.1.1	Cykly	26
5.1.2	Expresní prvky.....	26
5.1.3	Numerické prvky	28
5.1.4	Ovládání času	28
5.1.5	Tunel a posuvný registr	29
5.1.6	Ostatní prvky.....	29
5.2	Podrobné popsání některých prvků LabVIEW	30
5.2.1	DAQ Assistant.....	30
5.2.2	Filter	33

5.2.3	Build XY Graph.....	36
5.3	Měření absorpčního koeficientu záření beta.....	40
5.3.1	Úkol	40
5.3.2	Popis měření.....	40
5.3.3	Pomůcky.....	40
5.3.4	Popis programu.....	41
5.3.5	Vzorové měření	45
5.3.6	Zpracování dat.....	48
5.4	Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu)	50
5.4.1	Úkol.....	50
5.4.2	Popis měření.....	50
5.4.3	Pomůcky.....	51
5.4.4	Postup měření.....	52
5.4.5	Zpracování dat.....	54
5.5	Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) 56	
5.5.1	Úkol	56
5.5.2	Popis měření.....	56
5.5.3	Pomůcky.....	57
5.5.4	Postup měření.....	57
5.5.5	Zpracování dat.....	61
5.6	Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) 63	
5.6.1	Úkol	63
5.6.2	Popis měření.....	63
5.6.3	Pomůcky.....	64

5.6.4	Postup měření.....	64
5.6.5	Měření a zpracování dat.....	66
5.7	Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí)	68
5.7.1	Úkol	68
5.7.2	Popis měření.....	68
5.7.3	Pomůcky.....	69
5.7.4	Postup měření.....	69
5.7.5	Měření a zpracování dat.....	71
5.8	Měření osvětlení	72
5.8.1	Úkol	72
5.8.2	Popis měření.....	72
5.8.3	Pomůcky.....	72
5.8.4	Popis programu	73
5.8.5	Postup měření.....	74
5.8.6	Měření a zpracování dat.....	75
6	Závěry a doporučení	77
7	Seznam použité literatury.....	81

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Radioaktivita (Ullmann, 2018, s.1)	3
Obrázek 2 – Geiger-Müllerova trubice (Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor, 2018)	6
Obrázek 3 – Křemík při teplotě blízké 0 K (Tichý, 2004).....	9
Obrázek 4 – Pohyby děr a elektronů (Tichý, 2004).....	9
Obrázek 5 – Křemík s přidaným arsenem (Tichý, 2004)	10
Obrázek 6 – Polovodič s příměsí india (Tichý, 2004)	11
Obrázek 7 – VA charakteristika diody (Koutný, 2015)	11
Obrázek 8 – Vyjádření zářivosti (Kalus, 2004, s. 38)	15
Obrázek 9 – Vyjádření úhlu α mezi ozařovanou plochou a paprsky záření (Kalus, 2004, s. 38)	16
Obrázek 10 – Vnímání vlnových délek lidským okem (Kalus, 2004, s. 40)	18
Obrázek 11 – Bunsenův fotometr.....	23
Obrázek 12 – For cyklus (vlevo) a while cyklus (vpravo).....	26
Obrázek 13 – DAQ Asistent.....	26
Obrázek 14 – Vytvoření tabulky	27
Obrázek 15 – Zápis dat do souboru	27
Obrázek 16 – XY Graf.....	27
Obrázek 17 - Filtr	28
Obrázek 18 – Numerický indikátor.....	28
Obrázek 19 – Numerický ovladač.....	28
Obrázek 20 – Numerické operátory	28
Obrázek 21 – Time Delay	28
Obrázek 22 – Tick Count	29
Obrázek 23 – Tunel (vlevo) a posuvný registr (vpravo)	29
Obrázek 24 – Boolean operátory – true, false, or	29
Obrázek 25 – Round to Nearest	29
Obrázek 26 – Komparátory.....	30
Obrázek 27 – DAQ Assistant – Funkce.....	31
Obrázek 28 – DAQ Assistant – Vytvoření nového měření.....	32

Obrázek 29 – DAQ Assistant – Výběr fyzického kanálu	32
Obrázek 30 – DAQ Assistant – Nastavení vlastního měření.....	33
Obrázek 31 – Filter – Funkce.....	34
Obrázek 32 – Filter – Vlastnosti filtrování	35
Obrázek 33 – Filter – Smoothing	36
Obrázek 34 – Filter – Obdelníkový (vlevo), Trojúhelníkový (vpravo).....	36
Obrázek 35 – Build XY Graph – Kurzor	37
Obrázek 36 – Build XY Graph – Kurzor – Vytvoření reference	38
Obrázek 37 – Build XY Graph – Kurzor – Pozice.....	38
Obrázek 38 – Build XY Graph – Kurzor – Unbundle by Name	39
Obrázek 39 – Build XY Graph – Kurzor – Odečítání hodnot.....	39
Obrázek 40 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Uspořádání.....	41
Obrázek 41 – Měření absorpčního koeficientu záření beta– Jednoduchá verze – Kód	42
Obrázek 42 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Jednoduchá verze – Přední panel.....	43
Obrázek 43 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Složitá verze – Přední panel.....	43
Obrázek 44 - Měření absorpčního koeficientu záření beta – Složitá verze – kód.....	44
Obrázek 45 – Měření absorpčního koeficientu záření beta– Měření pozadí č.1	45
Obrázek 46 - Měření absorpčního koeficientu záření beta – Měření pozadí č.2	46
Obrázek 47 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Měření zářiče	46
Obrázek 48 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Uspořádání.....	47
Obrázek 49 – Detektor radiace – Papír	47
Obrázek 50 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Hliník.....	48
Obrázek 51 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – PVC.....	48
Obrázek 52 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Schéma zapojení.....	50
Obrázek 53 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Zapojení.....	51
Obrázek 54 –VA charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Kód	53

Obrázek 55 - VA charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Přední panel.....	54
Obrázek 56 –VA charakteristika (DA převodník, senzor proudu) – Graf	55
Obrázek 57 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) - Schéma.....	56
Obrázek 58 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Jednoduchá verze – Kód.....	58
Obrázek 59 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Jednoduchá verze – Přední panel.....	59
Obrázek 60 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Složitá verze – Kód.....	60
Obrázek 61 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Složitá verze – Přední panel	61
Obrázek 62 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Graf.....	62
Obrázek 63 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) - Schéma zapojení	63
Obrázek 64 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Kód	65
Obrázek 65 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Přední panel.....	65
Obrázek 66 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) - Zapojení.....	66
Obrázek 67 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Graf s filtrem.....	67
Obrázek 68 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Graf bez filtru	67
Obrázek 69 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Zapojení.....	68
Obrázek 70 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Zapojení hardware	69

Obrázek 71 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Kód	70
Obrázek 72 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Měření.....	71
Obrázek 73 – Měření osvětlení – Zapojení hardware	73
Obrázek 74 – Měření osvětlení – Kód	74
Obrázek 75 – Měření osvětlení – Zapojení.....	75
Obrázek 76 – Měření osvětlení – Záznam z měření.....	76
Obrázek 77 – Měření osvětlení – Graf.....	76

1 Úvod

Hlavním tématem této diplomové práce je vytvořit sérii úloh pro podporu výuky v bakalářském studiu, kde hlavní důraz bude kladen na programy pro sběr dat v NI LabVIEW a následně pomocí těchto programů naměřit vzorová měření a zpracovat je.

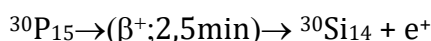
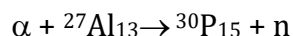
V teoretické části je vymezen terminologický aparát, který je potřeba pro porozumění praktické části. Největší důraz je kladen na dvě z hlediska práce zásadní témata, kterými jsou radioaktivita a voltampérová charakteristika. Nejprve je popsána problematika radioaktivity (kapitola 2). V kapitole o radioaktivitě je prostor věnován otázce jaderné přeměny, fyzikálním jednotkám popisujícím jadernou přeměnu, principu Geiger-Müllerova detektoru a je popsán i Lambert-Beerův zákon. Druhým tématem v teoretické části je popis pojmu voltampérová charakteristika diody (kapitola 3). V rámci této kapitoly jsou vymezeny základní pojmy jako ohmův zákon a dioda. Následně je vymezen pojem voltampérová charakteristika a spolu s tím je uvedena charakteristika pro diodu. V neposlední řadě jsou uvedeny fotometrické veličiny plošného zdroje, a nakonec i fotometrická měření.

V praktické části jsou popsány ve stručnosti prvky, se kterými lze v LabVIEW pracovat a které jsou důležité z hlediska úloh (kapitola 5.1). Nejsložitější prvky jsou podrobně popsány (kapitola 5.2). V dalších kapitolách jsou implementovány jednotlivé úlohy. První z úloh se zabývá měřením koeficientu záření beta (kapitola 5.3). Tato úloha je zpracována v jednoduché a složité verzi. V praktické části je dále více způsoby řešena úloha měření voltampérové charakteristiky diody. Nejprve je úloha řešena s použitím DA převodníku a senzoru proudu (kapitola 5.4). Dále je voltampérová charakteristika získána za použití dvou napětí, přičemž se proud dopočítává v programu (kapitola 5.5). Pro tuto variantu jsou sestaveny dvě verze měření; jednoduchá a složitá. V neposlední řadě je voltampérová charakteristika měřena po krocích za použití senzoru proudu (kapitola 5.6) a obdobně za měření dvou napětí (kapitola 5.7) V poslední části je řešena úloha měření osvětlení.

2 Radioaktivita

Radioaktivita byla poprvé pozorována v roce 1896 Henri Becquerelem, který prováděl pokus s luminiscencí minerálů a krystalů. Becquerel zjistil, že uranové sloučeniny produkují neviditelné záření, a to i bez ozáření vnějším světlem. Záření pronikalo i světlotěsným obalem fotografických desek, ty po ozáření zčernaly. Na Becquerelům výzkum navázali Marie Curie, Pierre Curie a Gustave Bémont. V uranové rudě našli i další radioaktivní prvky – polonium a radium a zjistili, že tyto prvky mění svou chemickou strukturu neboli, že se jádra atomů přemění na jádra atomu jiného prvku. Ernest Rutherford jejich výzkum doplnil o dvě složky, které v záření objevil. Měkká složka neboli záření alfa, je pohlceno listem papíru a dolet má v řádech centimetrů. Tvrdá složka neboli záření beta, neprojde hliníkovým plechem o šířce nad 1 mm a je asi stokrát pronikavější než záření alfa. Paul Ulrich Villard objevil ještě o něco pronikavější záření, které lze odstínit silnou vrstvou betonu. Záření dostalo název záření gama a bylo zjištěno, že se jedná o elektromagnetické záření, které má velice krátkou vlnovou délku. Kratší než rentgenové záření. V roce 1900 Curiovi a Bémont objevili záporný elektrický náboj u záření beta, který měl hodnotu podobnou elektronu. Po zpřesnění této hodnoty, se ujasnilo, že záření beta tvoří proud elektronů. Mezi lety 1903 a 1908, bylo provedeno mnoho pokusů s průchodem radioaktivního záření v poli se silnými magnety, Ernestem Rutherfordem. Odchylka záření alfa v příčném magnetickém poli je menší a opačného směru než u záporně nabitého záření beta. Záření gama se v magnetickém poli nijak neodklánělo. Z těchto pokusů zjistil, že záření alfa je proud dvojnásobně ionizovaných atomů hélia, tzn. proud heliových jader. Dalším pokusem byl uzavřený vzorek radia v trubičce, kde se po určité době ukázaly dva nové plyny. První plyn měl spektrální čáry hélia. Druhý byl pojmenován jako radon. Tím se potvrdilo, že je radioaktivita samovolným rozpadem atomového jádra a mění se při ní výchozí prvek v jiný neboli nastává transmutace prvku. Později dokázal vytvořit umělou transmutaci neradioaktivního jádra. Způsobil reakci $^{14}\text{N}_7 + ^4\text{He}_2 \rightarrow ^{17}\text{O}_8 + ^1\text{H}_1$, kterou pozoroval v komorách s různými plyny na fluorescenčních stínítkách.

Do roku 1934 byly všechny poznatky založeny na přírodní radioaktivitě, která se vyskytovala především u těch nejtěžších prvků. V tomto roce, Irène Joliot-Curie a Frédéric Joliot-Curie, vytvořili uměle vyvolanou radioaktivitu. Hliník ozářený zářením alfa vysílá radioaktivní záření i poté, co bylo ozařování částicemi alfa zastaveno. Intenzita záření postupně klesá a hliník se postupně mění na radioaktivní fosfor, který se rozpadne na křemík a vyšle pozitron.

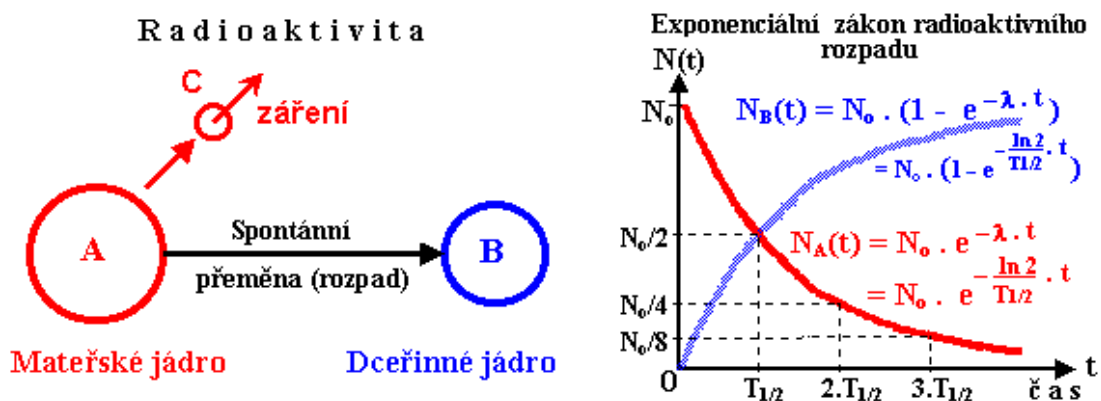


Nově pozorovali radioaktivitu β^+ , kde se místo záporných elektronů emitují kladně nabitě pozitrony.

V roce 1940 bylo zjištěno Flyorovem a Petrzakem, že se uran rozpadá také samovolným štěpením na dvojice středně těžkých jader. Při tomto procesu se uvolňují neutrony. (Ullmann, 2018, s. 1)

2.1 Jaderná přeměna

Jaderná přeměna je ve své podstatě změnou složení jádra nebo změna energetického stavu jádra. Část vazebné energie se uvolní ve formě kinetické energie a elektromagnetického záření, tzn. vzniká vysokoenergetické ionizující záření. Může docházet k transmutaci, což je přeměna jader prvního prvku na jádra druhého prvku. Transmutace nastává u záření alfa a beta. Nebo dochází k energetické deexcitaci toho samého jádra.



Obrázek 1 - Radioaktivita (Ullmann, 2018, s.1)

V obr. č.1 je znázorněna radioaktivní přeměna. Jádro A se bez vnějšího zásahu a

pouze vlivem vnitřních sil přemění na jádro B, které je trochu menší než jádro A. Částice C při přeměně vyletí a znamená rozdíl energií mezi jádry A a B. Pro vznik radioaktivity musí být splněna hmotnostně-energetická podmínka

$$m(A) > m(B) + m(C) \quad (1)$$

kde $m(A)$ je hmotností jádra A, $m(B)$ hmotnost jádra B a $m(C)$ klidová hmotnost částice C.

Při takovéto přeměně se uvolňuje kinetická energie, která je z větší části odnesena částicí C a částečně i částicí B, která svou energii získala odrazem, který plyne ze zákona akce a reakce. (Ullmann, 2018, s. 2)

$$\Delta E = (m(A) - m(B) - m(C)) c^2 \quad (2)$$

2.2 Fyzikální jednotky

Jednotek radioaktivity je několik. Jednou z nich je například aktivita. Aktivita značí počet jader za jednotku času nebo kolik jader ubylo za stejnou jednotku času. Aktivita s časem klesá, kvůli rozpadu původního jádra. Okamžitou aktivitu v čase lze spočítat jako

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (3)$$

kde $N(t)$ značí nepřeměněná jádra v určitém čase t .

Becquerel [Bq] značí v průměru jeden rozpad za jednu sekundu. Výsledky musí být zprůměrovány a musí být provedeno více měření, aby byl výsledek normalizovaný k 1 sekundě. Čím větší hodnota v Becquerelech, tím větší záření je pouštěno do okolí. Nejstarší jednotkou je Curie [Ci]. Jedna jednotka Curie značí 1 gram radia 226.

$$1\text{Ci} \approx 37\text{GBq}$$

Měrná aktivita vzorku se ve většině případech značí jako hmotnostní aktivita neboli aktivita hmotnostní jednotky vzorku v 1 kilogramu. Reálně se, ale používá 1 gram. Existuje ještě objemová aktivita, která se používá u kapalných a plyných vzorků. Opět je to oficiálně pro 1 litr, ale v praxi se používá 1 mililitr.

$$A_{1g} = A/M \text{ [Bq/g]}, A_{1ml} = A/V \text{ [Bq/ml]}, \quad (4)$$

kde A je celková aktivita, M hmotnost vzorku, V objem vzorku.

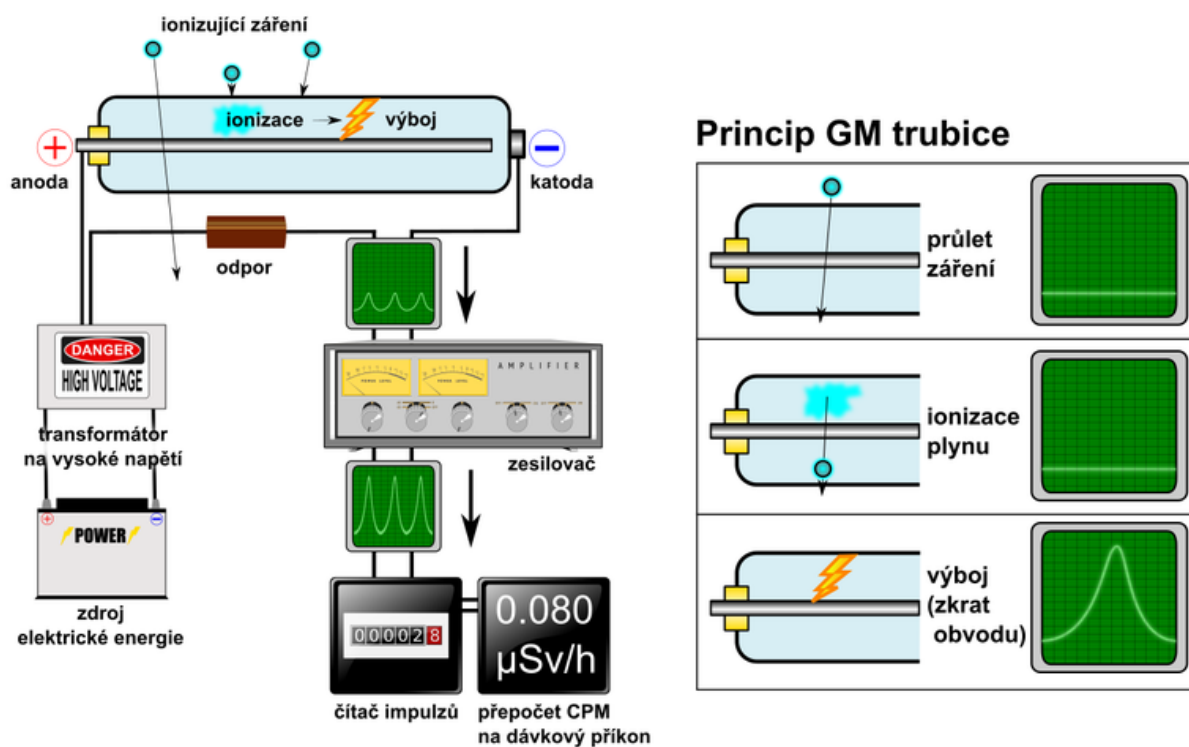
Energetický výkon P s aktivitou A lze spočítat jako

$$P = A \Delta E, \quad (5)$$

kde ΔE značí uvolněnou energii při jednom rozpadu neboli rozdíl energií částic A a B , kde je jejich energie zmenšená o klidovou energii. Část energie se také přemění na teplo. (Ullmann, 2018, s. 3)

2.3 Geiger-Müllerův detektor

Geiger-Müllerův detektor obsahuje trubici, v které je plyn tvořen dvěma prvky, neonem a halogenem. Plyn má menší tlak než atmosférický tlak. Celá trubice je napojena na zdroj vysokého napětí, kde se napětí pohybuje v rozmezí 400 - 700 V a proud dosahuje stovek μA . Elektrody jsou tvořené tyčí a pláštěm trubice. Pokud proletí trubicí radioaktivní částice, plyn bude ionizován, tzn. nastane výboj mezi elektrodami a v obvodu nastane zkrat. Zkrat v tomto případě funguje jako čítač pulzů. Samotný přístroj spočte počet pulzů za jednotku času, většinou počet pulzů za minutu. Halogen má v trubici funkci zhášecího plynu a je tam proto, aby výboj rychleji ustal a aby trubice mohla zaznamenat další částici. Existují přístroje, které mají zabudovaný i reproduktor, který má funkci jednoduchého indikátoru záření (Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor, 2018).



Obrázek 2 – Geiger-Müllerova trubice (Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor, 2018)

2.4 Lambert-Beerův zákon

Pro úzký paprsek monoenergetických fotonů se změna intenzity rentgenového paprsku při určité vzdálenosti v materiálu může vyjádřit jako

$$dI(x) = -I(x)n\sigma dx, \quad (6)$$

kde dI je změna intenzity, I počáteční intenzita, n počet atomů na krychlový centimetr, σ úměrná konstanta, která odráží pravděpodobnost roztržení či absorbování fotonu, dx přírůstek tloušťky materiálu.

Pokusy se zjistilo, že pokud látkou o tloušťce dx projde světlo s intenzitou I , nastane zeslabení intenzity I , o intenzitu dI .

Po zintegrování rovnice (6) vznikne nový vztah,

$$I = I_0 e^{(-\mu x)}, \quad (7)$$

Počet atomů a úměrná konstanta jsou většinou zkombinovány dohromady, tudíž z rovnice vznikne

$$I = I_0 e^{(-\mu x)}, \quad (8)$$

kde I je intenzita fotonů vyzářených na nějakou vzdálenost x , I_0 počáteční intenzita, μ absorpční koeficient, x tloušťka materiálu. Podobně to platí i pro jiné radioaktivní záření (Attenuation Coefficient, 2018).

3 Voltampérová charakteristika diody

3.1 Ohmův zákon

Ohmův zákon vyjadřuje závislost stejnosměrného proudu procházejícího vodičem na stejnosměrném napětí mezi konci tohoto vodiče.

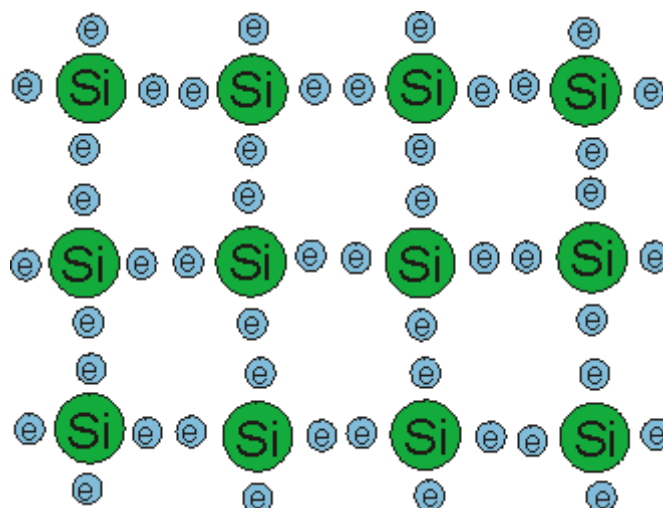
Pokud bude vodič ochlazován tak, aby jeho teplota byla konstantní, a tudíž se neměnil odpor, lze říct, že proud procházející vodičem je přímo úměrný napětí mezi konci takového vodiče. Graf takové závislosti se nazývá voltampérová charakteristika, která má lineární tvar a prochází počátkem.

Z této věty plyne vztah $R = U/I$ a zároveň $R = \text{konstanta}$, kde R je elektrický odpor vodiče, U svorkové napětí a I proud, který prochází vodičem. Tento vztah platí také pro polovodiče, s tím rozdílem, že R není konstantní. (Reichl, 2006)

3.2 Dioda

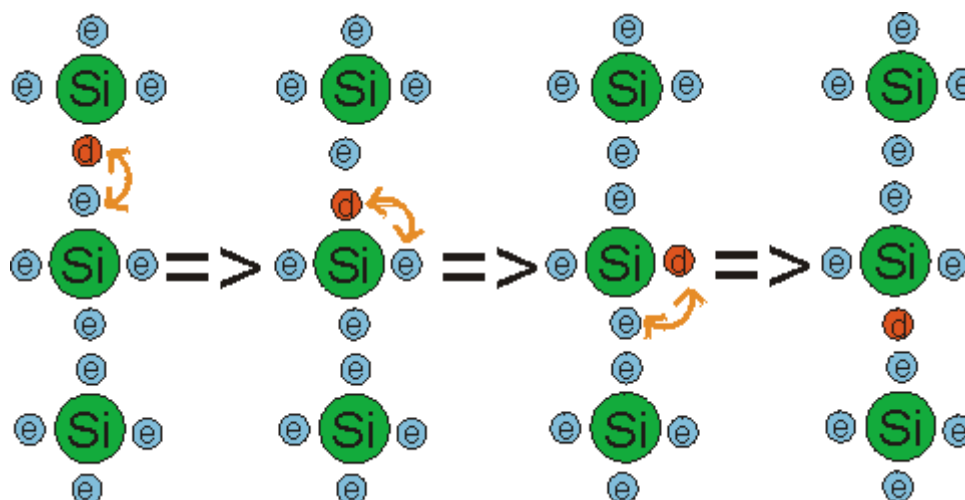
Dioda je považována za nejjednodušší nelineární prvek pro elektrický obvod. Je vyrobena spojením polovodiče N a polovodiče P. (Bielčík, 2018)

Polovodič N neboli polovodič s elektronovou vodivostí, je vyroben z křemíku a má při teplotě blízké 0 Kelvinů všechny elektrony ve valenčním pásu. Pokud se těmto elektronům dodá energie větší jak 1 eV, což je přibližná šířka zakázaného pásma, mohou se přesunout do vodivostního pásma a stanou se volnými elektrony.



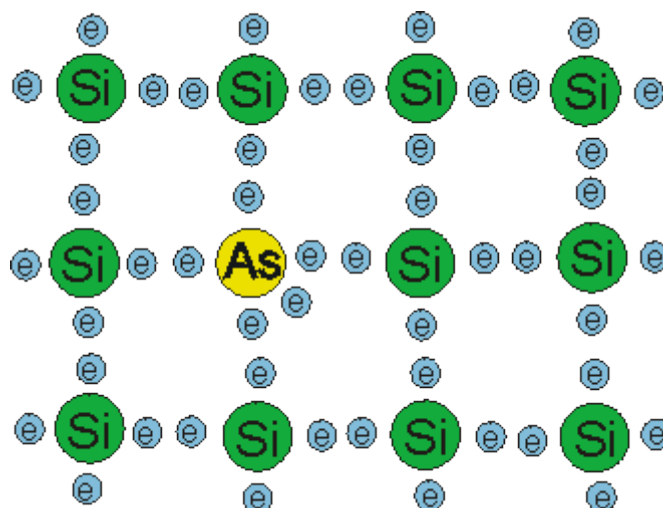
Obrázek 3 - Křemík při teplotě blízké 0 K (Tichý, 2004)

Při zvyšování teploty začnou atomy rychleji kmitat a tím ztrácí elektrony. Tam, kde byl elektron, je teď nenasycená vazba neboli díra. Tato díra může navázat volný elektron, který je někde v její blízkosti. Elektrony (záporně nabitá částice) a díry (kladně nabitá částice) se mohou tedy přesouvat na místa kolem sebe. Při interpretaci tohoto procesu lze říci, že dochází k přesouvání děr, ač ve skutečnosti dochází pouze k zaplňování a vzniku děr nových.



Obrázek 4 - Pohyby děr a elektronů (Tichý, 2004)

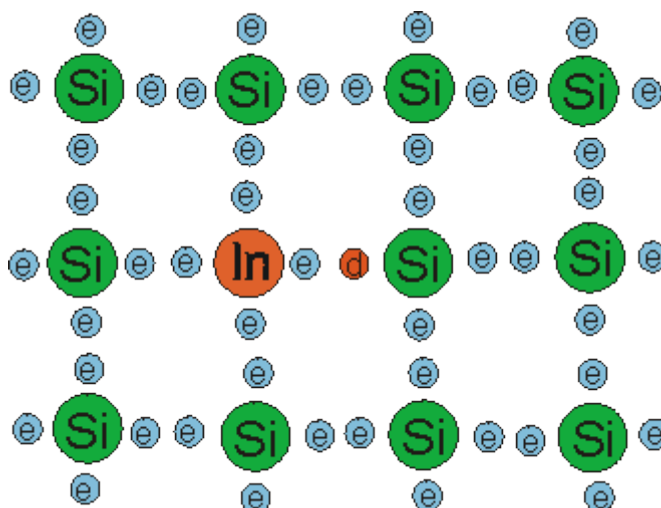
Pokud je potřeba počet takových volných elektronů zvýšit, je možné do čistého křemíku přidat arsen, tím vznikne polovodič N neboli příměsový polovodič.



Obrázek 5 – Křemík s přidaným arsenem (Tichý, 2004)

Arsen je pětímocný, ale poslední z jeho elektronů je velmi slabě vázán, což má za následek jeho uvolnění už při nízkých teplotách. Arsen žádný cizí elektron nepřijme a tím se z atomů arsenu uvolní elektrony a nevytvoří se žádné díry. V tomto typu polovodiče je pak víc elektronů než děr.

Polovodič P (polovodič s děrovou vodivostí) se liší od polovodiče N příměsí. Ke křemíku se nepřidává arzen, ale indium, které je třímocné. Třímocnost prvku (mocnost nepřímo udává počet přijatých nebo odevzdaných elektronů) má za následek přijetí volného elektronu a tím se z prvku stane záporný iont. Každý atom india naváže elektron a zůstane po něm nezaplňená díra. Tento polovodič má více děr než elektronů. (Tichý, 2004)

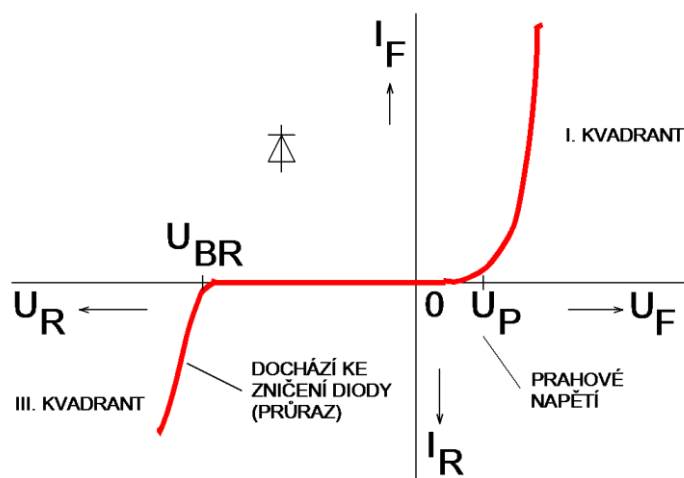


Obrázek 6 – Polovodič s příměsí india (Tichý, 2004)

Dioda má poté na rozhraní těchto dvou materiálů PN přechod, který způsobuje že proud prochází pouze v propustném směru, a to od chvíle, kdy v diodě nastane prahové napětí. Odpor diody postupně klesá se zvyšujícím se napětím. (Bielčík, 2018)

3.3 VA charakteristika diody

Dioda operuje v jedné ze tří částí (viz obrázek č. 7) v závislosti na přivedeném napětí.



Obrázek 7 – VA charakteristika diody (Koutný, 2015)

Propustný směr (I. kvadrant), když je napětí kladné, dioda je zapnuta a proud může v klidu procházet. Prahové napětí U_P by mělo být větší než napětí v propustném směru U_F , aby byl proud nějak znatelný.

Závěrný směr (III. kvadrant) značí vypnutou diodu, kde je napětí menší jak U_F , ale větší jak průrazné napětí U_{BR} . Proud je z větší části blokován, prochází pouze proud v řádech nano ampérů.

Průraz nastane, pokud je napětí puštěné do diody hodně velké a záporné, pak bude velké množství proudu procházet do závěrného směru neboli směr z katody na anodu. Normální diodu může takovéto napětí zničit, vysoká intenzita elektrického pole totiž způsobí vytržení elektronů z vazeb. Existují ale i diody, které v průrazné části pracují, například Zenerova dioda. (Diodes, 2009)

VA charakteristiku ideální diody je možné popsal Shockleyho rovnicí,

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) , \quad (9)$$

kde I je proudem v diodě, I_0 zbytkový proud, U napětí, U_T teplotní napětí a někdy se označuje také jako Boltzmanovo napětí.

Teplotní napětí U_T je napětí, které elektronu předá stejnou energii jako je kT a je možné ho zjistit z rovnice

$$U_T = \frac{kT}{e} , \quad (10)$$

kde k je Boltzmanova konstanta, T teplota a e je elementární náboj. Velikost U_T při 20 stupních celsia je 25mV. Shockleyho rovnice se dá převést po několika úpravách do tvaru pro napětí (Diódy, 2006)

$$U = \ln\left(\frac{I}{I_0} + 1\right) U_T .$$

(11)

4 Fotometrická měření

Elektromagnetické záření, a tudíž i světlo, přenáší energii. Je důležité zmínit několik pojmů, se kterými se bude v následujícím textu pracovat. Prostorový úhel je takový úhel Ω , který zabírá oblast tvořenou dvěma polopřímkami, které vycházejí ze stejného bodu neboli z vrcholu úhlu V . Průnik mezi kuželem a koulí se středem v bodě V a poloměrem r je kulový vrchlík. Kužel vytvoří na dané kulové ploše plochu s obsahem S . Výpočet pro prostorový úhel Ω vypadá následujícím způsobem

$$\Omega = \frac{S}{r^2}, \quad (12)$$

kde Ω značí prostorový úhel, S obsah plochy, r poloměr koule. (Reichl, 2006)

Jednotkou prostorového úhlu je steradián, který je za předpokladu povrchu koule o obsahu $4\pi \text{ m}^2$ a poloměru koule 1 m, jeden steradián. Jednotka steradián není nutná, protože prostorový úhel je bezrozměrná veličina. Steradián se používá pro přehlednost. Celý prostor má úhel o velikosti 4π a poloprostor má velikost 2π .

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} sr' = 4\pi sr' \quad (13)$$

Další důležitý pojem je bodový zdroj. Bodový zdroj představuje zdroj světla, který má velmi malé až zanedbatelné rozměry oproti vzdálenosti od pozorovatele. To znamená, že je tento zdroj ve velmi malém zorném úhlu pozorovatele. Pozorovateli se tento zdroj jeví jako bezrozměrný matematický bod. Pokud by se zdroj nacházel v nezanedbatelné vzdálenosti od pozorovatele byl by to zdroj plošný. Pozorovatel vnímá tento zdroj jako menší či větší zářící plochu. (Kalus, 2004, s. 37)

Radiometrické veličiny bodového zdroje značí výkon zdroje neboli jak velké množství energie bylo přenesené na ozařované těleso. Nejčastějšími jednotkami

u zdroje jsou zářivý tok a zářivost. Pokud měříme na straně ozářeného tělesa, mluví se o ozáření.

Zářivý tok Φ vyjadřuje vyzářenou energii bodovým zdrojem do určitého prostorového úhlu za jednotku času. Veličina závisí nejenom na tom, jaký typ zdroje je použit, ale i na daném prostorovém úhlu. Jednotkou zářivého toku Φ je watt (W).

Zářivost I_e vyjadřuje zářivý tok do prostorového úhlu v daném směru.

$$I_e(\vec{n}) \equiv \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{(\Delta\Phi_e)}{(\Delta\Omega)}, \quad (14)$$

kde $\Delta\Phi$ značí zářivý tok vyzářený bodovým zdrojem Z, $\Delta\Omega$ prostorový úhel, n jednotkový vektor označující směr záření.



Obrázek 8 - Vyjádření zářivosti (Kalus, 2004, s. 38)

Jednotkou zářivosti je watt na steradián (W/sr). Pokud zářivost zdroje nezávisí na směru vyzařování, jedná se o izotropní zdroj. Pokud takový izotropní zdroj vyzařuje se zářivostí I_e do prostorového úhlu Ω , pak je zářivý tok roven součinu těchto dvou veličin.

Ozáření E_e je energie, která dopadne za jednotku času na jednotku povrchu ozařovaného tělesa. To znamená, že pokud je plocha označena jako ΔS a zářivý tok, který dopadá na tuto plochu jako $\Delta\Phi_e$, je možné vyjádřit ozáření E_e jako

$$E_\epsilon \equiv \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{(\Delta \Phi_\epsilon)}{(\Delta S)}$$

(15)

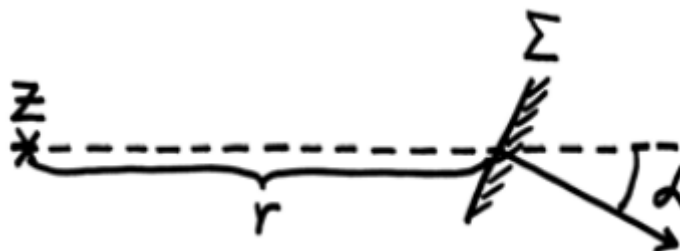
Jednotka ozáření E_e je watt na metr čtvereční (W/m^2).

Ozáření bodovým zdrojem Z , který má zářivost ve směru plochy Σ , je rovno I_e . A vzdálenost od ozařované plochy Σ je r . Pak platí

$$E_\epsilon = I_e \frac{\cos \alpha}{r^2}$$

(16)

Úhel α označuje úhel mezi normálou ozařované plochy a paprsky záření. (Kalus, 2004, s. 38)



Obrázek 9 - Vyjádření úhlu α mezi ozařovanou plochou a paprsky záření (Kalus, 2004, s. 38)

Intenzita záření H_e vyjadřuje energii vyzářenou do volného poloprostoru jednotkou povrchu plošného zdroje za určitou jednotku času. Pokud je označena plocha elementu zdroje jako ΔS a zářivý tok vyzářený z elementu plochy $\Delta \Phi_e(2\pi)$, pak je možné vyjádřit intenzitu záření H_e jako

$$H_\epsilon \equiv \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{(\Delta \Phi_\epsilon(2\pi))}{(\Delta S)}$$

(17)

Jednotka intenzity záření je stejná jako u ozáření, tudíž W/m^2 .

Pokud je plošný zdroj dokonalé černé těleso, pak pro intenzitu záření platí Stephan-Boltzmanův zákon

$$H_e \equiv \sigma T^4, \quad (18)$$

kde T vyjadřuje teplotu vyzařujícího tělesa a σ Stephan-Boltzmanovu konstantu ($\sigma = 5.670367(13) \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

Dokonale černé těleso je zdroj tepelného záření, který pohltí jakékoliv záření, které na něj z venčí dopadá. Vyzařuje pouze vlastní elektromagnetické záření. Dokonale černé těleso je model a v přírodě neexistuje žádný objekt, který by pohlcovao naprosto všechno dopadající záření. Existují některá tělesa, které se tomuto modelu blíží, a to jsou například hvězdy.

Měrná zářivost L_e vyjadřuje zářivost části povrchu zdroje o jednotkovém průmětu do roviny, která je kolmá k zadanému směru paprsků záření.

$$\Delta S \perp = \Delta S \cos \alpha, \quad (19)$$

ΔS je element plochy povrchu zdroje, úhel α svírá paprsek s normálou.

Pokud je zářivost elementu v daném směru $\Delta I_e(\alpha)$, je měrná zářivost definována jako

$$L_e(\alpha) \equiv \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{(\Delta I_e(\alpha))}{(\Delta S \cos \alpha)}. \quad (20)$$

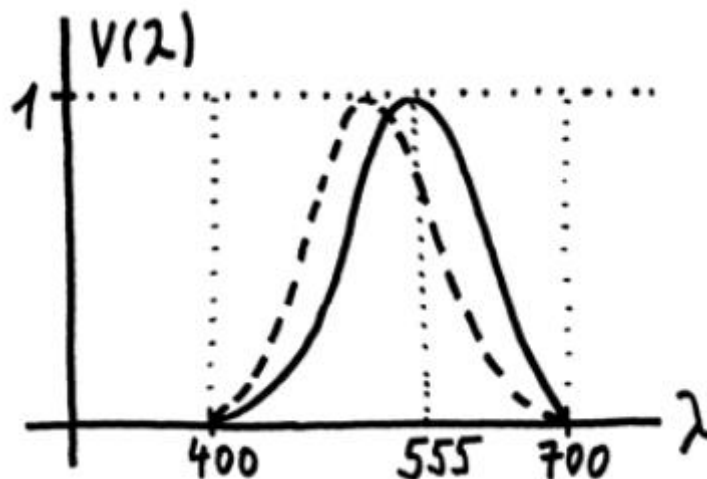
Jednotkou měrné zářivosti je watt na steradián na metr čtvereční (W/sr/m^2).

Důležitým plošným zdrojem je také kosinový zdroj, pro jehož vyzařování platí

$$\Delta I_e(\alpha) = \Delta I_{e0} \cos \alpha$$

Měrná zářivost takového zdroje je totiž nezávislá na směru pozorování. Každé dokonale černé těleso je kosinovým zdrojem. (Kalus, 2004, s. 39)

Lidské oko nevnímá všechno elektromagnetické záření stejně. Citlivost lidského oka je omezena na malý interval mezi 400 a 700 nm a ani tyto vlnové délky nejsou vnímány stejně. Poměrná světelná účinnost monochromatického záření vystihuje závislost citlivosti lidského oka na vlnové délce.



Obrázek 10 – Vnímání vlnových délek lidským okem (Kalus, 2004, s. 40)

Hodnoty a grafy poměrné účinnosti monochromatického záření jsou v různých matematicko-fyzikálních tabulkách.

Na obrázku jsou dvě křivky, které reprezentují dva typy světločivých buněk v oku. Tyto buňky jsou čípky a tyčinky. Křivka označující tyčinky je vůči křivce pro čípky posunuta směrem ke kratším vlnovým délkám. Díky čípkům může vzniknout zrakový vjem při vyšších ozářeních sítnice, tzn. při denním světle. Maximální čípková citlivost je téměř totožná s vlnovou délkou dominantní monochromatické složky slunečního záření. Citlivější tyčinky zase fungují při nižších hodnotách ozáření, tudíž při nočním světle.

Poměrná světelná účinnost monochromatického záření vyjadřuje účinnost, při které je elektromagnetické záření převedeno na zrakový vjem. Jednou z možností měření této účinnosti je, že pokud bude pozorovatel sledovat současně dva zdroje monochromatického záření a jeden z těchto zdrojů bude zářit na pevné vlnové délce λ_0 , někde uprostřed intervalu 400-700 nm a druhý zdroj na jiné vlnové délce λ , tak ačkoliv bude zářivost obou zdrojů nastavena tak, aby se jevíly podobně jasně, tak stejně bude jedno oko ozářeno jako $E_e(\lambda_0)$ a druhé $E_e(\lambda)$. Čím větší bude ozáření $E_e(\lambda)$, tím menší bude účinek záření na lidské oko. Pak lze poměrnou účinnost záření s vlnovou délkou λ , vzhledem k λ_0 vyjádřit jako

$$\tilde{V}(\lambda) \equiv \frac{(E_e(\lambda_0))}{(E_e(\lambda))} \quad (22)$$

Pokud bude provedeno dostatečné množství měření, je možné získat maximum křivky $V_{max}(\lambda)$ a místo $V(\lambda)$ použít následující vztah

$$V(\lambda) \equiv \frac{(\tilde{V}(\lambda))}{(V_{max}(\lambda))} \quad (23)$$

Tato funkce je v maximu normovaná k jednotce a je obvykle uváděná v matematicko-fyzikálních tabulkách. Tabulkové hodnoty $V(\lambda)$ jsou střední hodnoty, které byly získané měřením na velkém množství různých pozorovatelů. To znamená, že tabulkové hodnoty odpovídají zdravému oku v populaci. (Kalus, 2004, s. 40)

4.1 Fotometrické veličiny

První fotometrickou veličinou je spektrální hustota radiometrické veličiny, která vyjadřuje informaci o míře vyzážené energie na různé vlnové délky. Pro definici této veličiny je zavedena veličina A_e , která je jednou z radiometrických veličin. Dále je třeba předpokládat, že je možné pomocí určitého filtru oddělit všechny

monochromatické složky od záření studovaného zdroje. Oddělují se všechny monochromatické složky, kromě těch, které mají vlnovou délku v intervalu $\langle \lambda, \lambda + \Delta\lambda \rangle$. Pokud bude mezi zdrojem a přístrojem na měření veličiny A_e tento filtr, bude naměřena hodnota $\langle \Delta A_e(\lambda, \lambda + \Delta\lambda) \rangle$. Poté je spektrální hustota veličiny A_e pro zvolenou vlnovou délku

$$A_e \equiv \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{(\Delta A_e(\lambda, \lambda + \Delta\lambda))}{(\Delta\lambda)} \quad (24)$$

Pokud bude proměřeno velké množství vlnových délek, je možné získat závislost $A_e(\lambda)$, takže je možné napsat

$$A_e = \int_0^{+\infty} \hat{A}_e(\lambda) d\lambda \quad (25)$$

Další veličinou k definování je fotometrický protějšek A radiometrické veličiny A_e , kde se bere v úvahu různá citlivost oka vůči různým vlnovým délkám

$$A = K \int_0^{+\infty} \hat{A}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (26)$$

kde $V(\lambda)$ označuje spektrální citlivost oka a K označuje multiplikativní faktor zajišťující číselnou kompatibilitu historicky ustálených fotometrických jednotek vůči jednotkám soustavy SI. $K = 680$ pro čípky a $K=1740$ pro tyčinky.

Fotometrické veličiny bodového zdroje jsou svítivost a světelný tok pro zdroj. Pro ozařované těleso se používá osvětlení.

Pro svítivost platí

$$I = K \int_0^{+\infty} \hat{I}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

(27)

Pro svítivost je základní fyzikální veličinou SI kandela, která má označení cd. Svítivost se dělí na izotropní či neizotropní. Tato skutečnost je daná tím, jestli závisí nebo nezávisí na směru vyzařování zdroje. Kandela vyjadřuje svítivost zdroje, který vysílá záření s frekvencí $540 \cdot 10^{12}$ Hz a zářivost v tomto směru je $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$. (Kalus, 2008, s. 41)

Další veličinou je světelný tok, který se spočte následovně

$$\Phi = K \int_0^{+\infty} \hat{\Phi}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

(28)

Z tohoto vzorce plyne vzorec pro světelný tok, který je vyslaný izotropním zdrojem se svítivostí I , do prostorového úhlu Ω .

$$\Phi = I\Omega$$

(29)

Světelný tok je definován jednotkou lumen, která má zkratku lm. V soustavě SI je definována jako světelný tok, který má svítivost 1 cd z izotropního zdroje do prostorového úhlu o 1 sr.

Pro osvětlení platí podobně vzorec

$$E = K \int_0^{+\infty} \hat{E}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

(30)

Pro vztah mezi světelným tokem Φ dopadajícím na plochu S ozařovaného tělesa platí

$$E = \lim_{(\Delta S \rightarrow 0)} \left(\frac{\Delta \Phi}{\Delta S} \right)$$

(31)

Jednotka osvětlení je lux, značeno lx. Tato jednotka je v soustavě SI definována jako osvětlení 1 m² plochy světelným tokem 1 lm. (Kalus, 2008, s. 42)

4.2 Fotometrické veličiny plošného zdroje

Existují dvě fotometrické veličiny, které definují plošný zdroj. Jsou to světlení a jas.

Světlení H je fotometrickým opakem intenzity vyzařování. Světlení je definováno jako

$$H = K \int_0^{+\infty} \hat{H}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

(32)

Z čehož plyne opět limita

$$H = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi(2\pi)}{\Delta S}$$

(33)

kde je světelný tok $\Delta \Phi(2\pi)$ vyslaný plochou ΔS do poloprostoru mimo světelný zdroj. Světlení má jednotku lumen na metr čtvereční a značí se lm/m².

Jas L je opakem měrné zářivosti a je možné ho nazývat měrnou svítivostí. Vzorec pro jas je

$$L = K \int_0^{+\infty} \hat{L}_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

(34)

A obdobně platí pro limitu

$$L = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I(\alpha)}{\Delta S \cos \alpha},$$

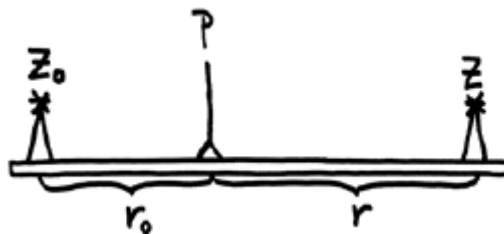
(35)

kde $\Delta I(\alpha)$ je svítivostí plochy plošného zdroje ΔS ve směru, který svírá úhel α s vnější normálou k této ploše.

Jednotkou této veličiny je nit, značen nt. Nit je definován jako jas části povrchu plošného zdroje, který má svítivost 1 cd. Průmět do roviny, který je kolmý ke směru pozorování je 1 m². (Kalus, 2008, s. 43)

4.3 Fotometrická měření

Každé fotometrické měření potřebuje oko pozorovatele, a to nejen kvůli odečítání dat z přístrojů. Oko je velmi nedokonalý orgán a nerozpozná, zda má zdroj svítivost 10 nebo 100 cd. Naopak rozpozná rozdíly mezi dvěma zdroji. Oko by mělo být správně použito jako tzv. nulový přístroj. Bunsenův fotometr vyjadřuje takovýto návrh pro měření svítivosti.



Obrázek 11 – Bunsenův fotometr

Bunsenův fotometr se skládá z lavice L , která má na sobě dva stojany, které na sobě mají zdroj Z_0 se svítivostí I_0 a zdroj Z se svítivostí I , která je měřena. Mezi zdroji je jezdec s rámem, ve kterém je pergamen s mastnou skvrnou P . Měření stojí na faktu, že pokud je osvětlení na obou stranách pergamenu stejné, pak není mastná skvrna vidět. Měření probíhá tak, že se pohybuje jezdcem s pergamenem a zjišťuje se, kdy

mastná skvrna zmizí. Dále se změří vzdálenosti od zdrojů r (r_0). Vzhledem k tomu, že je osvětlení pergamentu stejné z obou stran, lze psát

$$E_0 = \frac{I_0}{r_0^2} \quad E = \frac{I}{r^2}$$
$$\frac{I_0}{r_0^2} = \frac{I}{r^2}$$

(36)

a z toho

$$I = I_0 \frac{r^2}{r_0^2}$$

(37)

Měření svítivosti je tímto převedeno na měření vzdáleností. (Kalus, 2008, s. 43)

5 Praktická měření

Praktická měření podrobně popisují několik experimentů řízených pomocí NI LabVIEW. Pro pochopení kódu je tato kapitola uvedena podkapitolami 5.1 a 5.2, které popisují prvky NI LabVIEW následně používané ve vytvořených kódech.

Původní myšlenkou bylo vytvořit tři měření. Měření absorpčního koeficientu, měření voltampérové charakteristiky diody a měření osvětlení. Při praktickém vytváření a zkoušení voltampérové charakteristiky se ukázalo, že je možné úlohu realizovat různými způsoby. A to buď řízením napětí z programu, nebo nastavováním napětí ručně na laboratorním zdroji. Další variantou bylo měření napětí a proudu anebo měření napětí na diodě a úbytku napětí na přiloženém odporu, ze kterého se proud dopočítával. Prakticky byly realizovány všechny kombinace, takže práce popisuje čtyři varianty měření voltampérové charakteristiky diody.

5.1 NI LabVIEW

Všechny programy jsou vytvořené v programu LabVIEW a většina prvků se opakuje. LabVIEW je zkratkou pro Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench. LabVIEW je grafickým programovacím prostředím, které vyvinula firma National Instruments. Výhodou LabVIEW oproti ostatním programovacím jazykům je v tom, že není třeba znát, až na některé výjimky, programovací jazyk jako například C nebo Javu. Dále obsahuje velké množství knihoven, které uživateli pomáhají se záznamem dat (Travis, 2007, s.27).

Program LabVIEW tvoří dvě části. Přední panel a blokový diagram, mezi kterými lze přecházet pomocí Ctrl + E.

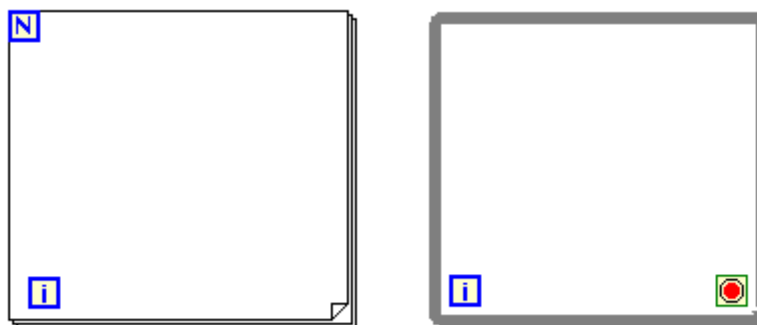
Předním panelem je možné nazvat interaktivní uživatelské rozhraní, které mu se také říká VI (Virtual Instrument). Takový přední panel simuluje určitý přístroj. Na předním panelu je možné najít různá tlačítka, tabulky, grafy, text boxy, ručičkové ukazatele, kontrolky a další. (National Instruments, 2006, s.16)

Blokový diagram neboli kód programu, je model, který simuluje funkci přístroje. Komponentami můžou být jak expresní funkce, cykly, numerické prvky tak i konstanty. (Travis, 2007, s.31)

V následujícím textu budou popsány jednotlivé důležité funkce programu LabVIEW.

5.1.1 Cykly

Každé tvoření programu je potřeba zahájit nějakým cyklem. Tento proces umožňuje sběr dat a nepřetržité měření. V programech jsou použity dva druhy. Buď cyklus while, který ze své podstaty probíhá, dokud se nezmáčkne tlačítko stop. Dalším použitým cyklem je cyklus for, který probíhá podle nastaveného N (N je počet cyklů).



Obrázek 12 – For cyklus (vlevo) a while cyklus (vpravo)

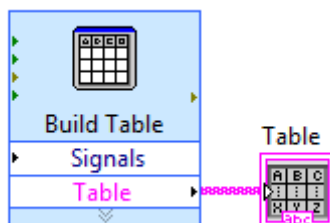
5.1.2 Expresní prvky

Nejdůležitějším expresním prvkem programu je *DAQ Assistant*, který umožňuje hardwarově sběr dat, se kterými se později pracuje. Nahrazuje jednotlivé používané prvky pro komunikaci s hardwarem a zjednodušuje práci.



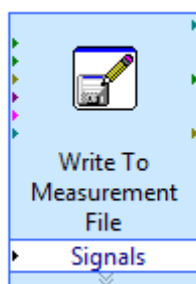
Obrázek 13 – DAQ Asistent

Pokud je potřeba ukládat data do tabulky, je možné použít expresní vytvoření tabulky. V takové tabulce se v případě měření radiace zobrazí počet pulzů za určitý časový interval.



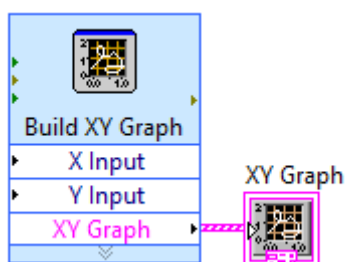
Obrázek 14 - Vytvoření tabulky

Dalším užitečným expresním prvkem je zápis dat do souboru. Je možné si vybrat z různých textových formátů (např. LVM či .xlsx).



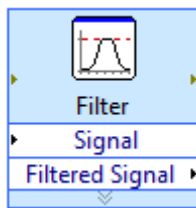
Obrázek 15 - Zápis dat do souboru

Pro vytvoření grafu, který nemusí být závislý na čase, ale je závislý na jakékoliv nastavené hodnotě, je vhodné použít *Build XY Graph*.



Obrázek 16 - XY Graf

Filtr zajistí odstranění šumu a vyhladí výstupní signál.



Obrázek 17 - Filtr

5.1.3 Numerické prvky

Dalším krokem je výstup dat v podobě numerického indikátoru.



Obrázek 18 - Numerický indikátor

Nebo naopak, pokud je třeba zadat data, je použit numerický ovladač.



Obrázek 19 - Numerický ovladač

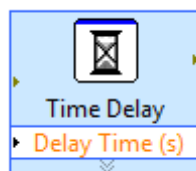
Pokud je potřeba číslo nějak upravit, vynásobit či odečíst, lze použít numerické operátory.



Obrázek 20 - Numerické operátory

5.1.4 Ovládání času

Funkcí *Time Delay (s)* se nastavuje doba cyklu, tzn. jak dlouho bude probíhat jeden sběr dat.



Obrázek 21 - Time Delay

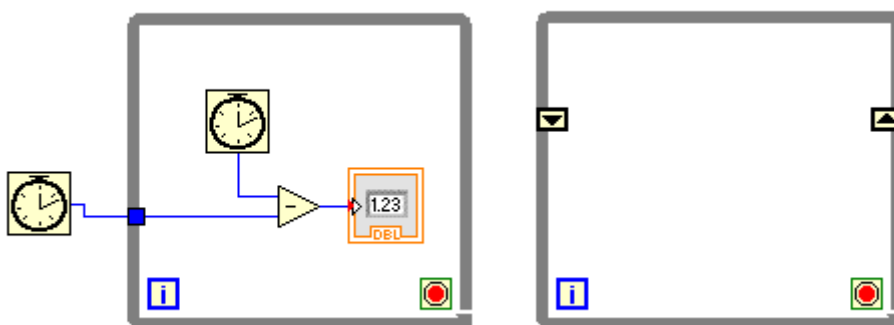
Pomocí funkce *Tick Count (ms)* je možné zjistit uplynulý čas měření a také nastavit, po jaké době se program zastaví.



Obrázek 22 – Tick Count

5.1.5 Tunel a posuvný registr

Tunel i posuvný registr nějakým způsobem vrací minulou hodnotu. Tunel vrací hodnotu po proběhnutí cyklu a posuvný registr vrací minulé hodnoty průběžně, nezávisle na ukončení cyklu.



Obrázek 23 – Tunel (vlevo) a posuvný registr (vpravo)

5.1.6 Ostatní prvky

V programech se objevují i další prvky. A to například boolean operátory, které vypínají a zapínají různé vestavěné funkce.



Obrázek 24 – Boolean operátory – true, false, or

Pro zaokrouhlení na celé číslo je možné použít funkci *Round To Nearest*.



Obrázek 25 – Round to Nearest

Pro porovnání různých čísel je možné použít komparátory.



Obrázek 26 – Komparátory

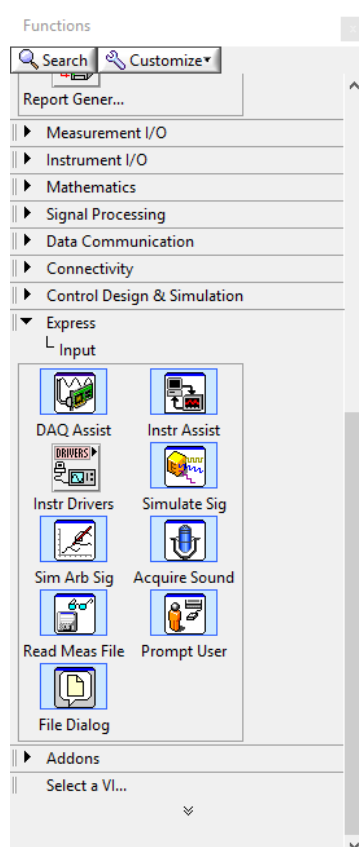
5.2 Podrobné popsaní některých prvků LabVIEW

V následujících kapitolách budou popsány složité expresní funkce, které jsou použity ve vytvořených programech.

5.2.1 DAQ Assistant

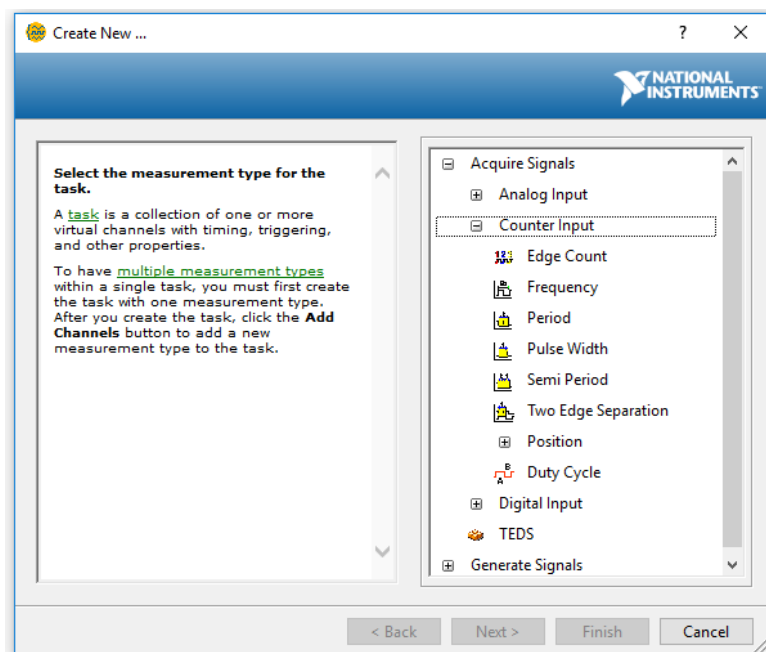
Hlavním účelem zaznamenávání dat z funkce *DAQ Assistant* je měření elektrických či fyzikálních jevů jako například napětí, proud, teplotu ale i tlak nebo zvuk. Měření probíhá ve spojení mezi modulem, softwarem a samotným počítačem, na kterém je vidět výstup. Ačkoliv je při každém sběru dat omezen vytvořeným programem, jeho hlavním cílem je v každém případě nasbírat data, provést analýzu a předvést výsledky. Tudiž hlavním cílem funkce *DAQ Assistant* je sesbírat data jak elektrická, tak i fyzikální, zdigitalizovat tyto signály a předvést výsledky v podobě grafů či jiných výstupů. (Halvorsen, 2016, s.3)

Samotný *DAQ Assistant* je možné najít ve funkcích blokového diagramu, následně v expresních funkcích pod polem input neboli pod vstupem.



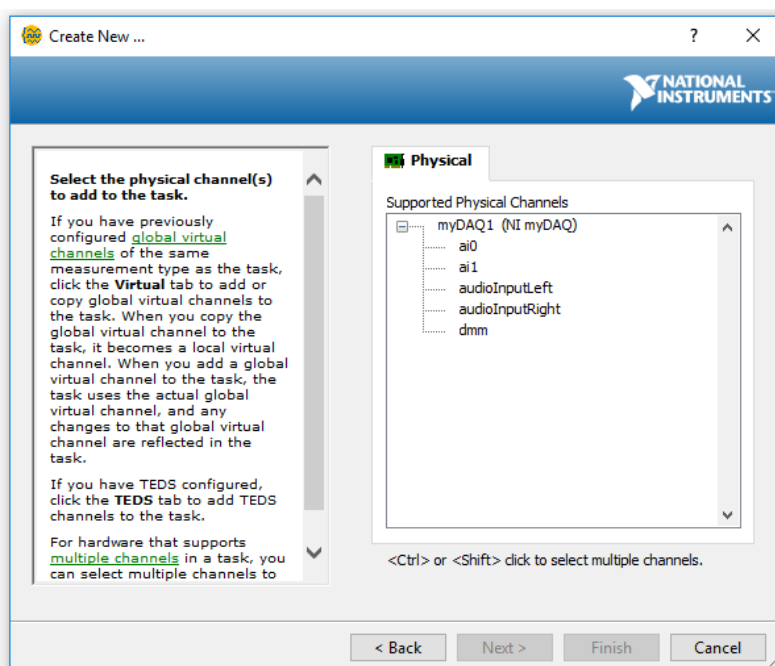
Obrázek 27 – DAQ Assistant – Funkce

Po vložení prvku *DAQ Assistant* do blokového diagramu, objeví se dialogové okno, které nabízí možné zpracování dat. Je možné si vybrat dvou hlavních možností, a to buď získávání signálů nebo generování signálů. Každá z těchto kategorií se dále rozvíjí. Získávání signálů se dělí na další čtyři podkategorie, a to na analogový vstup, čítačový vstup, digitální vstup a TEDS, což jsou speciální snímače (TEDS, 2018). Analogový vstup se dále dělí na napětí, teplotu, proud, odpor a další. Pro většinu měření stačí vstup napětí. Pokud je ale součástí NI vybavení i snímač, který program zná. Je možné přeskočit kalibrovací část a přímo si nastavit v programu například měření proudu. V čítačovém vstupu je možné nastavit počet okrajů, frekvenci, periodu nebo třeba i šířku pulzu. Takové nastavení je vhodné například pro měření Geiger-Müllerovým počítacem. Digitální vstup obsahuje linkový vstup nebo portový vstup. Porty se skládají z více linkových vstupů (Digital Lines, Ports, and Port Width, 2018).



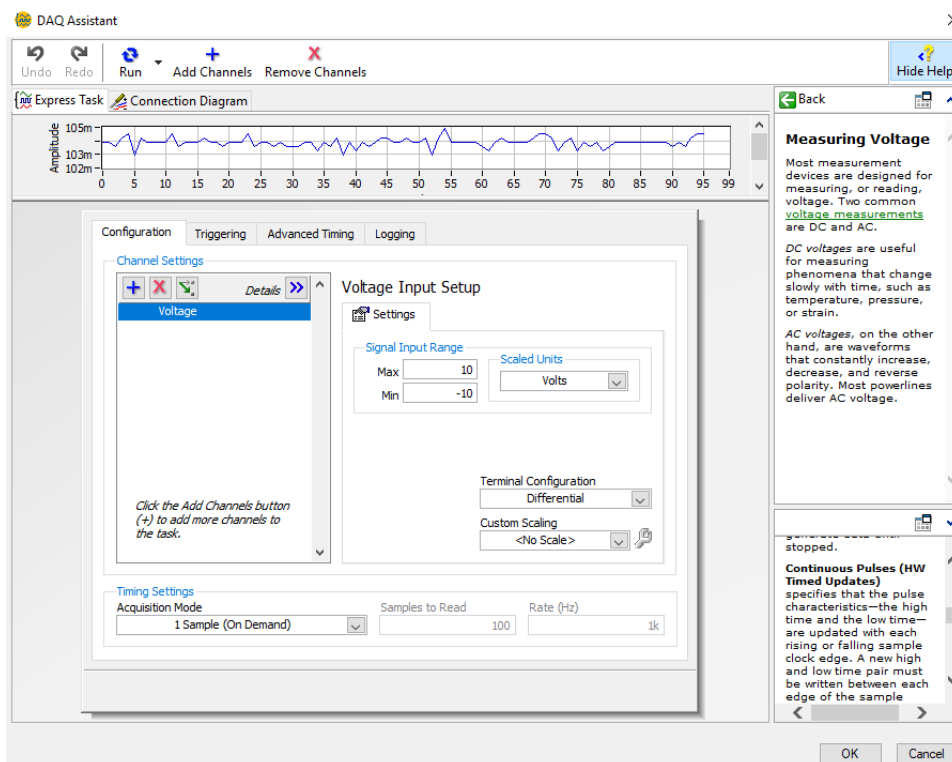
Obrázek 28 – DAQ Assistant – Vytvoření nového měření

Po vybrání vhodného vstupu, je třeba vybrat vhodný kanál, který se fyzicky nachází na zařízení NI myDAQ či Vernier myDAQ adaptéru. V případě zařízení NI myDAQ je možné vybrat z kanálu 0 nebo 1 a zvukového vstupu či výstupu. (MyDAQ Pinout, 2018)



Obrázek 29 – DAQ Assistant – Výběr fyzického kanálu

Po výběru jednoho z kanálů je možné nakonfigurovat vlastnosti kanálu. Ačkoliv je vstup omezen na ± 10 V, je možné nastavovat libovolné hodnoty. Dále je možné nakonfigurovat terminál na diferenciální nebo referenční měření a také je možné nastavit vlastní škálování, které může být jak lineární, tak i polynomiální. Mód získávání dat je možné nastavit na jeden vzorek na požádání, N vzorků na požádání nebo na kontinuální měření.

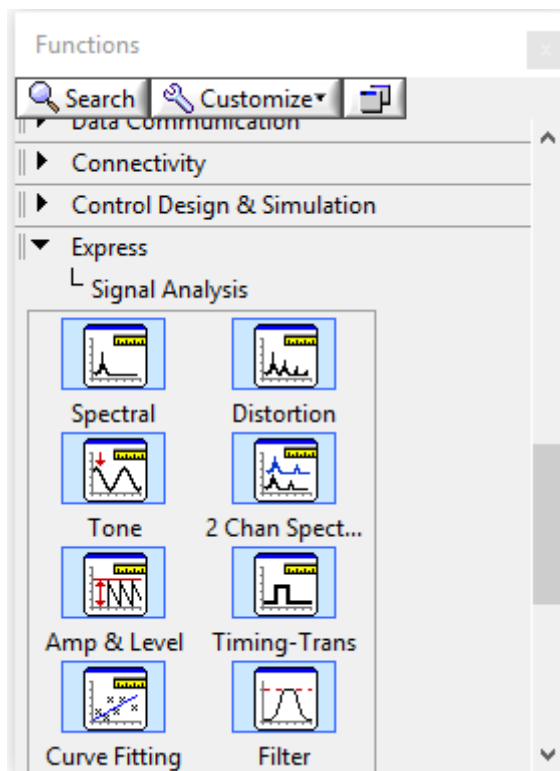


Obrázek 30 – DAQ Assistant – Nastavení vlastního měření

Po dokončení všech těchto nastavení je možné začít s vlastním měřením.

5.2.2 Filter

Další důležitou komponentou pro některé z programů je *Filter* a to z důvodu šumu z ampérmetru. *Filter* je obsažen ve funkcích blokového diagramu pod expresními prvky a dále pod analýzou signálu.



Obrázek 31 – Filter – Funkce

Po vložení komponenty *Filter* do blokového diagramu, se zobrazí dialogové okno, které bude nabízet řešení pro správné nastavení signálu.

Nejprve je třeba si vybrat z typu filtrování. Dohromady existuje pět možností, které může uživatel nastavit. *Lowpass*, který je nastavený defaultně, prochází nízké frekvence a tlumí vysoké frekvence. *Highpass*, opak *lowpass*, prochází vysoké frekvence a tlumí nízké frekvence. *Bandpass*, projde určitý pás frekvencí. Tento pás je možný nastavit ve specifikaci filtru, tzn. od jaké frekvence do jaké. *Bandstop*, tlumí určitý pás frekvenci, opět je možné nastavit šířku pásu ve specifikaci filtru.

Filtering Type

Bandstop

Filter Specifications

Low cutoff frequency (Hz)
100

High cutoff frequency (Hz)
400

Finite impulse response (FIR) filter

Taps
29

Infinite impulse response (IIR) filter

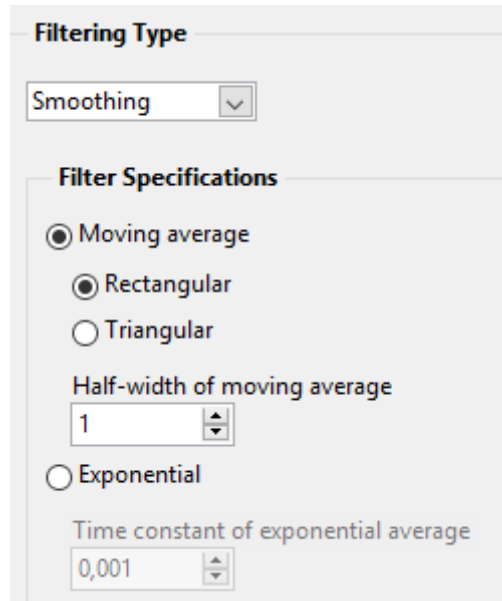
Topology
Bessel

Order
3

Obrázek 32 – Filter – Vlastnosti filtrování

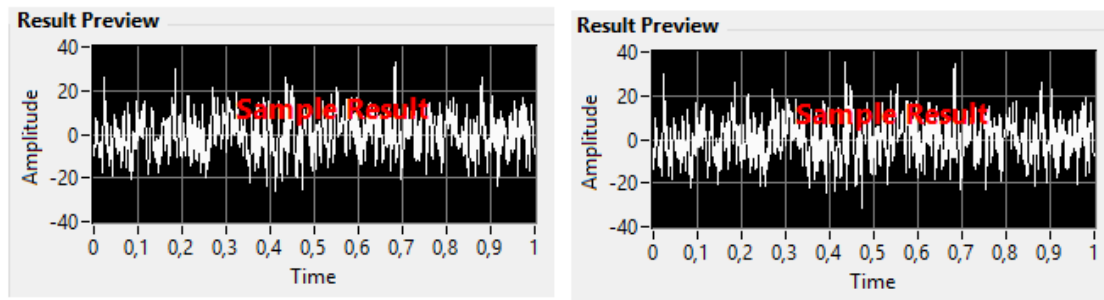
K těmto čtyřem typům filtrování je možné provést některá nastavení. Kromě oříznutí frekvence je zde ještě FIR (Finite impulse response) filtr a IIR (Infinite impulse response). FIR reprezentuje filtr, který závisí pouze na aktuálním a minulém vstupu. Vzhledem k tomu, že filtr nezávisí na minulých výstupech, impulsní odezva se v konečném čase sníží na nulu. FIR filtr vrací lineární odezvu, proto je dobré tento filtr použít pro data, které vyžadují linearitu. Taps, specifikuje konečné číslo koeficientů, které musí být větší než nula. Defaultním číslem je 29. IIR filtr je rekurzivní digitální filtr s nekonečnou impulsní odezvou. Filtry IIR pracují s aktuálními a minulými vstupními hodnotami a aktuálními a minulými výstupními hodnotami. Filtry IIR mohou dosáhnout stejné úrovně útlumu jako FIR filtry, ale s méně koeficienty. Z tohoto důvodu mohou být filtry IIR rychlejší a účinnější než filtry FIR.

Pro filtr *Smoothing*, je možné nastavit ve specifikacích pohyblivý průměr.



Obrázek 33 – Filter – Smoothing

Rozdíl mezi nastavením pro obdelníkový a pro trojúhelníkový pohyblivý průměr, je vidět na obrázku č. 33. (Filter Express VI, 2018)

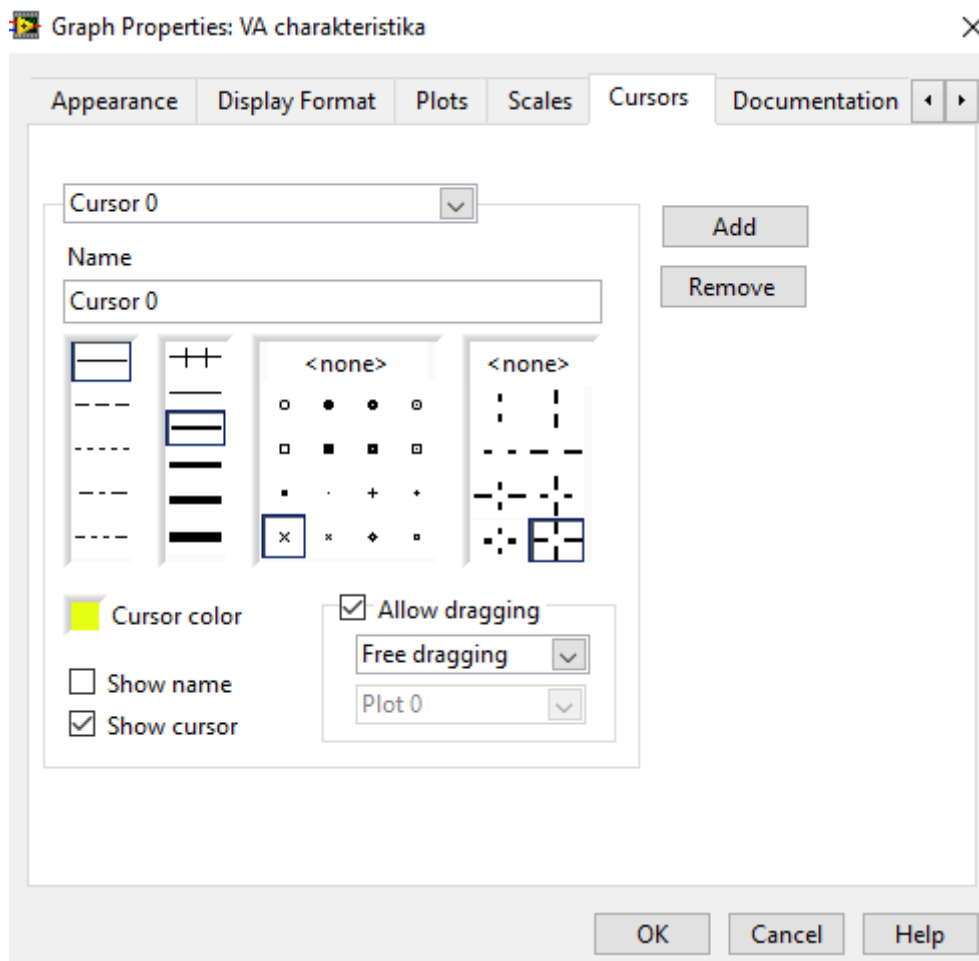


Obrázek 34 – Filter – Obdelníkový (vlevo), Trojúhelníkový (vpravo)

5.2.3 Build XY Graph

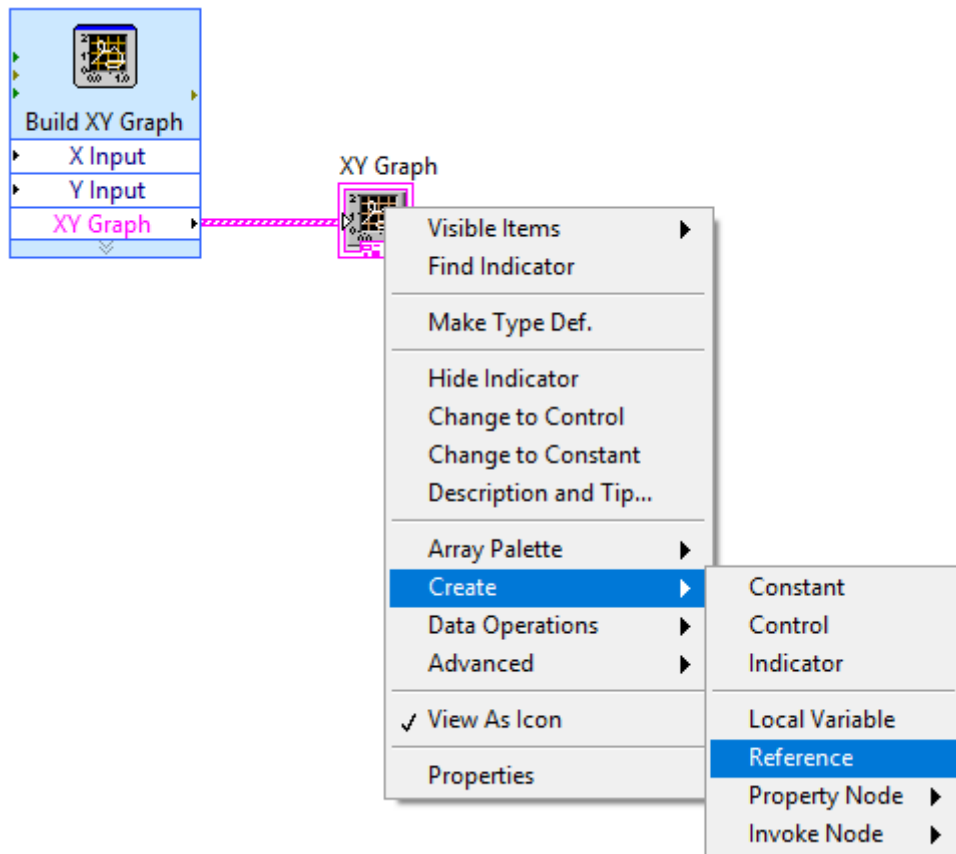
Dalším důležitým expresním prvkem LabVIEW je funkce *Build XY Graph*, která vytvoří graf, který je možné napojit na dva vstupy. *Build XY Graph* je možné najít na předním panelu pod Graph a je označen jako Ex XY Graph. Na rozdíl od funkcí *DAQ Assistant* a *Filter* se neobjeví žádné nastavovací okno. Po zobrazení prvku v blokovém diagramu je třeba nastavit Reset na False kvůli zaznamenávání všech hodnot najednou, a ne aby se zobrazovala vždy jen jedna hodnota pro X a Y. Hlavním důvodem, proč použít tento graf je možnost vytvoření kurzoru, který může uživatel využít pro odečítání hodnot. Kurzor je možné vytvořit v nastavení grafu, které je

možné otevřít přes vlastnosti grafu na předním panelu a následně v záložce *Cursors*. Zde se klikne na tlačítko Add a vyberou se příslušné čáry a ukazatele podle uživatelova zvážení. V tuto chvíli už kurzor funguje, ale neukazuje hodnoty pro X a pro Y. Tudíž uživatel by musel odhadnout souřadnice grafu podle os.



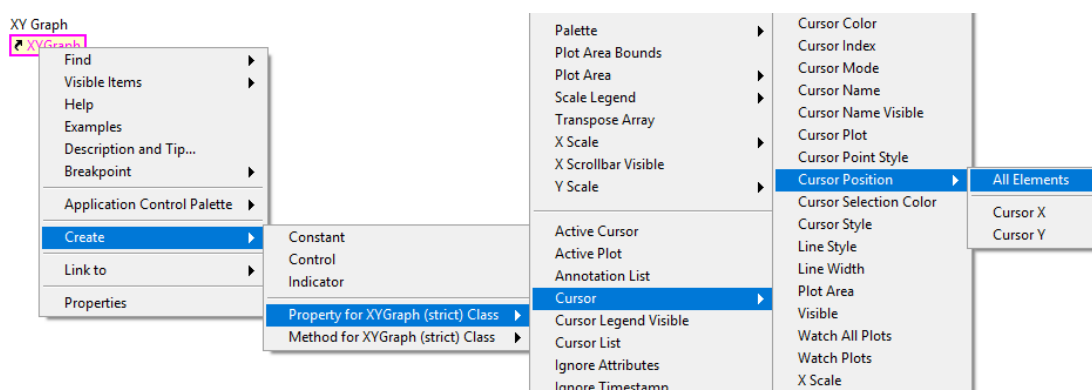
Obrázek 35 – Build XY Graph – Kurzor

Žádný z grafů v LabVIEW primárně neumožňuje odečítání souřadnic kurzorem a zobrazování souřadnic. Tato funkce se musí zvlášť naprogramovat. První se klikne pravým tlačítkem na výstup z *Build XY Graph*, na *XY Graph* a vybere se *Create → Reference*.



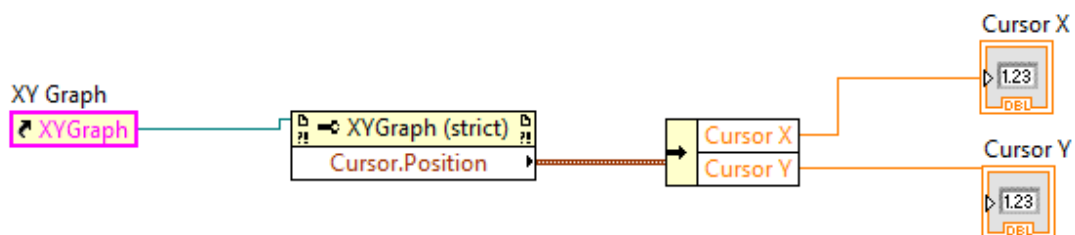
Obrázek 36 – Build XY Graph – Kurzor – Vytvoření reference

Vytvořenou referenci je nutné umístit do blokového diagramu. Na danou referenci se klikne pravím tlačítkem a vybere se Create → Property for XY Graph (strict) Class → Cursor → Cursor Position → All Elements. Pokud chce uživatel získat pouze pozici jedné souřadnice, může vybrat Cursor X nebo Cursor Y.



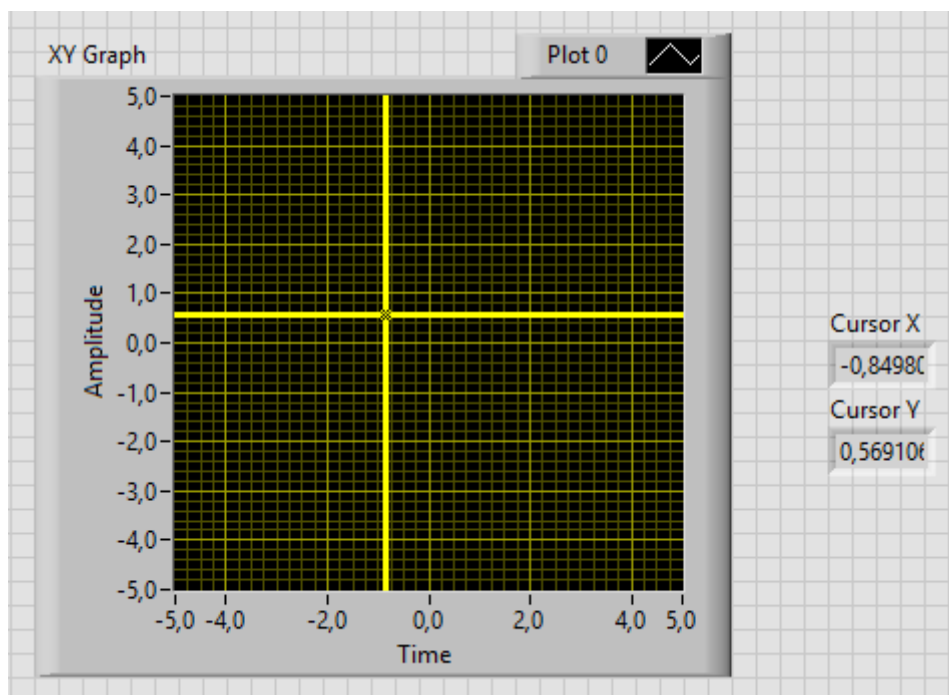
Obrázek 37 – Build XY Graph – Kurzor – Pozice

Pak je třeba správně propojit referenci s třídou. Dále se ve funkcích najde položka *Unbudle By Name*, která se nachází v Cluster, Class & Variant a roztáhne se směrem dolů, aby se vytvořili dva řádky pro X a pro Y. Po propojení bude v *Unbudle by Name* dvakrát Cursor X, to se dá změnit po kliknutí na prvek a nastavit, zda bude první X nebo Y. Nakonec se klikne pravým tlačítkem na *Unbundle by Name* a vybere se Create → Indicator pro každou ze souřadnic. Tím se vytvoří indikátor hodnot kurzoru.



Obrázek 38 – Build XY Graph – Kurzor – Unbundle by Name

V tuto chvíli je už tedy možné plně využívat funkce kurzoru a odečítat hodnoty z indikátorů na předním panelu.



Obrázek 39 – Build XY Graph – Kurzor – Odečítání hodnot

5.3 Měření absorpčního koeficientu záření beta

5.3.1 Úkol

Cílem měření je změřit absorpční koeficient μ pro záření beta s pomocí software NI LabVIEW. Měření bude založeno na Lambert-Beerově zákoně v kapitole 2.4. Fyzicky je postaveno na měření, které se měří s pomocí PC na katedře fyziky již delší dobu, ale změnou bude vyžití software NI LabVIEW, nového interface a senzoru radiace.

5.3.2 Popis měření

Pro naplnění úkolu je potřeba postupně změřit záření beta pro pozadí, pro puštěný zářič a záření beta stíněné měřeným materiálem. Uspořádání měření je možné vidět na obrázcích č. 40 a č. 48. Na obrázku č. 40 je vidět notebook s připojeným interface NI myDAQ a senzor radiace. Na obrázku č. 48 je vidět uspořádání, kde je zářič, měřený materiál (PVC) a detektor radiace. Při měření se nejprve měří pozadí, tzn. zapnutý detektor bez zářiče potom se přidá puštěný detektor a vystřídají se různé typy měřených materiálů. Pro každé z těchto tří měření se provede cyklus několika (například pěti) měření po předem nastavenou dobu. Neměří se tedy po jednu dlouhou dobu, ale po několik kratších intervalů, aby bylo vidět, že dopadající záření je náhodné. Kromě vlastního fyzického měření je potřeba vytvořit program v prostředí NI LabVIEW. Pro měření byl vytvořen program ve dvou variantách a bude důkladně popsán v kapitolách 5.3.4.

5.3.3 Pomůcky

K sestavení detektoru radiace je zapotřebí několik částí. Kromě řídicích prvků v podobě interface NI myDAQ a Vernier myDAQ adaptéru, je ještě zapotřebí stojánek, do kterého se upevní detektor radiace Vernier Radiation Monitor (VRM-BTD) (Vernier Radiation Monitor: Detektor radiace (α , β , γ), 2018). Dále je zapotřebí držák, do kterého se zasadí školní radioaktivní zářič ze soupravy GAMABETA a destičky ze stínícího materiálu. Tři destičky z materiálu PVC, papír, hliník.



Obrázek 40 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Uspořádání

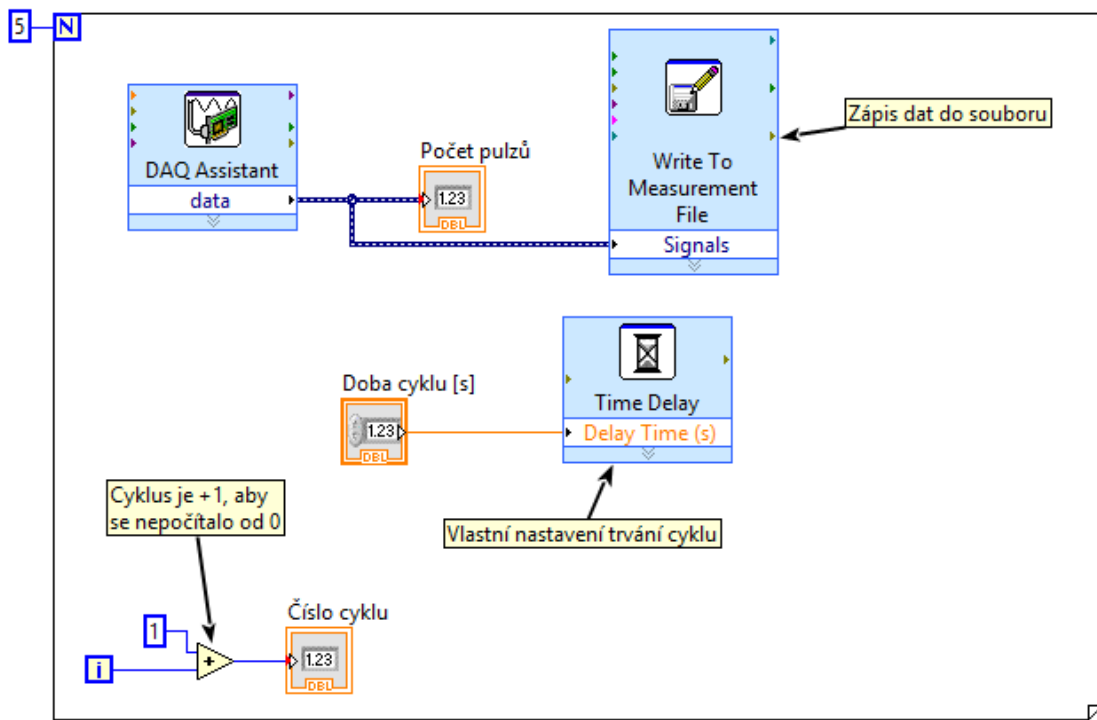
5.3.4 Popis programu

Byly vytvořeny a ozkoušeny dvě varianty, jednodušší a složitější. Jednoduchá verze má pouze několik LabVIEW komponent a většina z nich jsou expresní prvky pro zjednodušení. Tato verze funguje jako jednoduchý detektor pulzů za dobu cyklu, kde je možné nastavovat pouze délku cyklu.

Vlastní blokový diagram se skládá ze smyčky for, která zajistí opakovaný počet měření. Zde je napevno nastaveno pět cyklů. V levém dolním rohu je počítadlo cyklu, které se zobrazuje na předním panelu. Aby číslo cyklu nezačínalo od 0 připočítává se 1. Uprostřed blokového diagramu je komponenta *Time Delay*, kde lze přes indikátor s názvem Doba cyklu nastavit dobu jednoho cyklu měření.

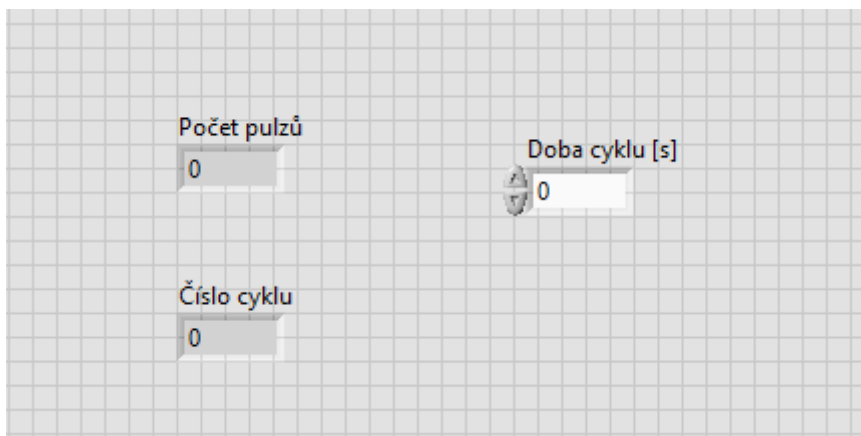
Nejdůležitější komponentou je *DAQ Assistant*, který je nastavený jako čítač. To znamená, že v konfiguraci se vybere postupně Counter Input → Edge Count. Při

tomto nastavení bude *DAQ Assistant* načítat celkový počet pulzů, které přišly za celý cyklus. Čítač připočítává pulzy za celou dobu měření, takže v indikátoru označeném počet pulzů se objevuje číslo, které postupně narůstá. Nárůst odpovídá počtu příšlých pulzů za předcházející cyklus. Takže na závěr se objeví v indikátoru počet pulzů za celou dobu měření. Hodnoty z indikátoru se zaznamenávají také v komponentě *Write to Measurement File*.



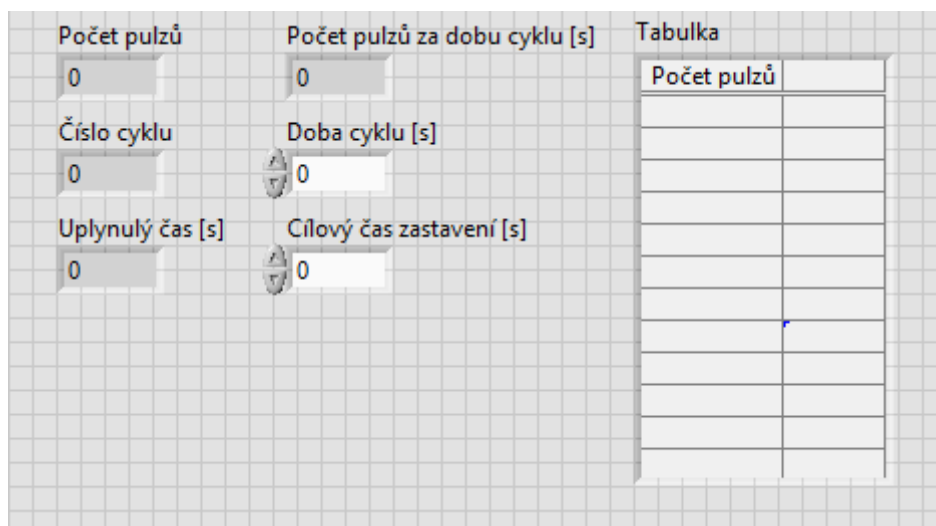
Obrázek 41 – Měření absorpčního koeficientu záření beta- Jednoduchá verze - Kód

Přední panel má pouze tři komponenty. Dva indikátory, jeden na zobrazení celkového počtu pulzů a druhý na zobrazení čísla cyklu. Třetím prvkem je numerický ovladač, kterým je nastavovaná doba cyklu v sekundách.

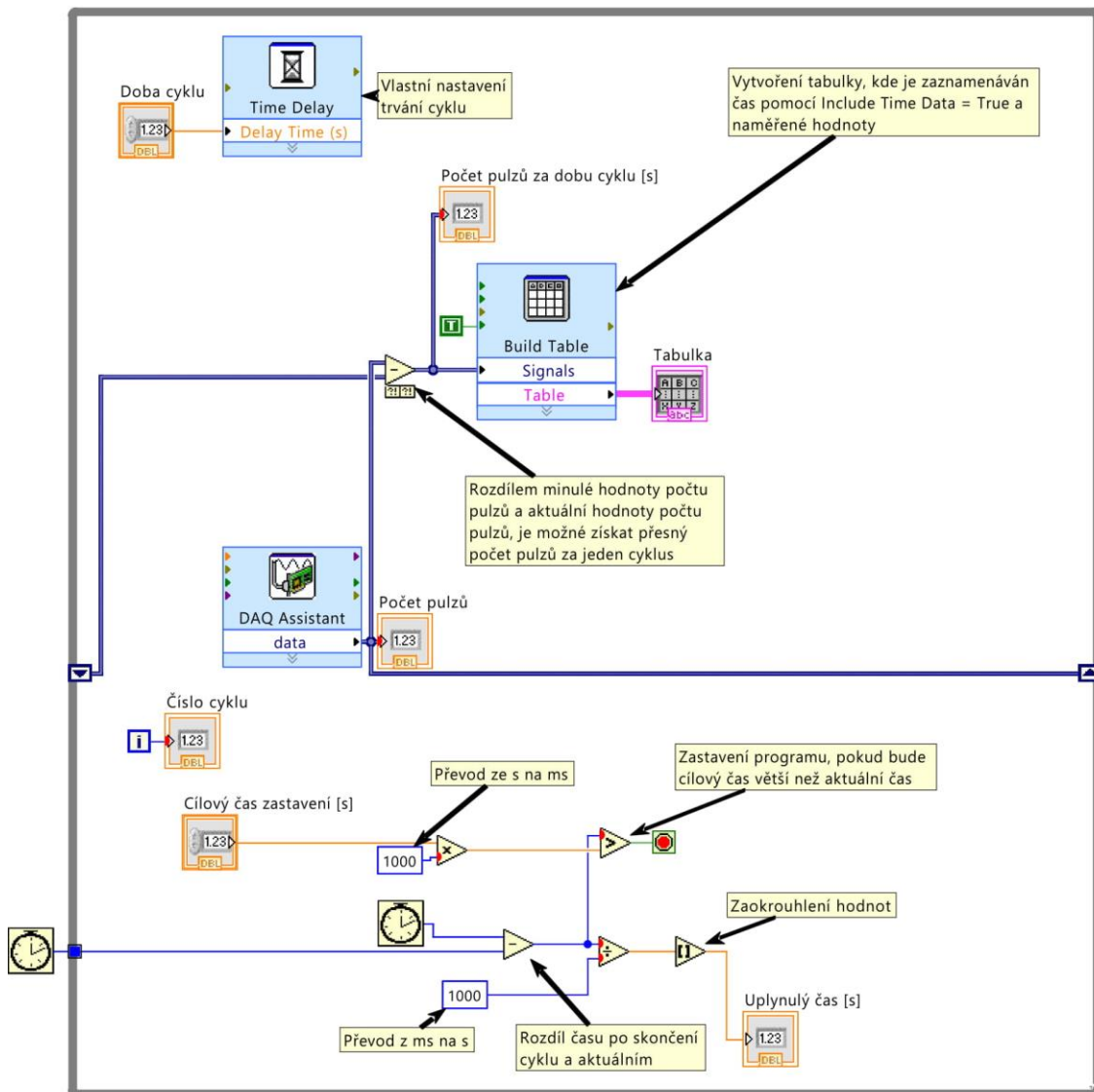


Obrázek 42 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Jednoduchá verze – Přední panel

Složitější verze obsahuje stejné komponenty, jako jednoduchá verze a je zde několik komponent navíc. Přibyl indikátor uplynulého času, indikátor počtu pulzů za dobu jednoho cyklu a numerický ovladač pro nastavení cílového času zastavení. Pro záznam dat je zde použita tabulka, která za každý jeden cyklus připíše příbytek počtu pulzů a do korespondujícího řádku i čas.



Obrázek 43 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Složitá verze – Přední panel



Obrázek 44 - Měření absorpčního koeficientu záření beta – Složitá verze – kód

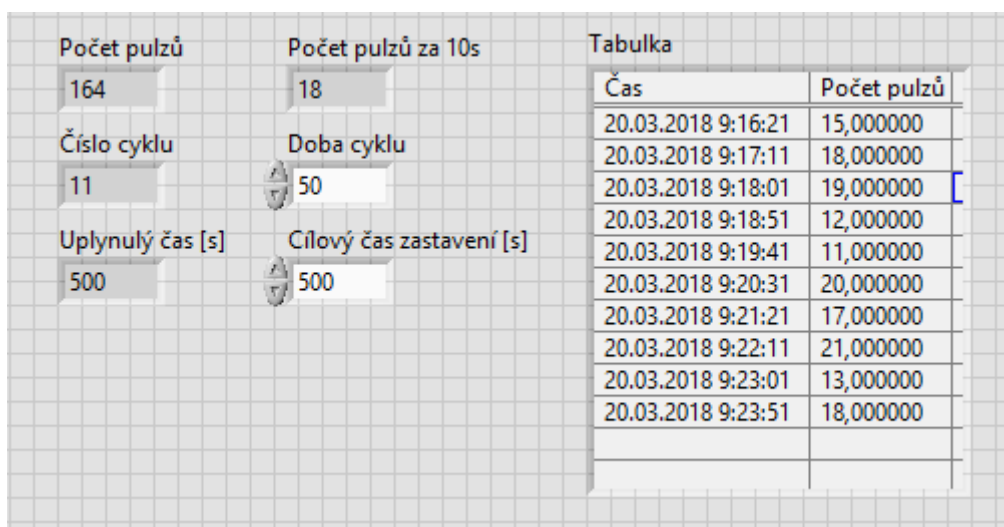
Prvním rozdílem oproti jednoduché verzi je použití cyklu while, který byl použit, aby bylo možné použít indikátoru nastavení *Cílového času zastavení*. Ve spodní části blokového diagramu je nastavení celkového *Cílového času zastavení*, tento čas se nastavuje v sekundách, v programu se přepočítá na potřebné milisekundy. Tato celková doba se porovnává s aktuálním časem, který se získává ze dvou časovačů *Tick Count (ms)*. Pokud aktuální čas dosáhne celkové doby, je program ukončen. Indikátor *Uplynulý čas* ukazuje dobu od spuštění měření. Vlevo nahoře je nastavení délky cyklu.

Hlavním rozdílem oproti jednoduché verzi je, že se průběžně odečítá počet pulzů z předcházejícího měření, takže se zobrazuje skutečný počet detekovaných částic během prošlého cyklu. Odečet je zařízen pomocí *Shift Register* (modrá lomená čára přibližně uprostřed cyklu for, která je na cyklu s for připojena malými trojúhelníčky).

Uprostřed blokového diagramu se nachází komponenta Build Table, která vytváří tabulku, která je zobrazována na předním panelu. Do tabulky přibývají řádky s počtem pulzů za předcházející cyklus a čas. Data lze zkopírovat do jiných programů.

5.3.5 Vzorové měření

Ke vzorovému měření je použita složitější verze. Prvním bodem měření je měření pozadí. Z dvaceti měření bylo zjištěno, že průměrný počet pulzů na pozadí za 50 sekund je 15,3.



Obrázek 45 – Měření absorpčního koeficientu záření beta– Měření pozadí č.1

Počet pulzů	Počet pulzů za dobu cyklu [s]	Tabulka
142	19	
Číslo cyklu	Doba cyklu	Čas
10	50	Počet pulzů
Uplynulý čas [s]	Cílový čas zastavení [s]	20.03.2018 9:29:14
500	500	20.03.2018 9:30:04
		20.03.2018 9:30:54
		20.03.2018 9:31:44
		20.03.2018 9:32:34
		20.03.2018 9:33:24
		20.03.2018 9:34:14
		20.03.2018 9:35:04
		20.03.2018 9:35:54
		20.03.2018 9:36:44

Obrázek 46 - Měření absorpčního koeficientu záření beta – Měření pozadí č.2

Druhým bodem měření, je zjištění počtu částic ze samostatného zářiče. Je důležité, aby se za dobu celého měření nehnulo s podložkou, v které je usazen zářič a pohlcující materiál. Z deseti měření bylo zjištěno, že průměrný počet částic vycházejících ze zářiče je 196,4.

Počet pulzů	Počet pulzů za dobu cyklu [s]	Tabulka
1964	217	
Číslo cyklu	Doba cyklu	Čas
10	50	Počet pulzů
Uplynulý čas [s]	Cílový čas zastavení [s]	20.03.2018 9:48:52
500	500	20.03.2018 9:49:42
		20.03.2018 9:50:32
		20.03.2018 9:51:22
		20.03.2018 9:52:12
		20.03.2018 9:53:02
		20.03.2018 9:53:52
		20.03.2018 9:54:42
		20.03.2018 9:55:32
		20.03.2018 9:56:22

Obrázek 47 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Měření zářiče

Po změření těchto dvou částí se lze přesunout k měření s pomocí pohlcovacích materiálů, které jsou z papíru, hliníku nebo PVC.



Obrázek 48 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Uspořádání

Prvním takovým materiálem je papír o tloušťce $d = 0,417$ mm. Průměrná hodnota počtu pulzů za jeden cyklus je 175,63.

Počet pulzů	Počet pulzů za dobu cyklu [s]	Tabulka
1932	161	Čas
Číslo cyklu	Doba cyklu	Počet pulzů
11	50	20.03.2018 9:59:39
Uplynulý čas [s]	Cílový čas zastavení [s]	20.03.2018 10:00:29
550	500	20.03.2018 10:01:19
		20.03.2018 10:02:09
		20.03.2018 10:02:59
		20.03.2018 10:03:49
		20.03.2018 10:04:39
		20.03.2018 10:05:29
		20.03.2018 10:06:19
		20.03.2018 10:07:09
		20.03.2018 10:07:59

Obrázek 49 – Detektor radiace – Papír

Dalším materiálem je hliník o tloušťce $d = 0,954$ mm, přes který bylo v deseti měřeních naměřeno průměrně 68,5 pulzů za jeden cyklus.

Počet pulzů	Počet pulzů za dobu cyklu [s]	Tabulka	
685	64		
Číslo cyklu	Doba cyklu		
10	50	Čas	Počet pulzů
Uplynulý čas [s]	Cílový čas zastavení [s]	20.03.2018 10:10:43	70,000000
500	500	20.03.2018 10:11:33	60,000000
		20.03.2018 10:12:23	79,000000
		20.03.2018 10:13:13	64,000000
		20.03.2018 10:14:03	79,000000
		20.03.2018 10:14:53	67,000000
		20.03.2018 10:15:43	63,000000
		20.03.2018 10:16:33	58,000000
		20.03.2018 10:17:23	81,000000
		20.03.2018 10:18:13	64,000000

Obrázek 50 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – Hliník

Posledním materiálem je PVC o tloušťce $d = 2,019$ mm. Z deseti měření bylo zjištěno, že je průměrná hodnota 41 pulzů za jeden cyklus.

Počet pulzů	Počet pulzů za dobu cyklu [s]	Tabulka	
410	46		
Číslo cyklu	Doba cyklu		
10	50	Čas	Počet pulzů
Uplynulý čas [s]	Cílový čas zastavení [s]	20.03.2018 10:21:55	42,000000
500	500	20.03.2018 10:22:45	40,000000
		20.03.2018 10:23:35	41,000000
		20.03.2018 10:24:25	45,000000
		20.03.2018 10:25:15	43,000000
		20.03.2018 10:26:05	44,000000
		20.03.2018 10:26:55	38,000000
		20.03.2018 10:27:45	43,000000
		20.03.2018 10:28:35	28,000000
		20.03.2018 10:29:25	46,000000

Obrázek 51 – Měření absorpčního koeficientu záření beta – PVC

5.3.6 Zpracování dat

Pro výpočet absorpčního koeficientu μ je třeba použít vzorec č. 8. Pro korekci na záření pozadí lze tento vzorec upravit do následující podoby

$$\mu = \frac{1}{d} \ln \frac{(N_0 - N_p)}{(N - N_p)}, \quad (38)$$

kde d značí tloušťku materiálu, N počet částic, které prošly materiálem, N_p počet částic na pozadí a N_0 počet částic vyslaných zářičem.

Do všech následujících výpočtů je dosazena hodnota $N_p = 16,4$.

Pro papír vyšla průměrná hodnota pulzů $N = 175,63$, zářič vyslal $N_0=196,4$ pulzů a tloušťka papíru je $d=0,417\text{mm}$. Po dosazení do vzorce vznikne tento výpočet

$$\mu = \frac{1}{d_{\text{papír}}} \ln \frac{(N_0 - N_p)}{(N - N_p)} = \frac{1}{(4,17 \cdot 10^{-4})} \ln \frac{(196,4 - 16,4)}{(175,63 - 16,4)} = 294,02 \text{ m}^{-1}$$

(39)

Pro hliník vyšla průměrná hodnota pulzů $N=68,5$ a tloušťka $d = 0,954$. Pro výpočet je použit stejný vzorec

$$\mu = \frac{1}{d_{\text{hliník}}} \ln \frac{(N_0 - N_p)}{(N - N_p)} = \frac{1}{(9,54 \cdot 10^{-4})} \ln \frac{(196,4 - 16,4)}{(68,5 - 16,4)} = 1299,57 \text{ m}^{-1}$$

(40)

Stejným způsobem je proveden výpočet pro PVC, kde bylo průměrně naměřeno $N=41$.

$$\mu = \frac{1}{d_{\text{PVC}}} \ln \frac{(N_0 - N_p)}{(N - N_p)} = \frac{1}{(2,02 \cdot 10^{-3})} \ln \frac{(196,4 - 16,4)}{(41 - 16,4)} = 985,74 \text{ m}^{-1}$$

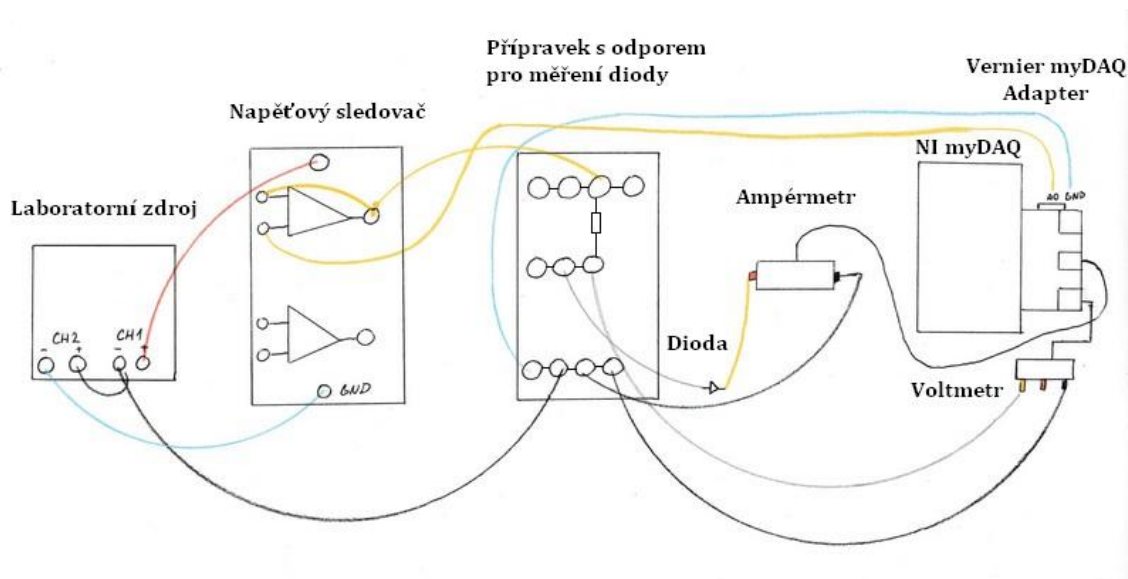
(41)

5.4 Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu)

5.4.1 Úkol

Naměřit data pro voltampérovou charakteristiku diody a sestavit z nich graf. U tohoto měření bude napětí na diodě postupně navyšováno ze záporných hodnot do kladných hodnot a toto navyšování bude řídit program v LabVIEW.

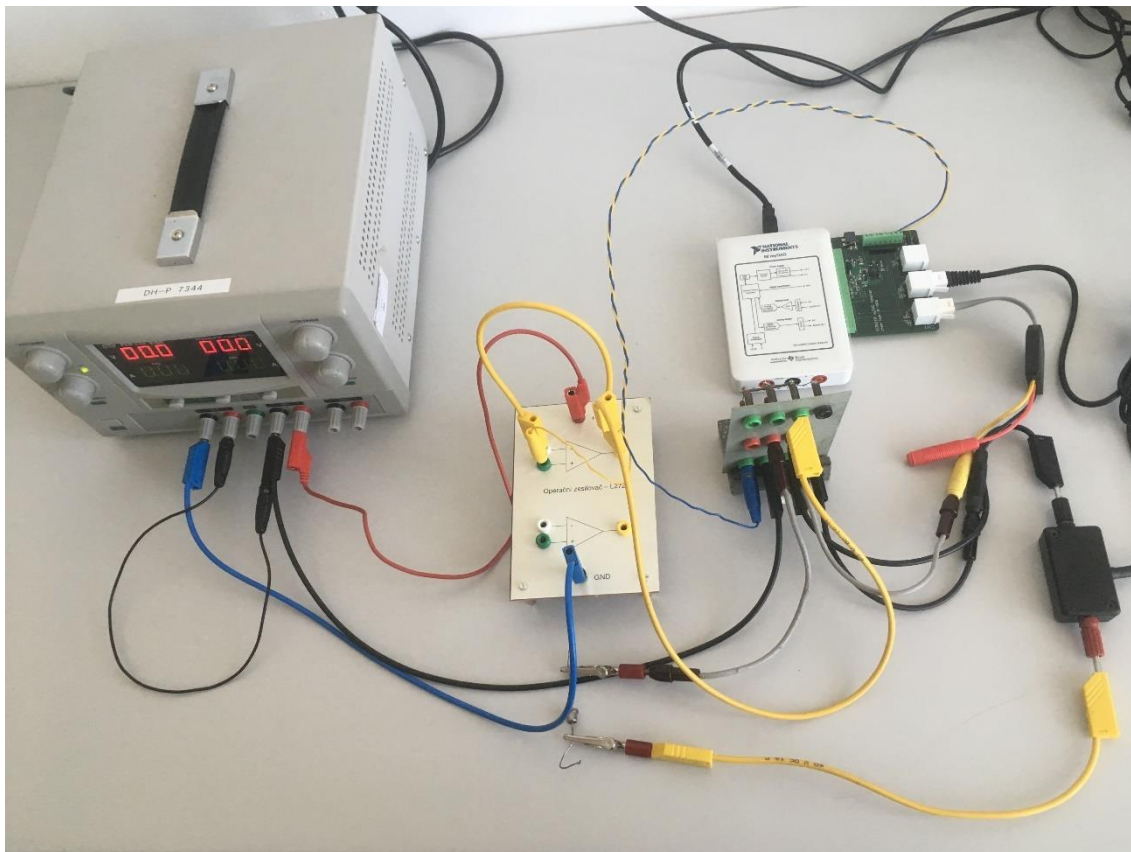
5.4.2 Popis měření



Obrázek 52 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Schéma zapojení

Na obrázku č. 52 je jednoduché schéma ukazující fyzické uspořádání experimentu. Praktické provedení je na obrázku č. 53. Ústředním prvkem schématu je přípravek pro měření diody, který byl na Katedře fyziky UHK již dříve používán pro takováto měření. Hodnota odporu je 222 ohmů a v principu slouží jako ochranný odpor pro měřenou diodu. Mezi prostřední a spodní řádky zdířek na přípravku je připojena dioda spolu s ampérmetrem (senzorem proudu). Voltmetr (senzor napětí) měří napětí na diodě a zároveň senzoru proudu, kde se však předpokládá zanedbatelný úbytek napětí. Ampérmetr i voltmetr jsou připojeny do Vernier myDAQ adaptéru, který je zapojen do interface NI myDAQ.

Napětí je získáváno z laboratorního zdroje, a to od záporných do kladných hodnot. Velikost napětí se řídí výstupním napětím z interface NI myDAQ a získáváno přes napěťový sledovač, pro který byl použit speciální přípravek se dvěma operačními zesilovači.



Obrázek 53 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) - Zapojení

5.4.3 Pomůcky

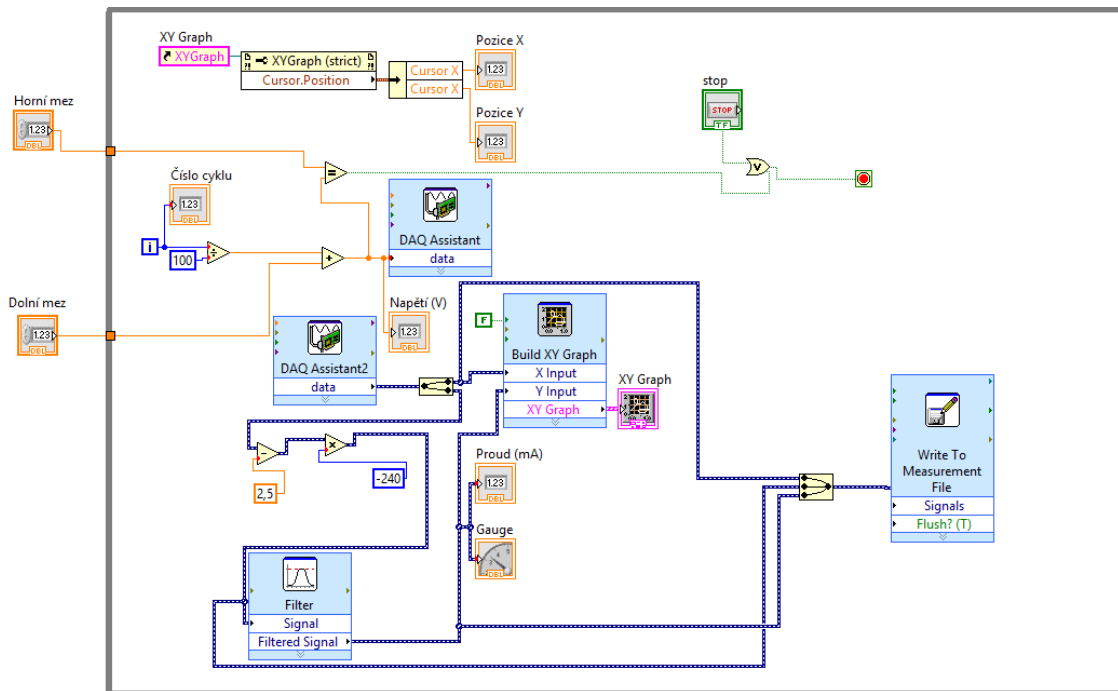
K úloze s názvem Voltampérová charakteristika diody s DA převodníkem a senzorem proudu jsou potřeba následující pomůcky. Dvoukanálový laboratorní zdroj, přípravek se dvěma výkonovými operačními zesilovači, přípravek pro měření diod s ochranným rezistorem, měřená dioda, senzor proudu (Vernier Current Probe DCP-BTA) (Ampérmetr, 2018), redukce ze tří banánek na BT konektor pro měření napětí a interface NI myDAQ spolu s Vernier myDAQ adaptérem.

5.4.4 Postup měření

Nejprve je nutné provést samotné zapojení obvodu, které je možné provést podle popisu v kapitole 5.4.2. Pro tento typ měření byl vytvořen jeden program. Tato verze se skládá z několika expresních prvků, a to ze dvou DAQ Asistentů, XY grafu, filtru a zápisu dat do souboru.

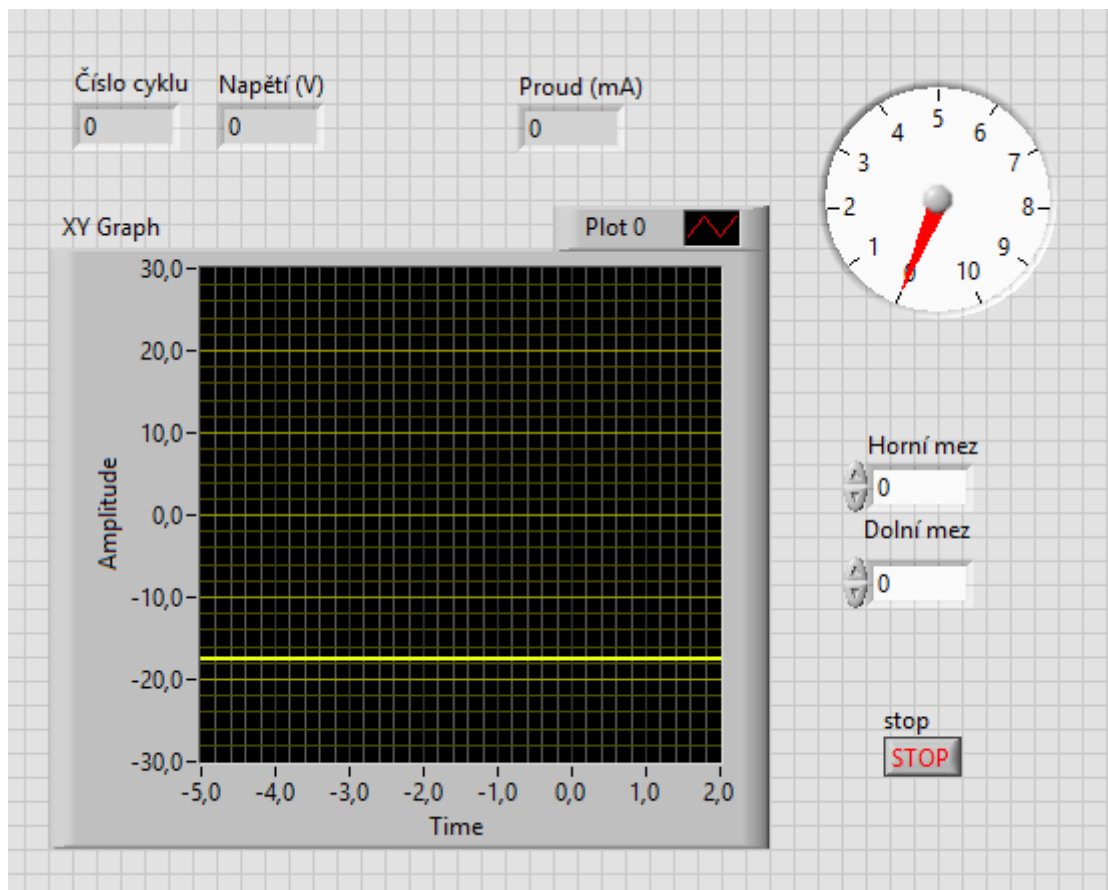
DAQ Assistant 1 nastavuje výstupní napětí na DA převodníku NI myDAQ. Toto výstupní napětí bude postupně narůstat. Jeho hodnota je odvozená od čísla cyklu. Pokud je číslo cyklu vyděleno 100 a odečteno od tohoto výsledku hodnota dolní meze, bude měření probíhat od této hodnoty po 0,01 V. Horní mez je nastavená pomocí numerického ovladače, kde se nastavuje maximální napětí. Při dosažení této hodnoty je cyklus *while* ukončen.

DAQ Assistant 2, sloužící k měření, má dvě výstupní napětí. První napětí je napětí na diodě, které se přímo zaznamenává do XY grafu a do souboru. Druhé napětí je výstupní napětí ze senzoru proudu, a to je potřeba přepočítat na hodnotu proudu, které se potom přefiltruje, a nakonec zaznamenává do XY grafu a do souboru. V kódu byl použit prvek *Filter*, aby se snížil šum, který se často vyskytuje na výstupu senzoru proudu. *Filter* byl nastaven na *Smoothing* (automatické vyhlazování šumu v signálu). Vlevo nahoře jsou prvky pro vytvoření kurzoru v grafu, který je ale pro toto měření deaktivován.



Obrázek 54 –VA charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) – Kód

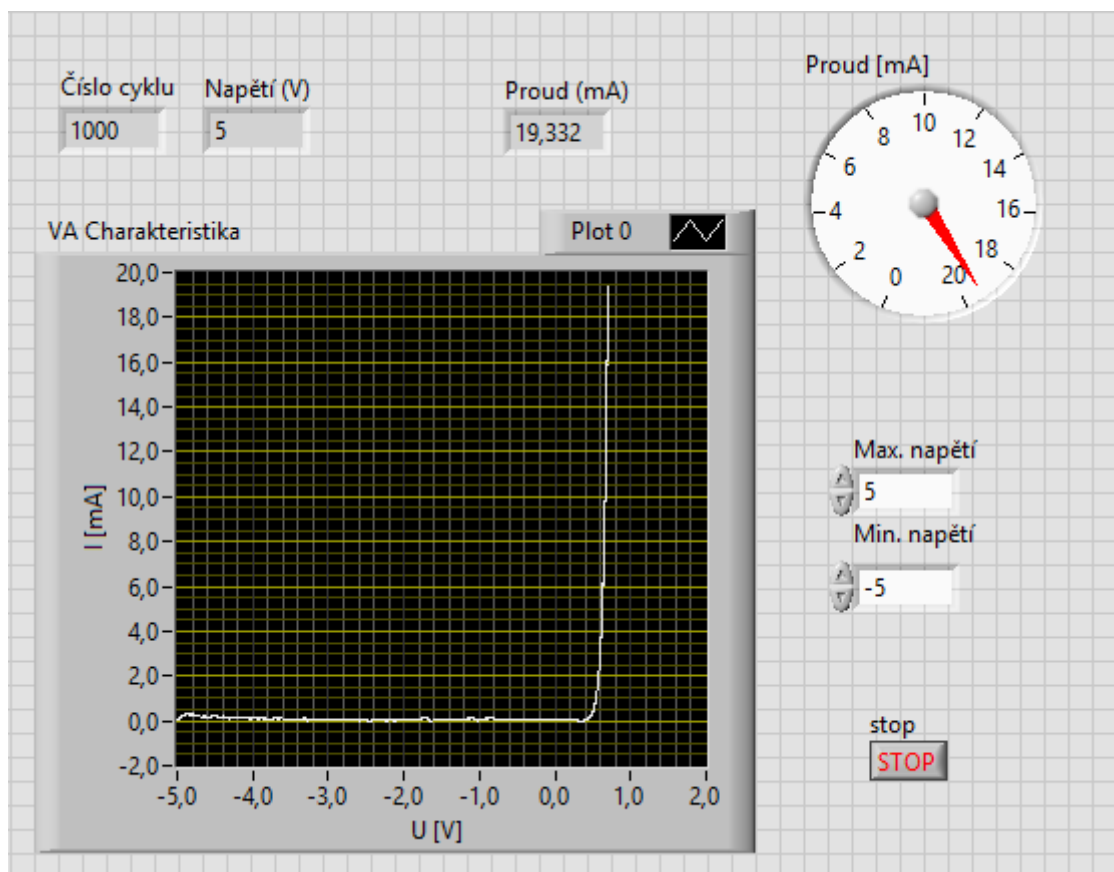
Přední panel je celkem jednoduchý. Nejdůležitějším prvkem je výstup z XY grafu. Dalším výstupem jsou číselné indikátory pro číslo cyklu, napětí a proud. Horní a dolní mez nastavují rozsah napětí přiváděného na přípravek s odporem a diodou. Program je možné zastavit také tlačítkem stop.



Obrázek 55 - VA charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) - Přední panel

5.4.5 Zpracování dat

V této verzi programu není potřeba uživatele, v tom smyslu, že by měl sbírat postupně hodnoty a zaznamenávat je ručně. Jediné, co uživatel musí zadat, jsou meze, tzn. maximální napětí a minimální napětí. Po spuštění programu se postupně vytvoří graf a naměřené hodnoty se uloží do souboru. V tomto souboru jsou hodnoty napětí a proudu a je přiložen na CD. Na posledním obrázku č. 55 je zobrazený průběh měření a výsledný graf.



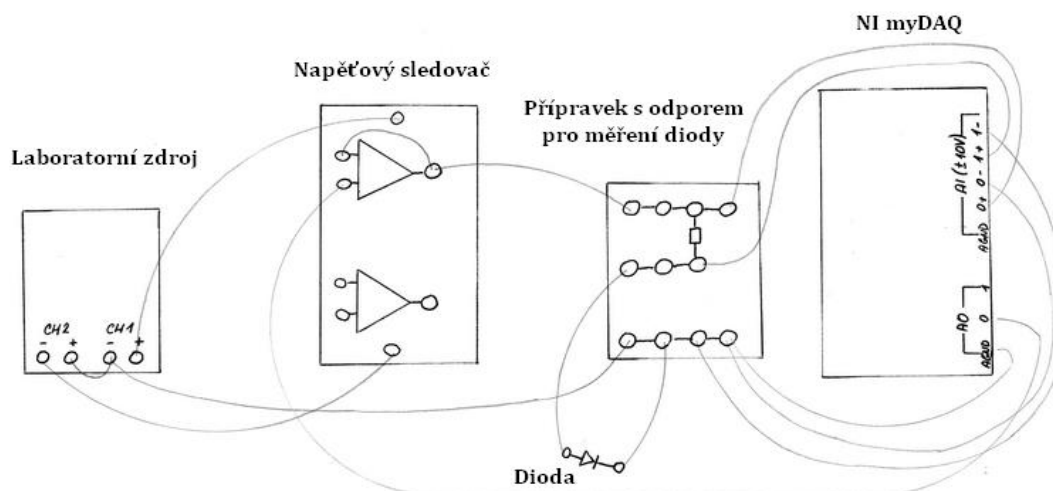
Obrázek 56 –VA charakteristika (DA převodník, senzor proudu) – Graf

5.5 Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí)

5.5.1 Úkol

Naměřit data pro voltampérovou charakteristiku diody a sestavit z nich graf. U tohoto měření bude napětí na diodě postupně navyšováno ze záporných hodnot do kladných hodnot a toho navyšování bude řídit program v LabVIEW. Na rozdíl od kapitoly 5.4 zde bude měřeno napětí na odporu a diodě zároveň a napětí jen na diodě. A proud bude dopočítáván z rozdílu napětí.

5.5.2 Popis měření



Obrázek 57 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) - Schéma

Na obrázku č. 57 je jednoduché schéma ukazující fyzické uspořádání experimentu. Ústředním prvkem schématu je opět přípravek pro měření diody, který byl na Katedře fyziky UHK již dříve používán pro podobná měření. Hodnota odporu je 222 ohmů a pro toto měření slouží nejen jako ochranný odpor, ale využije se i pro stanovení proudu, který teče diodou. Mezi prostředními a spodními řádky zdířek na přípravku je připojena měřená dioda. Protože se nepoužívají senzory s konektorem BT, není potřeba Vernier myDAQ adaptér, pouze se použije interface NI myDAQ se standartní svorkovnicí. Z ní je vyvedeno jednak řídicí napětí z AO 0 do napěťového sledovače. Do interface NI myDAQ je dále přivedeno napětí U_1 z napěťového

sledovače (AI 0) a druhé napětí U_2 z diody (AI 1). Napětí je získáváno z laboratorního zdroje a to od záporných do kladných hodnot. Velikost napětí se řídí výstupním napětím z interface NI myDAQ a získáváno přes napěťový sledovač, pro který byl použit speciální přípravek se dvěma operačními zesilovači.

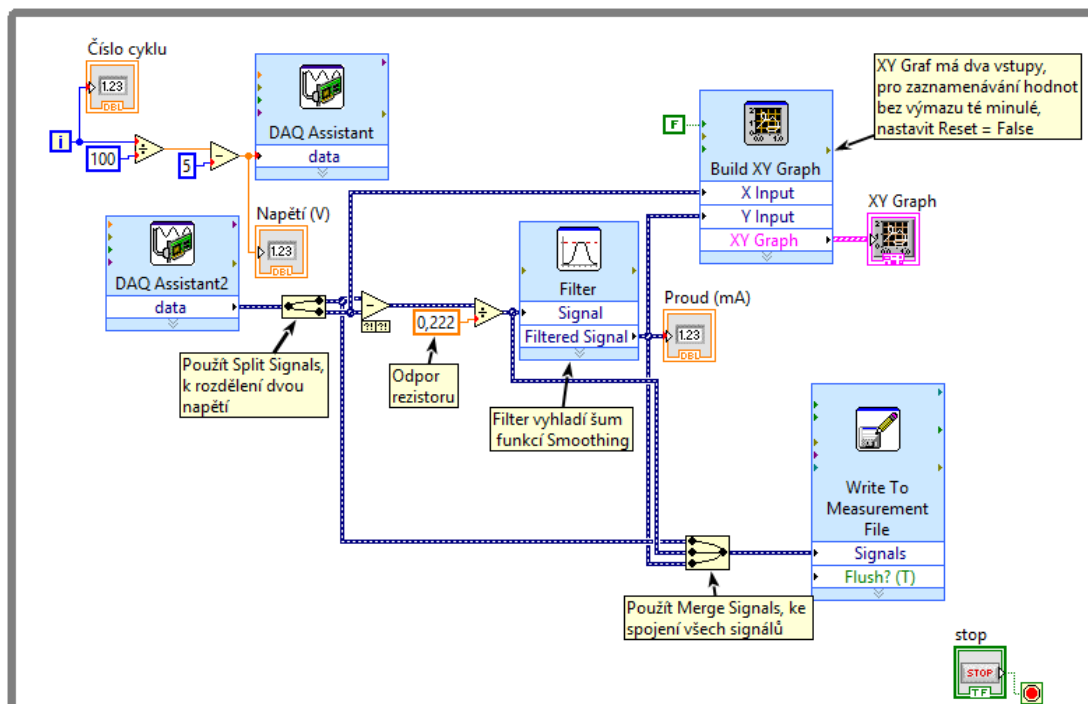
5.5.3 Pomůcky

K zapojení úlohy s názvem Voltampérová charakteristika diody s DA převodníkem a kde se měří dvě napětí jsou potřeba následující pomůcky. Laboratorní zdroj, přípravek se dvěma výkonovými operačními zesilovači, přípravek pro měření diod s ochranným rezistorem, měřená dioda a NI myDAQ.

5.5.4 Postup měření

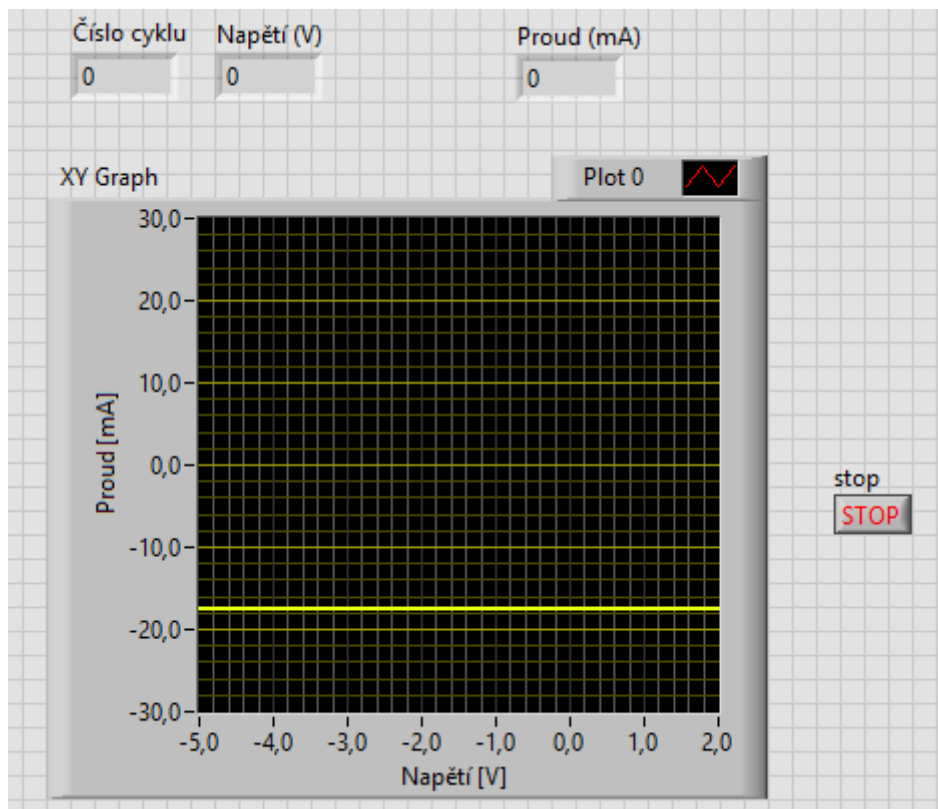
Před začátkem měření je třeba propojit všechny součástky popsané v kapitole 5.5.3 a to dle popisu v kapitole 5.5.2.

Pro tento typ měření byly vytvořeny dva programy. Jednoduchá verze se skládá z několika expresních prvků, a to ze dvou DAQ Asistentů, XY grafu, filtru a zápisu dat do souboru. *DAQ Assistant 1* ovlivňuje jaký rozsah napětí bude nastavováno na odporu a diodě. Princip je stejný jako v kapitole 5.4.4. V jednoduché verzi není nastavena horní hranice. Předpokládá se ale, že uživatel měření vypne při vhodném maximálním napětí, např. při 5 V. *DAQ Assistant 2* má dvě výstupní napětí U_1 a U_2 . Tato dvě napětí se musí rozdělit, odečíst od sebe a výsledná hodnota napětí se vydělí odporem rezistoru. Tímto postupem uživatel získá hodnotu Y pro proud. Naměřená data jsou vidět buď v XY grafu nebo v souboru. Zatímco hodnota X je napětí U_2 (napětí na diodě).



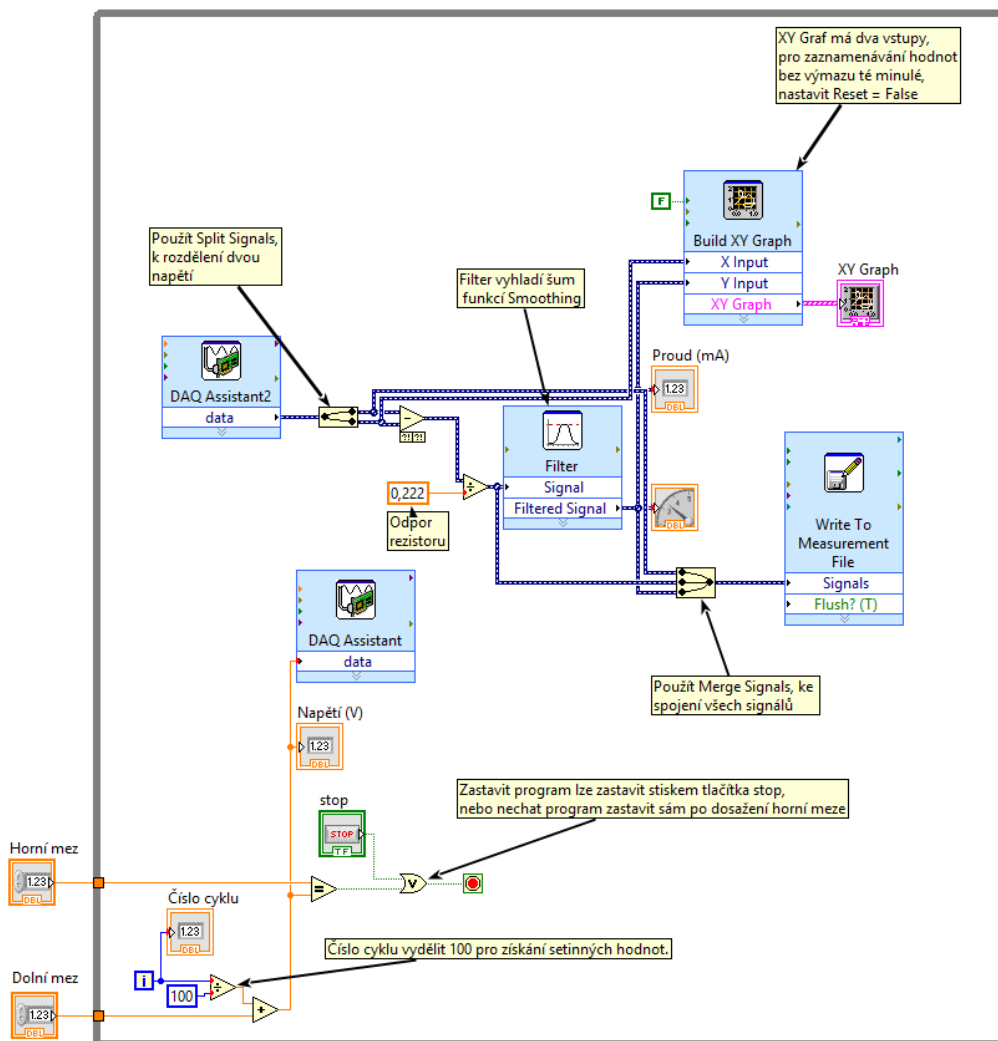
Obrázek 58 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Jednoduchá verze – Kód

Přední panel je celkem jednoduchý. Nejdůležitějším prvkem je výstup z XY grafu. Dalším výstupem jsou číselné indikátory pro číslo cyklu, napětí a proud.



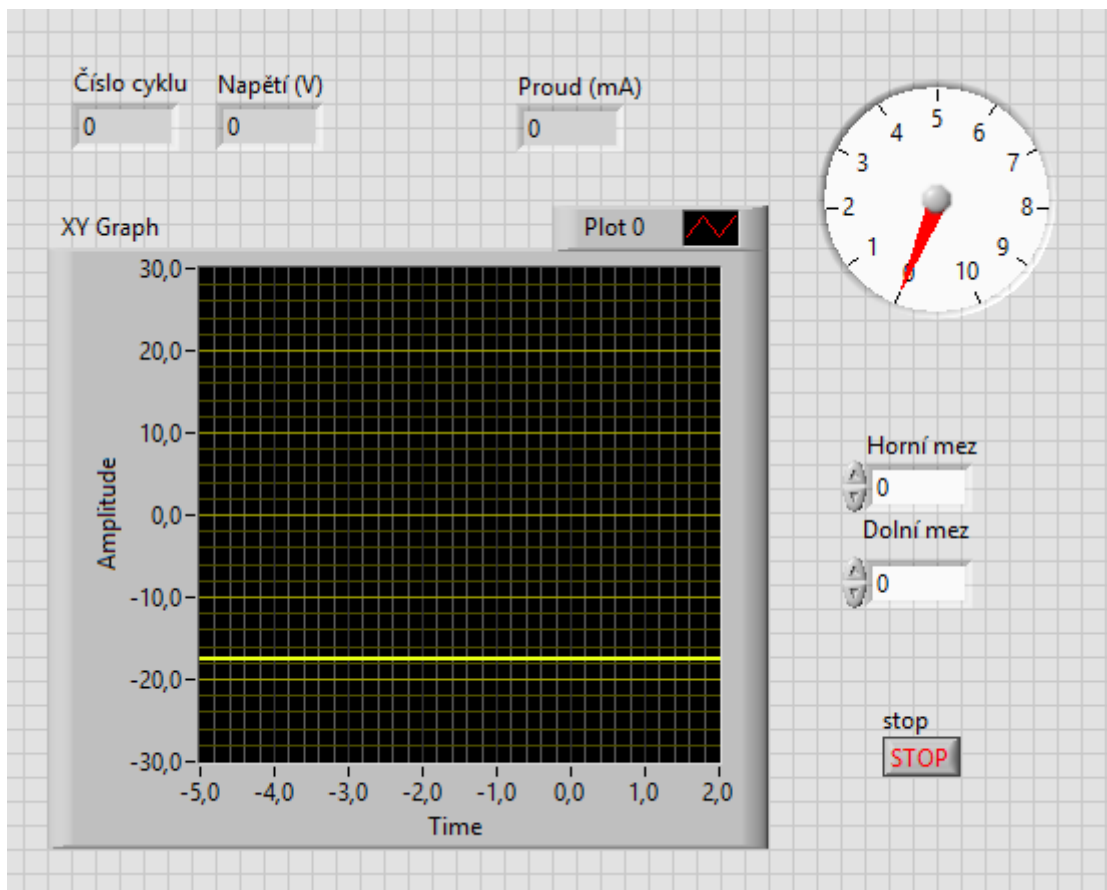
Obrázek 59 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Jednoduchá verze – Přední panel

Na obrázku č. 60 je kód pro složitou verzi. Tento kód se liší od jednoduché verze především možností zadání horní a dolní meze napětí uživatelem. Nastavená dolní mez je sečtena s hodnotou cyklu dělenou 100 a následně porovnána s horní mezí. Pokud jsou tyto dvě meze stejné, dojde k zastavení programu. Program je možné zastavit také tlačítkem stop. Přední panel složitě verze má přidáné dva numerické ovladače a ručičkový indikátor proudu.



Obrázek 60 - Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Složitá verze – Kód

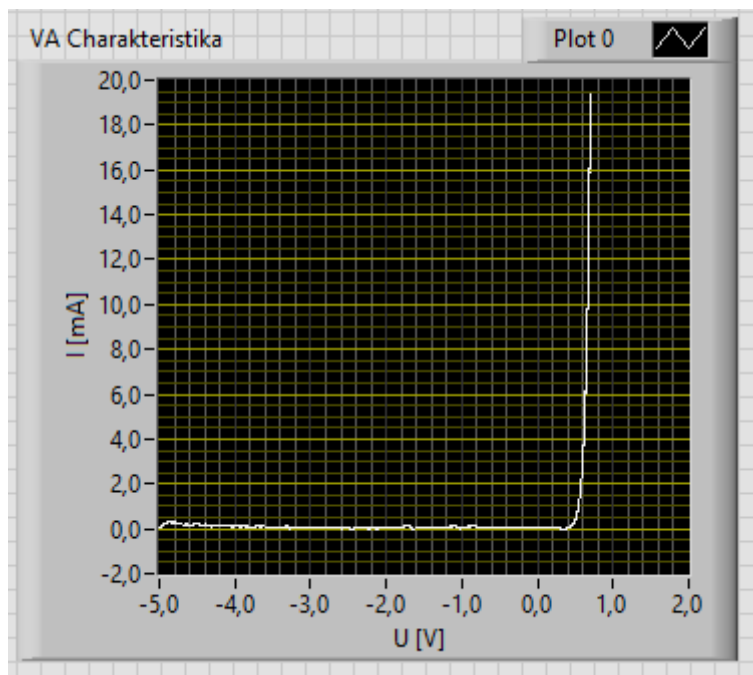
Přední panel se od jednoduché verze příliš nemění. Hlavní změna je v ovladačích, které přibyly v pravé části předního panelu. Do těchto ovladačů zadává uživatel horní a dolní mez podle svého uvážení. Nikdy, ale ne víc jak ± 10 V, protože NI myDAQ větší rozsah nepodporuje.



Obrázek 61 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Složitá verze – Přední panel

5.5.5 Zpracování dat

Pro tento program není třeba uživatele k záznamu hodnot. Jediné zadávání hodnot probíhá před spuštěním programu, a to v podobě mezí pro maximální a minimální napětí. Po spuštění daného programu se postupně vytvoří graf pro voltampérovou charakteristiku diody a naměřená data se zaznamenají jak do grafu, tak i do excelového souboru. V excelovém souboru uživatel nalezne data jak filtrovaná, tak i nefiltrovaná.



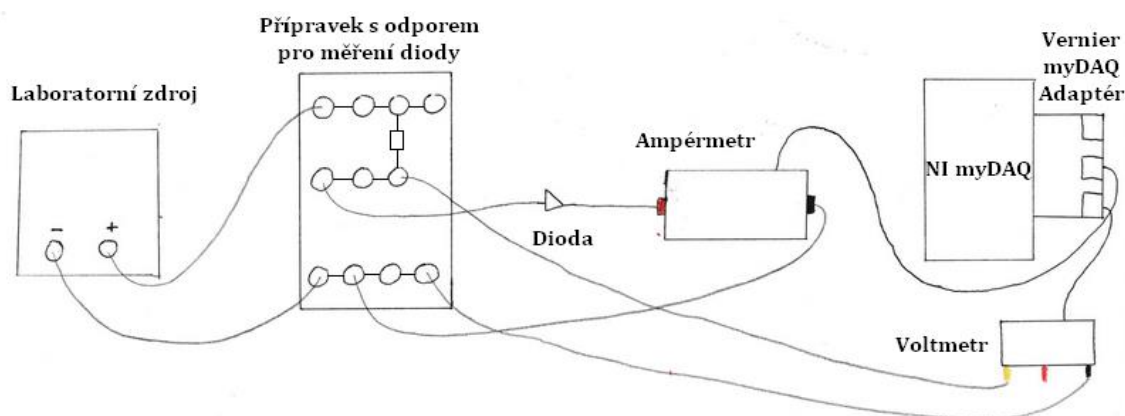
Obrázek 62 – Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) – Graf

5.6 Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu)

5.6.1 Úkol

Hlavním úkolem tohoto měření, je vytvořit program v NI LabVIEW s pomocí, kterého se následně provede měření. Výstupem tohoto měření je VA charakteristika diody v podobě grafu či dat. V této variantě se bude nastavovat napětí na diodě ručně na laboratorním zdroji a proud se bude měřit pomocí senzoru proudu stejně jako v kapitole 5.4.

5.6.2 Popis měření



Obrázek 63 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) - Schéma zapojení

Na obrázku č. 63 je schéma zapojení měření. Zatímco v pravé části je stejné jako v kapitole 5.4.2, pak levá strana je výrazně jednodušší. Laboratorní zdroj je přímo připojen na přípravek pro měření diody. Na laboratorním zdroji se postupně ručně nastavuje výstupní napětí, které je přivedeno na ochranný odpor a měřenou diodu. Měřená dioda spolu s ampérmetrem (senzor proudu) je zapojena mezi střední a spodní řádku zdírek. Mezi těmito řádkami je také měřeno napětí pomocí voltmetru (redukce banánky na konektor BT). Voltmetr i ampérmetr jsou připojeny na Vernier myDAQ adaptér, který je zapojen do interface NI myDAQ.

Tato varianta měření voltampérových charakteristik není automatická jako předcházející varianty, ale je jednodušší na zapojení. Nevyžaduje DA převodník a napěťový sledovač. Další nevýhodou je měření pouze v jednom kvadrantu VA charakteristiky (propustný směr), ale pro závěrný směr je možné provést měření s obrácenou polaritou napětí.

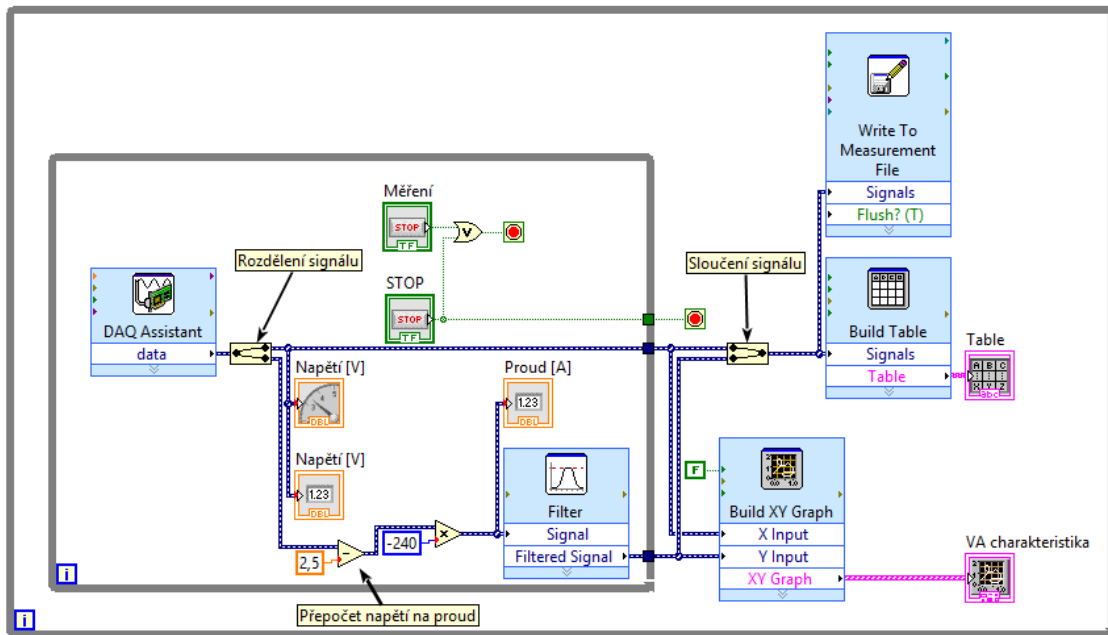
5.6.3 Pomůcky

K úloze s názvem Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) jsou potřeba následující pomůcky. Laboratorní zdroj, přípravek pro měření diod s ochranným rezistorem, měřená dioda, senzor proudu (Vernier Current Probe DCP-BTA), redukce ze tří banánků na BT konektor pro měření napětí a vybavení NI myDAQ spolu s Vernier myDAQ adaptérem.

5.6.4 Postup měření

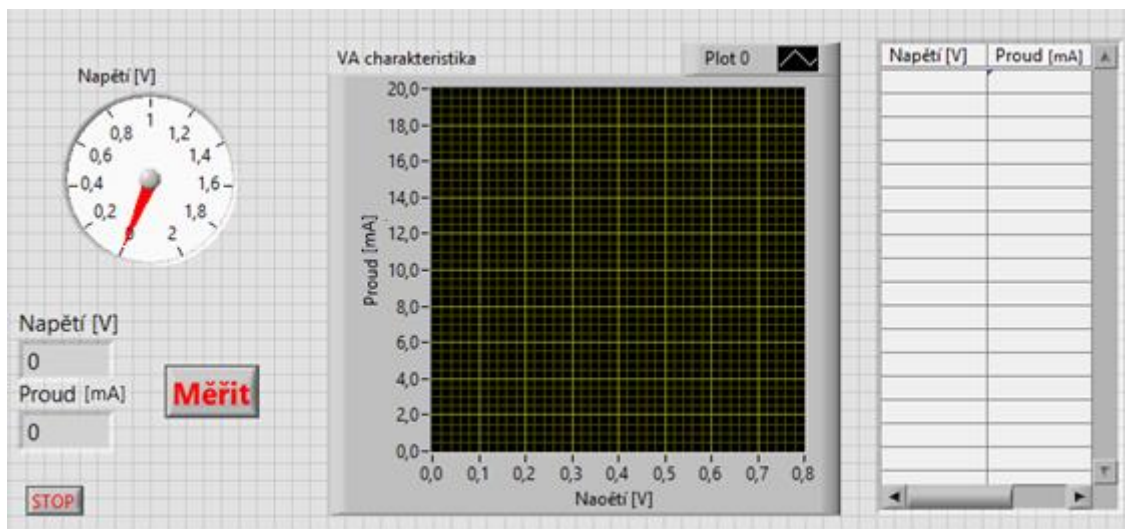
Prvním úkolem je vytvořit program v LabVIEW. V tomto případě je program lehce složitější, protože je zapotřebí použít dvou cyklů. Vnořený cyklus obsahuje *DAQ Assistant*, který sbírá data z NI My DAQ. V tomto případě sbírá data z kanálů a0 i a1. A to proto, že jednou je to napětí ze zdroje a podruhé je to napětí z ampérmetru, které se po rozdělení signálů, přepočítá na proud. Použitý senzor proudu (ampérmetr) má lineární závislost mezi měřeným proudem a výstupním napětím. Přepočet na proud v miliampérech se provádí v dolní části vnitřního cyklu a parametry 2,5 a -240 se zjistily z manuálu k ampérmetru (na 5 V výstupního napětí je rozsah +/-0,6 A).

Signál, který jde do grafu, má v sobě šum, který je zapotřebí odstranit filtrem (*Smoothing*), který pouze vyhlazuje naměřené hodnoty. Ve vnějším cyklu jsou tři výstupy dat. Zápis dat do souboru, XY graf a zápis dat do souboru. Zatímco vnitřní cyklus kontinuálně měří a zobrazuje data v indikátorech, tak při zmáčknutí tlačítka „měření“ se vnitřní cyklus přerušuje a data jsou předána do vnějšího cyklu, kde jsou zobrazena do grafu a uložena do souboru. Tlačítko „stop“ zastaví oba dva cykly najednou, tím ukončí celý program.



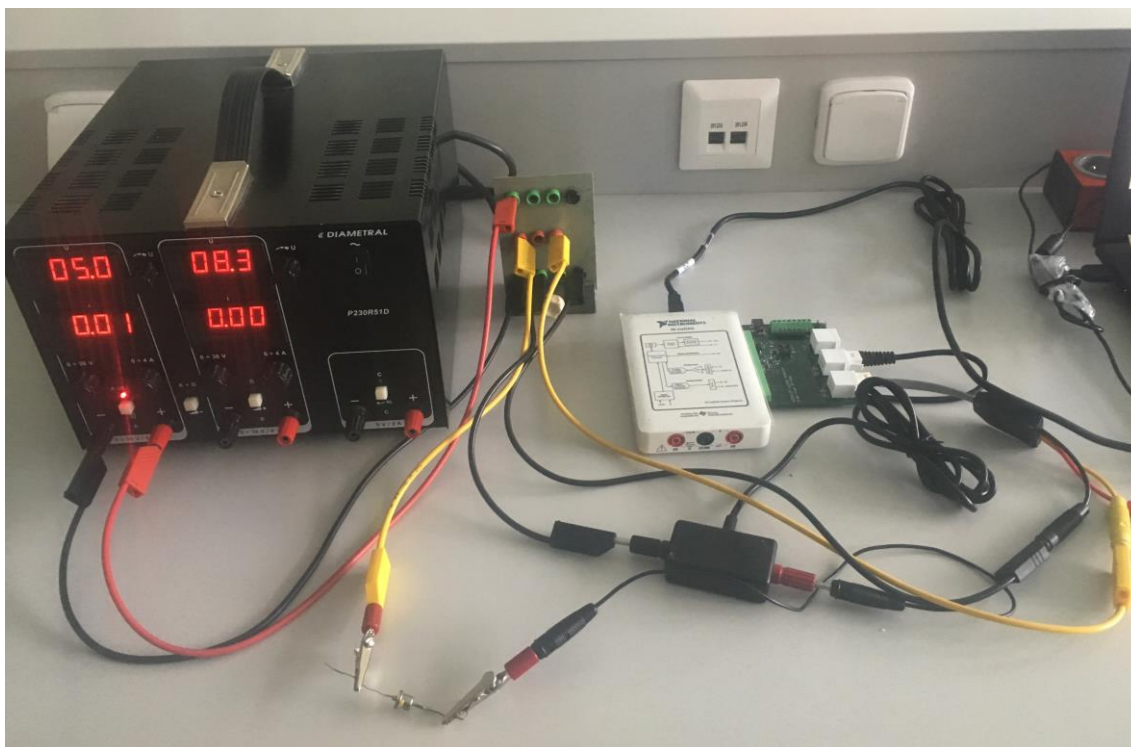
Obrázek 64 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Kód

Na předním panelu je několik výstupů. Ručičkový indikátor napětí, číselný indikátor napětí a číselný indikátor proudu. Dalším výstupem je graf, který zobrazuje průběh měření podle toho kolik hodnot uživatel zaznamená tlačítkem „Měřit“. V tabulce se všechny zaznamenané hodnoty zobrazí v číselné podobě. Pro naměření poslední hodnoty a zároveň pro zastavení programu, je třeba zmáčknout tlačítko „STOP“.



Obrázek 65 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Přední panel

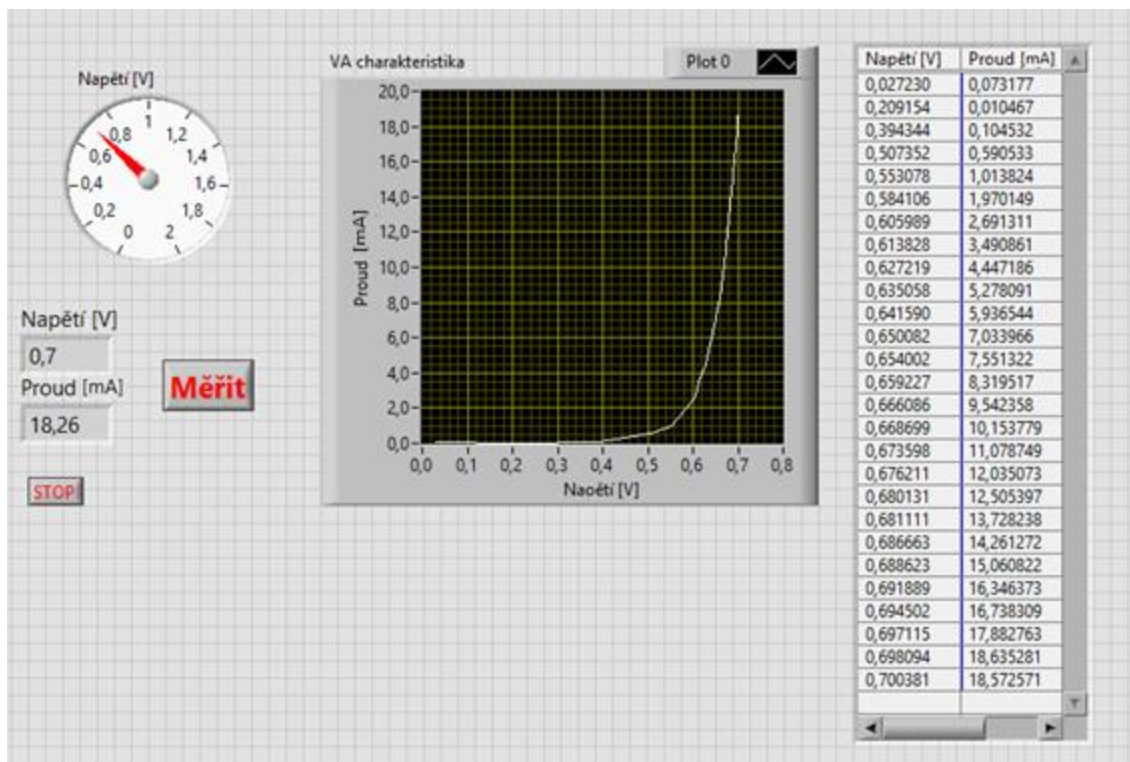
Po úspěšném zapojení je možné přistoupit k vlastnímu měření.



Obrázek 66 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) - Zapojení

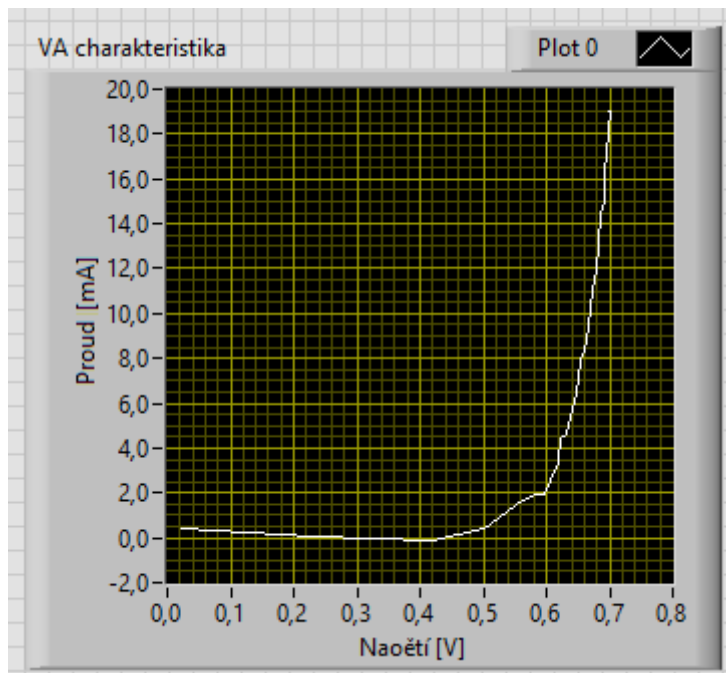
5.6.5 Měření a zpracování dat

Na laboratorním zdroji je třeba nastavovat hodnoty od 0 V do 5 V s tím, že jeden krok je 0,2 V. Po každém nastavení hodnoty napětí, je třeba zaznamenat daný výsledek do tabulky a grafu, zmáčknutím tlačítka „Měřit“. VA charakteristika diody se vytváří postupně s tím, jak přibývají další naměřené hodnoty.



Obrázek 67 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Graf s filtrem

Pro porovnání je zde přiložen i graf průběhu funkce bez přidaného filtru. Je zde vidět, že graf není přesný a je extrémně hrbolatý.



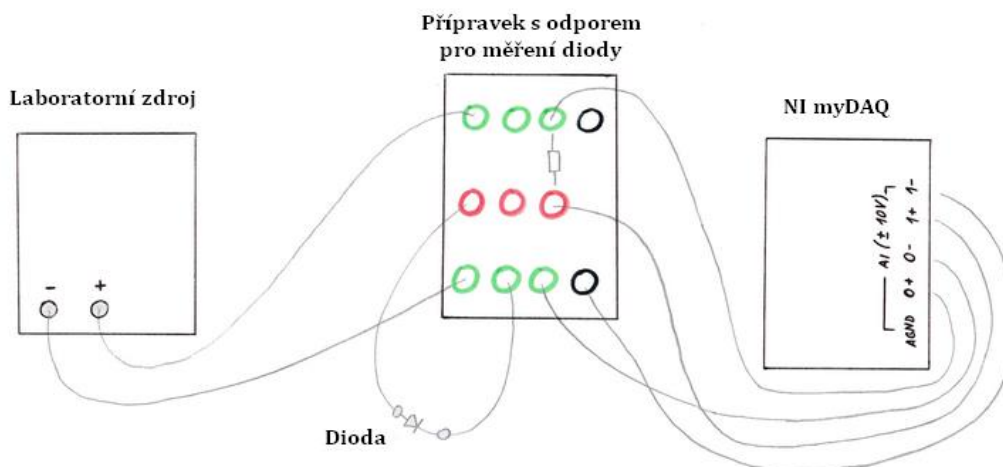
Obrázek 68 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) – Graf bez filtru

5.7 Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí)

5.7.1 Úkol

Hlavním úkolem tohoto měření, je vytvořit program v NI LabVIEW, pomocí kterého se následně provede měření. Výstupem tohoto měření je VA charakteristika diody v podobě grafu či dat. V této variantě se bude napětí na diodě nastavovat ručně na laboratorním zdroji a proud se bude dopočítávat ze dvou měřených napětí podobně jako v kapitole 5.5.

5.7.2 Popis měření



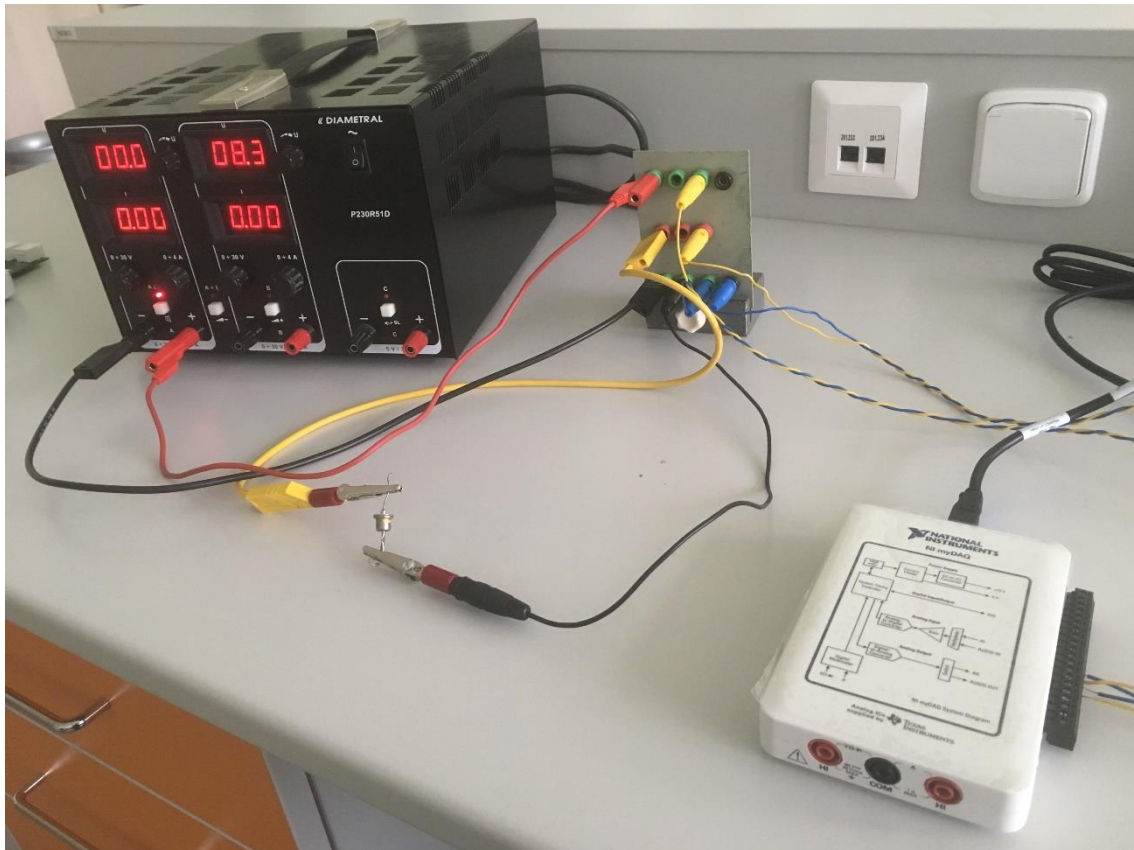
Obrázek 69 - Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) - Zapojení

Na obrázku č. 69 je schéma zapojení měření. Obrázek je podobný schématu z kapitoly 5.6.2, evidentně je nejjednodušší ze všech zapojení měření VA charakteristiky. Laboratorní zdroj je přímo připojen na přípravek pro měření diody. Na laboratorním zdroji se postupně ručně nastavuje výstupní napětí, které je přivedeno na ochranný odpor a měřenou diodu. Měřená dioda je zapojena mezi střední a spodní řádku zdířek přípravku. Napětí U_1 je napětí přímo ze zdroje, je to napětí na odporu a diodě v sérii. Napětí U_2 je napětí přímo na diodě. Proud diodou I se vypočítává dle vztahu

$$I = \frac{(U_1 - U_2)}{R},$$

(42)

kde R je hodnota odporu.



Obrázek 70 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Zapojení hardware

5.7.3 Pomůcky

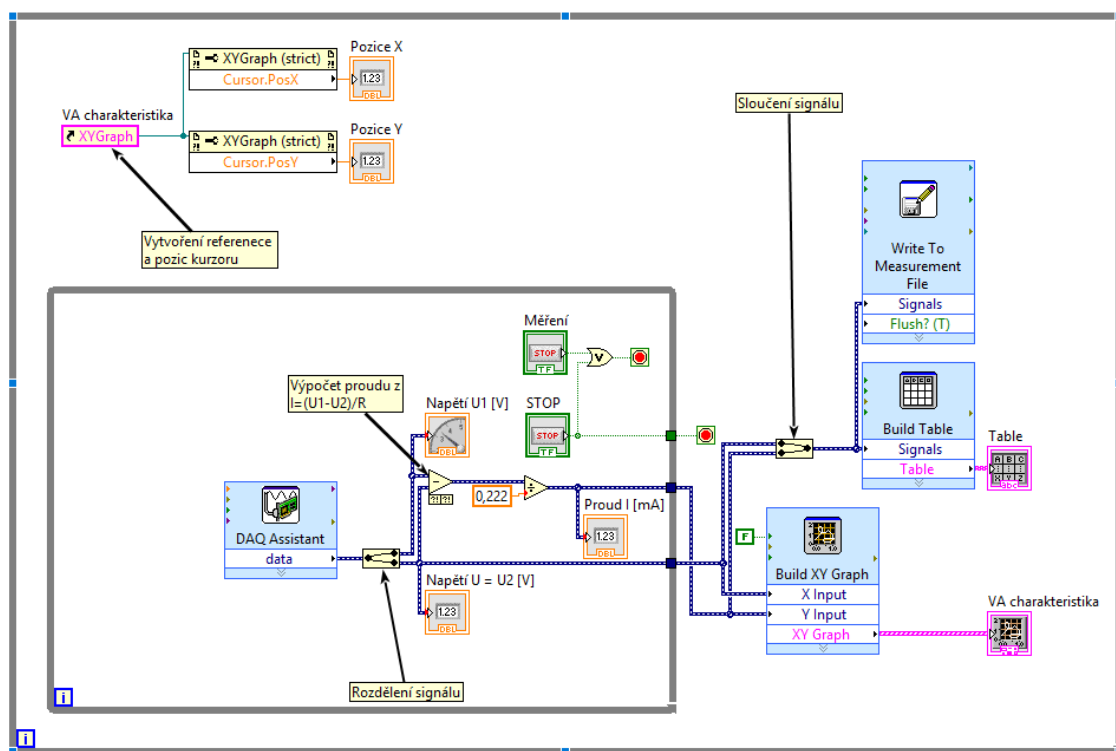
K úloze s názvem Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) jsou potřeba následující pomůcky. Laboratorní zdroj, přípravek pro měření diod s ochranným rezistorem, měřená dioda a interface NI myDAQ.

5.7.4 Postup měření

Nejprve je třeba vytvořit program v NI LabVIEW. Kód je podobný předcházející variantě v kapitole 5.6.4. Opět se zde nachází vnořený a vnější cyklus z důvodu zaznamenávání vybraných hodnot. Rozdíl je v tom, že se zde nepřepočítává výstupní

napětí ze senzoru proudu na proud, ale vypočítává se výsledný proud z rozdílu napětí a hodnoty odporu podle vztahu (42). V kódu se nedělí hodnotou 222 ohmů, ale hodnotou 0,222, aby výsledek vyšel v miliampérech. Výsledné hodnoty se zapisují do tabulky, grafu a souboru.

Novinkou je v tomto případě kurzor, kterým se dají odečíst z grafu jednotlivé hodnoty. Kurzor se vytvoří tak, že se po kliknutí pravým tlačítkem na „VA charakteristika“ graf vybere Create → Reference. Poté se klikne na onu referenci opět pravým tlačítkem a vybere se Create → Property for XYGraph (strict) class → Cursor → Cursor Position → Cursor X (Cursor Y). V této chvíli je možné propojit Reference s Property Node. Nakonec se vytvoří dva numerické indikátory, které slouží jako výstup souřadnic z Property Node.

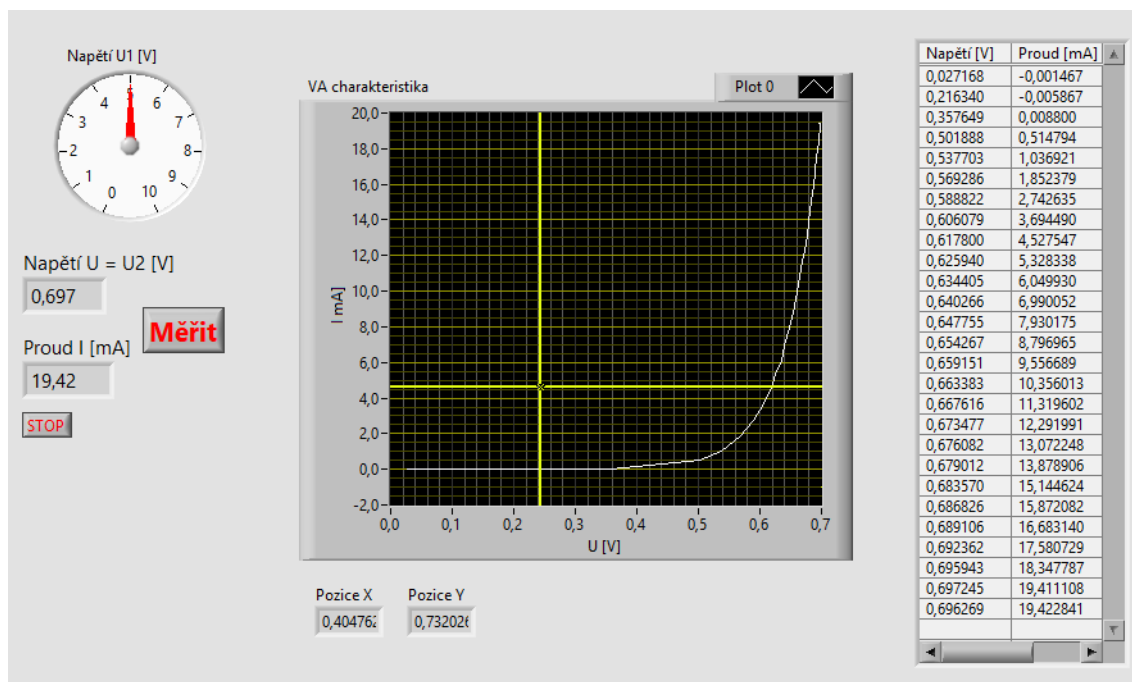


Obrázek 71 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Kód

Další částí úkolu je vlastní zapojení, které je možné provést dle obrázku č. 69. Speciální pozornost si zaslouží propojení v samotném NI myDAQ s přípravkem pro měření diod.

5.7.5 Měření a zpracování dat

Samotné měření probíhá tak, že se na laboratorním zdroji nastavuje napětí od 0 do 5 V po 0,2 V. Po každém změnění napětí, se udělá záznam hodnoty pomocí tlačítka „Měřit“. Kurzorem je možné odečíst hodnotu při každém záznamu zvlášť.



Obrázek 72 – Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) – Měření

5.8 Měření osvětlení

5.8.1 Úkol

Vytvořit program v NI LabVIEW a následně a s jeho pomocí naměřit závislost svítivosti 12 V žárovky do různých směrů. Pro měření se využije tzv. „světelný tank“ upravený pro měření svítivosti, který se pro takováto měření používá na Katedře Fyziky UHK. Pro měření bude využito programu NI LabVIEW a patřičný interface.

5.8.2 Popis měření

Pro měření svítivosti žárovky do různých stran je obecně potřeba pomocí luxmetru měřit v zatemněné místnosti a osvětlení vyvolané žárovkou při různých úhlech pootočení. Použitý „světelný tank“ umožňuje toto měření v nezatemněné místnosti, protože obsahuje jak otáčející se žárovku, tak z vnějšku vložený senzor osvětlení.

5.8.3 Pomůcky

Žárovka o 12 V umístěná ve „světelném tanku“, třípolohový senzor světla Vernier Light Sensor (LS-BTA) (Light Sensor: Luxmetr, 2018), laboratorní zdroj, NI myDAQ a Vernier myDAQ adaptér. „Světelný tank“ je upravený tank na vyvolávání klasických filmů do fotoaparátů. Místo cívky na film, v ose tanku, je objímka se žárovkou a z boku tanku je otvor pro vložení senzoru světla.

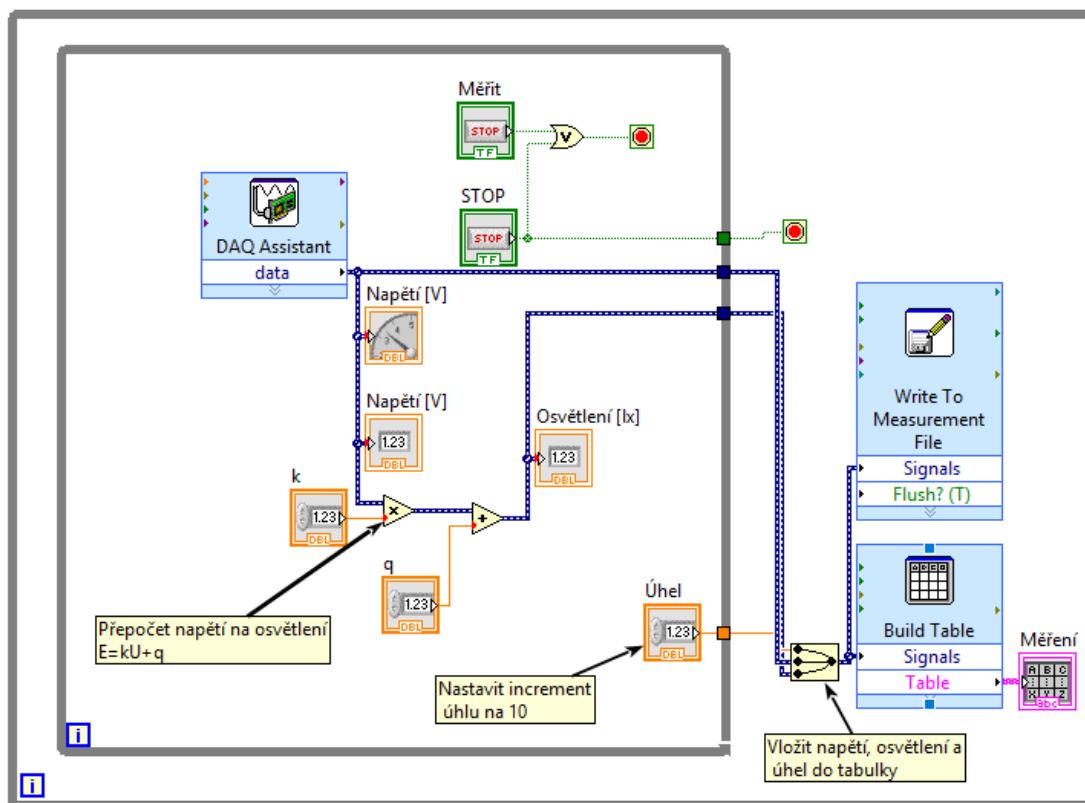


Obrázek 73 – Měření osvětlení – Zapojení hardware

5.8.4 Popis programu

Celý kód je zobrazen na obrázku č. 74. Jako první je třeba vytvořit program v LabVIEW, kde je vnější a vnořený cyklus. Zatímco vnořený cyklus permanentně měří, tak při jeho ukončení odejdou naměřené hodnoty do vnějšího cyklu, kde se zaznamenají do souboru a tabulky. Vnitřní cyklus se ukončuje tlačítkem „Měřit“. Pokud se zmáčkne tlačítko „Stop“ se ukončí oba cykly najednou a tím se ukončí celý program. *DAQ Assistant* v vnitřním cyklu měří napětí vycházející ze senzoru osvětlení, to je zobrazováno jako ručičkovým i numerickým indikátorem. Napětí je třeba přepočítat na osvětlení. Z manuálu vyplývá, že závislost je lineární. Přes numerické ovladače je možné nastavit koeficienty k a q , které lze najít také v manuálu. Z vnitřního cyklu jde již přepočtená hodnota osvětlení. *DAQ Assistant* je nastaven na měření jednoho napětí v rozsahu 0 až 5 V, v módu *1 Sample (On Demand)*.

Do tabulky a excelového souboru ve vnějším cyklu vstupují z cyklu vnitřního tři proměnné, měřené napětí, vypočtené osvětlení a úhel, který je třeba zapsat do numerického ovladače ručně. Numerický ovladač je nastaven na rozsah 0 až 350, krok 10.



Obrázek 74 – Měření osvětlení – Kód

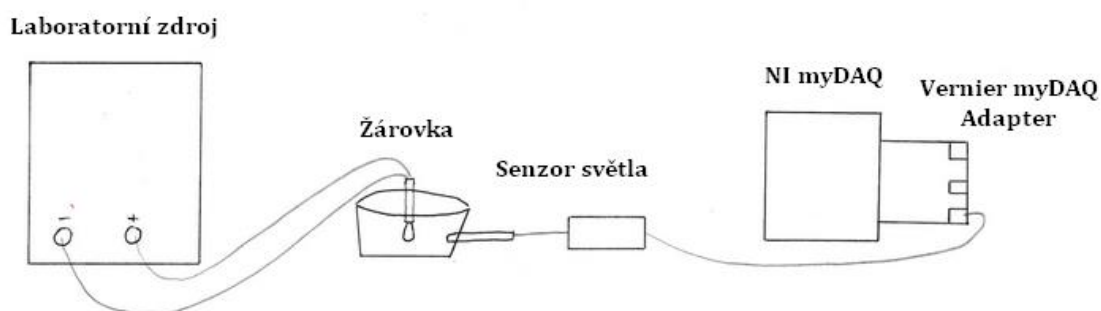
5.8.5 Postup měření

Přehledné schéma fyzického uspořádání měření je na obrázku č. 75 a fotografie na obrázku č. 73. Žárovka umístěná ve světelném tanku je napájena laboratorním zdrojem o napětí 12 V. Z boku do světelného tanku je vložen senzor osvětlení, který je zapojen do interface NI myDAQ přes Vernier myDAQ adaptér, který byl používán již v předcházejících měřeních.

Vzhledem k tomu že senzor osvětlení není zkalibrován, je třeba provést přepočítání z napětí na osvětlení. Tento přepočítání lze provést jednoduchým lineárním přepočtem.

$$E = kU + q$$

Použitý senzor osvětlení umožňuje přepínat tři rozsahy osvětlení (0-600lx, 0-6000lx, 0-150000lx). Pro naše měření stačí rozsah 0 až 600 lx a podle manuálu byly pro tento rozsah hodnoty $k = 172,908$ a $q = -6,8466$. Tyto hodnoty by bylo možné zjistit i pomocí vlastní kalibrace. Zároveň je také potřeba nastavit daný úhel, podle toho, jak bude uživatel pootáčet měřidlem.

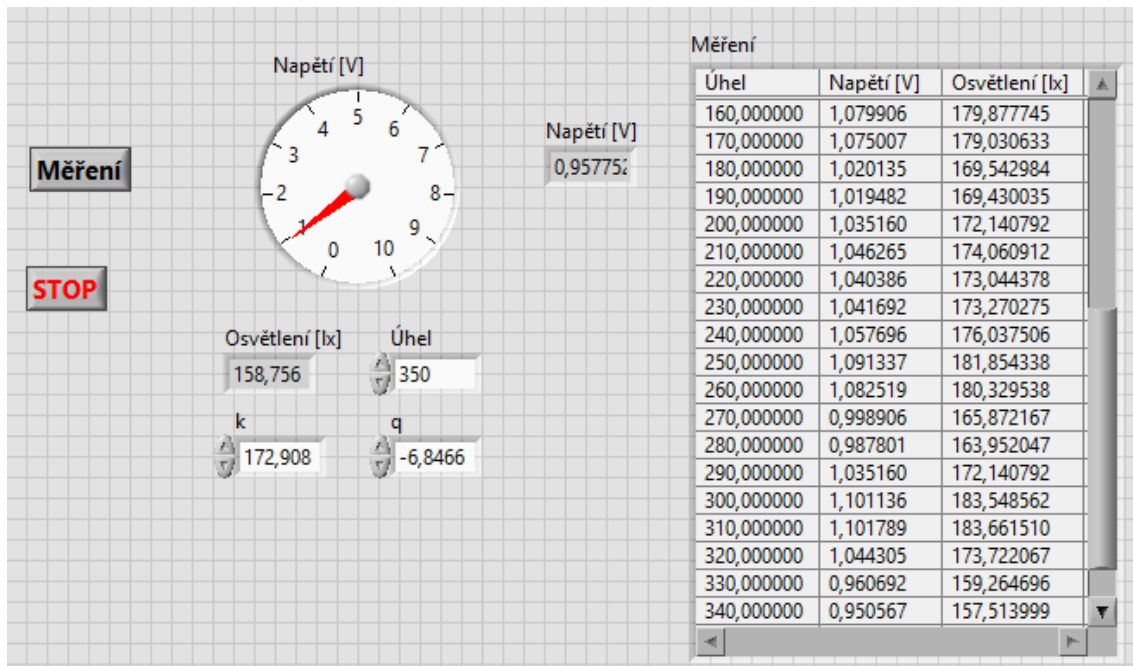


Obrázek 75 - Měření osvětlení - Zapojení

5.8.6 Měření a zpracování dat

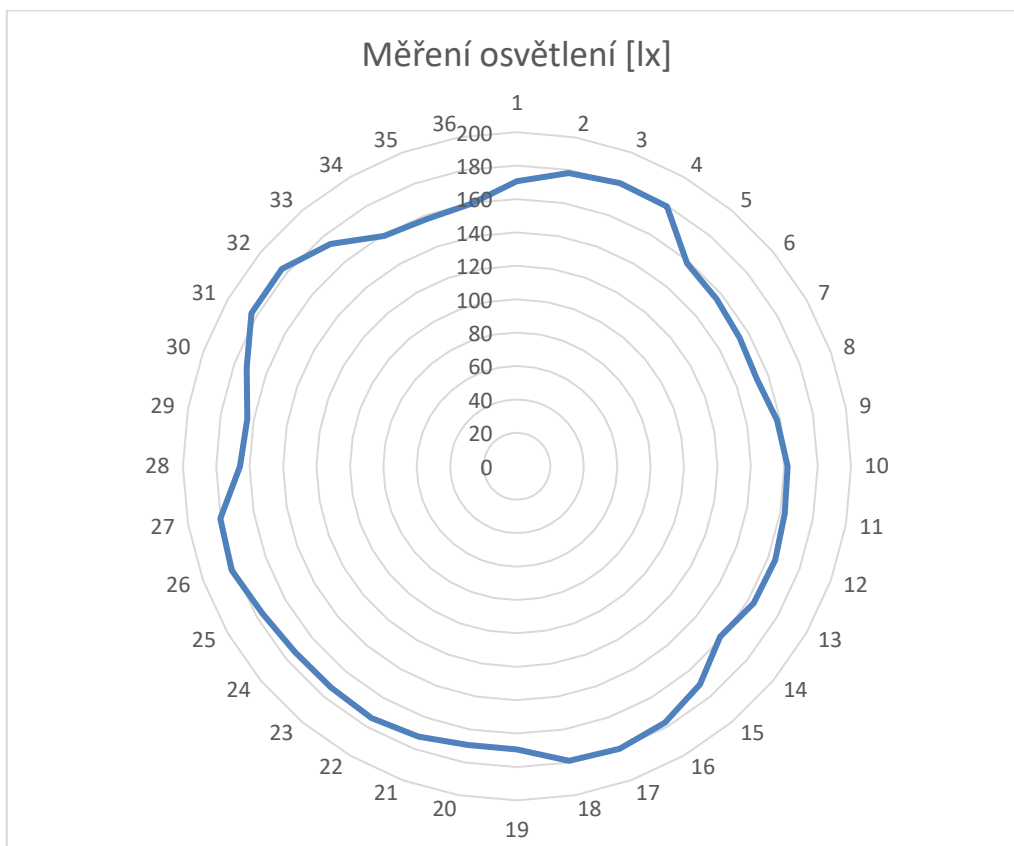
Po úspěšném naprogramování programu a po sestavení aparatury, je možné přejít k samotnému měření. Po zapnutí programu je třeba zadat koeficienty k a q , které je možné najít v manuálu senzoru osvětlení. Měření probíhá tak, že uživatel pootáčí žárovkou po 10° , zvýší hodnotu v numerickém ovladači o 10 a po každém pootočení zmáčkne tlačítko „Měření“. Takto se naměří 36 hodnot, které se zapíšou do tabulky a do souboru. Soubor se všemi hodnotami je přiložen na CD.

Pro představu uspořádání ovládacích prvků, je na obrázku č. 75, kde je přední panel po proběhlém měření.



Obrázek 76 - Měření osvětlení - Záznam z měření

Naměřená data se následně otevřou v excelu a vytvoří se polární graf, který zobrazí s jakou intenzitou, žárovka svítí do různých úhlů.



Obrázek 77 - Měření osvětlení - Graf

6 Závěry a doporučení

Účelem této práce bylo sestavit několik úloh, které budou sloužit jako podklad pro podporu výuky. V první části praktické části jsou stručně popsány všechny použité prvky NI LabVIEW, které se poté ve vytvořených programech v nějakých obměnách opakují.

První úlohou je "Detektor radiace", kde je cílem zjistit koeficient μ pro záření beta. Tato úloha se dělí na dvě varianty. Jednoduchá verze (obrázek č. 41), která se skládá pouze ze základních komponent, ale přesto je možné zadání úlohy splnit. V jednoduché verzi je použit cyklus for, narozdíl od složité verze, kde je použit cyklus while. Cyklus for zde slouží pro automatické vypnutí programu. Student si také může nastavit vlastní dobu cyklu, to znamená, jak dlouho bude program sbírat vzorky dat. Hlavním rozdílem u složité verze (obrázek č. 44), kromě typu cyklu, je zápis dat do tabulky, což usnadní výpočty a tudíž, není třeba opisovat hodnoty na papír, ale rovnou si je zkopírovat z programu do excelu. Komplikace byla v tom, že je třeba brát hodnotu minulou a odečíst ji od hodnoty aktuální, jinak by se v tabulce objevovat celkový počet pulzů, a ne pouze počet pulzů za určitou nastavenou dobu. Dále je možné nastavit cílový čas zastavení, který nahrazuje jednoduchou funkci cyklu for. Výpočet doby zastavení a skutečné zastavení programu je nejsložitější částí programu, je totiž třeba brát čas z timeru mimo cyklus a vně cyklu, odečíst je a následně zjistit, zda je cílový čas větší nebo menší, než aktuální čas. V samotném měření bylo třeba nejprve změřit počet pulzů na pozadí (obrázky č. 45 a č. 46). Z dvaceti měření pozadí bylo zjištěno, že průměrný počet pulzů na pozadí je 15,3 pulzů za 50 sekund. Dalším úkolem bylo zjistit jaký je průměrný počet pulzů samotného zářiče (obrázek č. 47). Výsledná hodnota měření byla 196,4 pulzů za 50 sekund. V této chvíli již bylo možné se přesunout k nejdůležitější části úlohy, a to k měření s pohlcujícími materiály. Prvním takovým materiálem byl papír o tloušťce 0,417 mm, kde bylo zjištěno, že počet pulzů za jeden cyklus je 175,63 (obrázek č. 49). Hliník, který měl tloušťku 0,954 mm, měl průměrně 68,5 pulzů za 50 sekund (obrázek č. 50). Posledním materiálem bylo PVC o tloušťce 2,019 mm, který měl 41 pulzů za 50 sekund (obrázek č. 51). Z těchto hodnot bylo možné usoudit, že PVC

bude mít největší absorpční koeficient. Z výpočtů bylo, ale zjištěno, že pro papír vyjde absorpční koeficient 294 m^{-1} , pro hliník 1299 m^{-1} a pro PVC 985 m^{-1} (kapitola 5.3.6). To znamená, že původní předpoklad efektivity pohlcujícího materiálu v podobě PVC byl chybný a největší absorpční koeficient je pro hliník v závislosti na šířce materiálu. Co se týče samotného vzorce pro výpočet, je na uvážení, zda je odečet radiace pozadí zcela korektní. Vzhledem k tomu, že detektor radiace a pohlcující materiál se prakticky dotýkají, pak i radiace pozadí je výrazně pohlcena materiálem.

Úloha Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, senzor proudu) je první úloha ze série voltampérových charakteristik (obrázek č. 54). Je zde použit DA převodník, tj. řízení napětí laboratorního zdroje přes Vernier myDAQ adaptérem, a senzor proudu, který funguje jako ampérmetr. Důležitou funkci zde provádí filtr, který odfiltrovává šum ze senzoru proudu. Uživatel si zde sám nastaví horní a dolní mez, tj. maximální a minimální napětí. Program vytvoří voltampérovou charakteristiku automaticky bez pomoci uživatele a data zapíše do souboru. Na obrázku č. 56 je výsledný graf, který ačkoliv byl přefiltrován, tak se v něm stejně objevují lokální extrémy. Nevýhodou nastavování horní a dolní meze je rychlost programu. Tím, že se musí každý cyklus kontrolovat, zda je třeba program zastavit, nastává určité zpomalení programu. V budoucnosti by bylo dobré vymyslet jiný přístup k řešení rychlosti tohoto programu.

Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí) je další úlohou na voltampérovou charakteristiku diody. Rozdíl je v nepoužití ampérmetru, ale proud se počítá ze dvou napětí. Celkové zapojení je složité, ale na rozdíl od předchozí verze, je zde naprogramovaná i jednoduchá verze (obrázek č. 58). V jednoduché verzi si uživatel nenastavuje horní a dolní mez, meze se nastavují konstantou v programu. Přesto, že není použit ampérmetr, je opět třeba použít filtr, který odfiltruje šum vzniklý při odečtu dvou blízkých napětí. Složitá verze (obrázek č. 60) obsahuje všechny prvky jako jednoduchá verze, s tím rozdílem, že je přidána možnost nastavení horní a dolní meze, tzn. nastavení minimálního a maximálního napětí. Výsledný graf je na obrázku č. 62.

Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu) je jednou z úloh, která nemá jednoduchou verzi. V tomto případě je to z důvodu nemožnosti provedení vnořeného cyklu žádným jednodušším způsobem (obrázek č. 63). Důvodem takového zpracování úlohy je, že je třeba zaznamenávat vybrané hodnoty, z kterých je později vypočten graf. Samotné měření probíhalo tak, že byly nastavovány hodnoty v rozsahu od 0 do 5 V po 0,2 V. Každá z těchto hodnot se zaznamenala a postupně byl vytvořen graf VA charakteristiky diody. Hodnoty proudu jsou vypočteny uvnitř programu, ale musely být přefiltrovány filtrem, protože vznikalo velké množství šumu ze samotného ampérmetru. Na obrázku č. 41 je vidět nefiltrovaná VA charakteristika diody a je zde vidět pokles křivky pod 0 mA, který by neměl vůbec nastat. Na rozdíl, od obrázku č. 67, je na obrázku č. 68 dobře vidět celkem bezchybná VA charakteristika diody.

Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí) je další úlohou na měření s diodou (obrázek č. 70). V tomto případě ale není použit Vernier myDAQ adaptér, ale měří se přímo s NI myDAQ. Takovéto zapojení má nespornou výhodu v tom, že je možné měřit +-10 V místo obvyklých +-5 V. V tomto případě je opět vytvořena jen jedna verze úlohy, a to z důvodu použití složitých funkcí a vnořeného cyklu. Samotný program se kromě vytvořené reference na XY graf prakticky neliší od ostatních programů s vnořeným cyklu. Novinkou zde je použití reference na XY graf a použití tříd XY grafu, kterými je možné zjistit pozici kurzoru, kterým se následně odečítají hodnoty pro souřadnici X a souřadnici Y. Vlastní měření a sestavení obvodu je z důvodu nepotřeby ampérmetru velice jednoduché. Navíc díky chybějícímu ampérmetru není třeba filtru a průběh funkce je dokonale čistý. (obrázek č. 72)

Všechny úlohy na měření voltampérové charakteristiky mají společnou diodu, což znamená, že je možné porovnat křivky grafů. V úloze "VA charakteristika (DA převodník, senzor proudu)", obrázek č. 56, je vidět, že ačkoliv byl použit filtr, tak nedokázal odfiltrovat veškerý šum způsobený ampérmetrem. V úloze "Voltampérová charakteristika diody (DA převodník, měření dvou napětí)" je

způsobený šum odečítáním dvou napětí a opět se to projeví na daném grafu (obrázek č. 62). Úloha "Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, senzor proudu)" má stejný problém se šumem, který je v tomto případě způsobeným ampérmetrem a graf na obrázku č. 68 vypadá dokonce poměrně hůř, než na obrázku č. 56. Úloha "Voltampérová charakteristika diody (Měření po krocích, měření dvou napětí)", obrázek č. 72, vykazuje nejmenší výskyt lokálních extrémů.

Měření osvětlení je úlohou, která je více praktická a je třeba šikovnosti uživatele při měření. Vzhledem k nutnosti zaznamenávání vybraných hodnot byla naprogramována pouze jedna verze (obrázek č. 74). V tomto programu se z důvodu zaznamenávání vybraných hodnot vyskytuje vnořený cyklus. Ten funguje podobně jako u úlohy s názvem "Voltampérová charakteristika diody". Do tabulky a do souboru v tomto případě nejdou pouze dvě hodnoty, ale jde tam i třetí, a to v podobě úhlu. Tento úhel se nastavuje ručně na úhломěru, který se nachází na černé nádobce. Senzor světla bylo třeba zkalibrovat. Prakticky je možné provést kalibraci dvěma způsoby. Buď lze použít luxmetr a naměřit hodnoty pro určité proudy a poté to dle vzorce $E = kU + q$ spočítat, nebo se lze podívat do manuálu, kde je možné hodnoty pro k a q najít. U tohoto programu se nepoužívá graf, a to z důvodu komplikovaného použití polárního grafu v NI LabVIEW. Proto je třeba načíst uložené hodnoty v excelu a vytvořit polární graf tam (obrázek č. 77). Co se týče samotného měření, je třeba uživatelovy pečlivosti pro zajištění přesného měření. Tím, že není „světelný tank“ na pevně, se lehce posouvá a pokud není držen obouruč, nastává zkreslení měření. Dále je třeba koukat na úhломěr pořád ze stejného úhlu, aby došlo ke správnému odečtení hodnot. Žárovka, která je připojena dvěma kabelem k laboratornímu zdroji, se sama pootáčí v případě nepřidržování. Tyto tři problémy mohou způsobit chybu měření.

7 Seznam použité literatury

Ampérmetr. Vernier [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.vernier.cz/katalog/manualy/cz/dcp-bta.pdf>

Attenuation Coefficient. NDT Resource Center [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/attenuationCoef.htm>.

BIELČÍK, Jaroslav. Diody. Fyzikální praktikum [online]. 2018 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/565/mod_resource/content/6/Diody.pdf

Digital Lines, Ports, and Port Width. National Instruments [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466W-01/mxcncpts/linesports/>

Diodes. SparkFun Electronics [online]. 2009 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/diodes/real-diode-characteristics>

Diódy. Elektronika [online]. 2006 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.kis.fri.uniza.sk/~ludo/e-Publikacia/elektronika/kap1/>

Filter Express VI. Documentation.HELP! [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://documentation.help/LabView-Acquire-Signals-Express/Filter.html>

HALVORSEN, Hans-Petter. Data Acquisition in LabVIEW. Høgskolen i Sørøst-Norge [online]. 28.10.2016 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW.pdf>

Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor. Státní ústav radiační ochrany [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/faq/copy_of_jak-funguje-geiger-mulleruv-gm-detektor.

KALUS, René. Trivium z optiky. Ostrava: Ostravská univerzita, 2004. ISBN 80-704-2999-2.

KOUTNÝ, Jaroslav. Voltampérová charakteristika diody. Elektronická učebnice [online]. Olomouc, 2015 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/578>.

Light Sensor: Luxmetr (čidlo intenzity světla). Vernier [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.vernier.cz/katalog/manualy/cz/LS-BTA.pdf>

MyDAQ Pinout. National Instruments [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.ni.com/documentation/en/mydaq-student-data-acquisition-device/latest/mydaq/pinout/>

NATIONAL INSTRUMENTS. Začínáme s LabVIEW. National Instruments [online]. 2006 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/ee/labview_8.pdf

NI-DAQmx Express VI Tutorial. National Instruments [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.ni.com/tutorial/2744/en/>

REICHL, Jaroslav. Rovinný úhel a prostorový úhel. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1306-rovinny-uhel-a-prostorovy-uhel>

TEDS. National Instruments [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.ni.com/product-documentation/54459/en/>

TICHÝ, Milan. Příměsový polovodič. Elektřina a magnetismus [online]. 2004 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden_prechod/primes_p_olovodic.html

TICHÝ, Milan. Základy polovodičů. Elektřina a magnetismus [online]. 2004 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/vodivost/vlastni_polovodic.html

TRAVIS, Jeffrey. a Lisa K. WELLS. LabVIEW for everyone. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. ISBN 01-306-5096-X.

ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. Astro Nukl Fyzika [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>.

Vernier Radiation Monitor: Detektor radiace (α , β , γ). Vernier [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: vernier.cz/katalog/manualy/cz/VRM-BTD.pdf

