

# Automatizované pracoviště pro měření elektrických veličin

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2612 Elektrotechnika a informatika

*Studijní obor:*

Elektronické informační a řídicí systémy

*Autor práce:*

**Martin Lukeš**

*Vedoucí práce:*

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





## Zadání bakalářské práce

# Automatizované pracoviště pro měření elektrických veličin

*Jméno a příjmení:* **Martin Lukeš**  
*Osobní číslo:* M17000193  
*Studijní program:* B2612 Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* Elektronické informační a řídicí systémy  
*Zadávací katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte možnosti vzdáleného ovládání přístrojů v učebně měřicí techniky a literaturu týkající se automatizovaného měření elektrických veličin.
2. Vytvořte program v prostředí LabView pro ovládání dostupných přístrojů v laboratoři měřicí techniky s možností výběru jednotlivých přístrojů pro měřicí úlohu.
3. Vytvořte vzorovou měřicí úlohu.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] Čejka, M.: Elektronické měřicí systémy. VUT-FEKT, 2002, ISBN 80-214-1336-0.
- [2] Haasz, V., Roztočil, J., Novák, J.: Číslicové měřicí systémy, ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02219-6.
- [3] Matyáš, V.: Automatizace měření. SNTL Praha, 1998, ISBN 04-522-87.
- [4] Vlach, J.: Začínáme s LabVIEW. BEN technická literatura. Praha, 2008, ISBN 9788073002459.

*Vedoucí práce:*

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Datum zadání práce:*

9. října 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

17. května 2021

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 9. října 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. června 2021

Martin Lukeš



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu práce panu Ing. Lubomíru Slavíkovi Ph.D. za to, že mi byl kdykoliv při ruce a mohl jsem tak od něj čerpat spoustu užitečných rad. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Bílkovi, Ph.D., že mi dokázal poradit v době, kdy jsem tápal s některými funkcemi LabVIEW a panu Bc. Tomáši Kubíčkoví, který poskytl užitečné rady, ke zpracování práce. Největší poděkování pak patří mé rodině včetně Kateřiny Linhartové, která mě celou dobu podporovala a díky které jsem přijal tuto výzvu.

Martin Lukeš

## **Abstrakt**

Cílem práce je vytvoření automatizovaného pracoviště pro měření elektrických veličin, určeného pro dlouhodobá bezobslužná měření. Jedná se o měření napětí, proudu, výkonu a pasivních veličin a dále ovládání generátoru, zdroje, osciloskopu a digitálního multimetru. Všechny přístroje jsou vybaveny komunikační sběrnici (LAN, USB, RS232 nebo GPIB). Předpokladem je použití softwaru LabVIEW.

## **Klíčová slova**

LabVIEW, automatizované pracoviště, měřicí technika, sběr dat, LAN

## **Abstract**

The thesis deals with creating an automated workplace for measuring electrical quantities, designed for long-term unattended measurements. It involves measuring voltage, current, power and passive quantities, as well as controlling the generator, power supply, oscilloscope and digital multimeter. All devices are equipped with a communication bus (LAN, USB, RS232 or GPIB).

The prerequisite is the use of LabVIEW software.

## **Key words**

LabVIEW, automated workplace, measuring technology, data collection, LAN

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Možnosti zapojení přístrojů v učebně.....	9
2.1	NI LabVIEW .....	9
2.1.1	Virtuální nástroje (VI) .....	10
2.1.2	Vybrané prvky blokového schéma .....	12
2.2	Měřené přípravky .....	14
2.2.1	Polovodičové součástky .....	14
2.2.2	Elektronický zesilovač.....	17
2.3	Použité přístroje .....	19
2.3.1	Digitální multimetr .....	19
2.3.2	Lineární zdroj napětí a proudu.....	20
2.3.3	Digitální osciloskop.....	21
2.3.4	Funkční generátory .....	22
2.4	Možnosti propojení .....	24
2.4.1	USB .....	24
2.4.2	Ethernet.....	25
2.5	Parametry lokální sítě LAN .....	26
2.5.1	IP adresa .....	26
2.5.2	Netmask.....	26
2.5.3	Gateway .....	26
2.6	Konečné propojení .....	27
3	Program v prostředí LabVIEW.....	28
3.1	Konfigurace zařízení .....	28
3.2	Program.....	29
3.2.1	Hlavní obrazovka.....	30
3.2.2	Nastavení globálních parametrů a synchronizace .....	31
3.2.3	VI Multimetru Agilent 34410A.....	32
3.2.4	VI Lineárního zdroje Siglent SPD 3303X-E.....	34
3.2.5	VI Generátoru signálů Siglent SDG 2082X .....	35
3.2.6	VI Osciloskopu Siglent SDS 2104X .....	36
3.3	Export aplikace do spustitelného souboru EXE .....	38
3.3.1	Potíže s počítači neobsahující LabVIEW .....	40

4	Vzorová měřicí úloha .....	41
4.1	Diody .....	41
4.1.1	Klasická dioda .....	41
4.1.2	Zenerova dioda .....	42
4.1.3	Schottkyho dioda .....	43
4.2	Korekční předzesilovač.....	45
4.2.1	Amplitudová charakteristika.....	45
4.2.2	Fázová charakteristika .....	46
5	Závěr.....	47

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma učebny TK7 .....	9
Obrázek 2: Náhled předního panelu .....	11
Obrázek 3: Náhled na blokové schéma .....	11
Obrázek 4: Connector pane .....	12
Obrázek 5: PN přechod polovodičové diody.....	15
Obrázek 6: Zapojení v závěrném směru a Obrázek 7: Zapojení v propustném směru.....	15
Obrázek 8: Vzorová VA charakteristika Zenerovy diody .....	17
Obrázek 9: Ilustrační zesílení amplitudy signálu .....	18
Obrázek 10: Korekční předzesilovač MT HI-FI version 2.1 .....	18
Obrázek 11: Agilent 34410A.....	20
Obrázek 12: Siglent SPD3303X-E .....	21
Obrázek 13: Siglent SDS2104X.....	22
Obrázek 14: Tvary funkcí signálu [17].....	23
Obrázek 15: Siglent SDG 2082X .....	24
Obrázek 16: Koncovky kabelu USB .....	25
Obrázek 17: Koncovky ethernetového kabelu .....	25
Obrázek 18: Schéma zapojení .....	27
Obrázek 19: Náhled do doplňku Measurement and automation explorer .....	28
Obrázek 20: Vytvoření nového propojení .....	29
Obrázek 21: Náhled předního panelu a blokového schéma .....	30
Obrázek 22: Náhled předního panelu Hlavní obrazovky .....	31
Obrázek 23: Hierarchie jednotlivých VI .....	31
Obrázek 24: Náhled předního panelu Nastavení globálních parametrů .....	32
Obrázek 25: Náhled předního panelu Multimetru Agilent 34410A .....	32
Obrázek 26: Náhled uložených hodnot .....	33
Obrázek 27: Náhled předního panelu Lineárního zdroje Siglent SPD3303X-E .....	35
Obrázek 28: Náhled předního panelu Generátoru signálů Siglent SDG 2082X .....	36
Obrázek 29: Ukládání dat z osciloskopu .....	37
Obrázek 30: VI Osciloskopu Siglent SDS 2104X.....	38
Obrázek 31: Náhled do tvoření souboru exe .....	39
Obrázek 32: Ikona výsledné aplikace.....	39
Obrázek 33: Náhled na pracoviště.....	41

## Seznam grafů

Graf 1: VA charakteristika diody v propustném směru.....	42
Graf 2: VA charakteristika Zenerovy diody v propustném směru .....	42
Graf 3: VA charakteristika Zenerovy diody v závěrném směru.....	43
Graf 4: VA charakteristika Schottkyho diody v propustném směru .....	44
Graf 5: VA charakteristika Schottkyho diody v závěrném směru.....	44
Graf 6: Amplitudová charakteristika korekčního předzesilovače .....	45
Graf 7: Fázová charakteristika korekčního předzesilovače .....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Rezervované IP adresy pro síť LAN .....	26
----------------------------------------------------	----

## Seznam zkratk

A	Základní jednotka elektrického proudu Ampér
Hz	Základní jednotka frekvence Hertz
I	Elektrický proud
If	Elektrický proud v propustném směru
Ir	Elektrický proud v závěrném směru
LAN	Local area network
LED	Light-Emitting Diode
TK7	Označení učebny
U	Elektrické napětí
Ubr	Závěrné průrazné napětí (breakdown)
Uf	Propustné napětí
Up	Prahové napětí
Ur	Závěrné napětí
USB	Universal Serial Bus
V	Základní jednotka pro elektrické napětí Volt
VA	Voltampérová charakteristika
VI	Virtual instrument
VISA	Virtual instrument software architecture
Vpp	Napětí špička-špička
s	Základní jednotka času Sekunda
Sa/s	Počet vzorků za sekundu

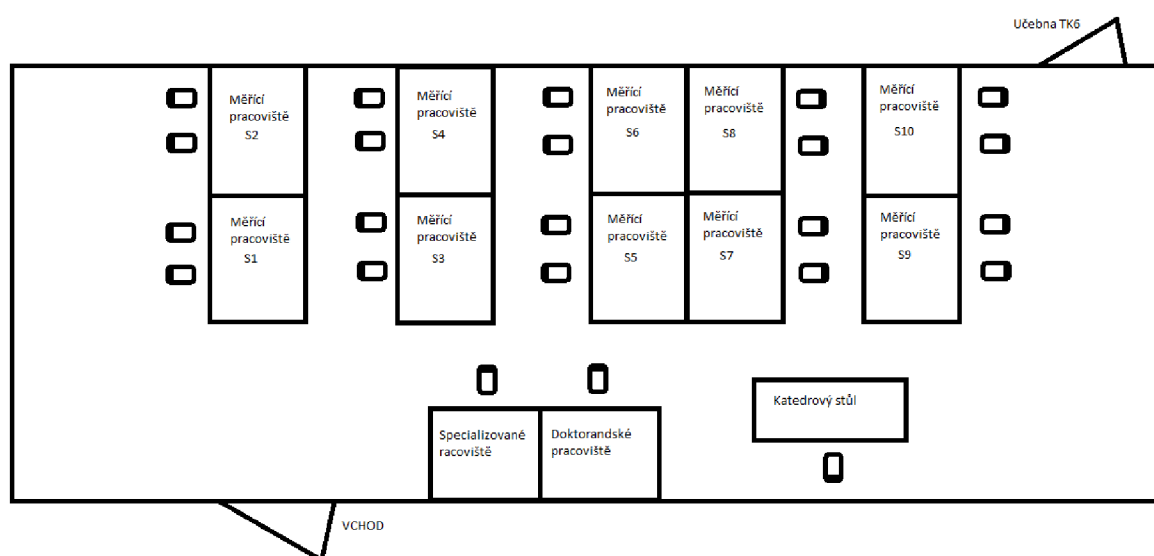
## 1 Úvod

Automatizace je stále populárnější ve světě kolem nás a zasahuje již téměř do každého odvětví. Měřicí technika tomu není výjimkou a tak v útrobách Technické univerzity v Liberci vznikl nápad na vytvoření automatizovaného pracoviště, na kterém by studenti i zaměstnanci školy mohli snáze proměřovat takřka cokoli, co budou pro svou práci potřebovat. Vyhnou se tím zdlouhavým procedurám, kdy je třeba postupně nastavit celou škálu hodnot, aby došlo k proměření celých charakteristik. Zaměřil jsem se proto na vytvoření aplikace ve vývojovém prostředí LabVIEW od National Instruments, které je vhodné pro tuto práci. Cílem je vytvořit uživatelsky příjemné prostředí, které dokáže komunikovat se všemi dostupnými měřicími přístroji. Následně bude aplikace testována na vybraných úlohách, které by měli odpovídat klasickým úlohám, měřených v této učebně. Tuto práci jsem si vybral i z důvodu, že jsme s LabVIEW měli pracovat při výuce, ale bohužel jsme s ním nepracovali tolik do hloubky, jak bych si představoval. Jelikož jsem viděl v tomto prostředí značný potenciál, chtěl jsem se mu věnovat více. Automatizované pracoviště se bude nacházet na půdě Fakulty Mechatroniky a mezioborových studií v budově A Technické univerzity v Liberci, v učebně TK7.



## 2 Možnosti zapojení přístrojů v učebně

Cílem této práce je využít dostupných prostředků, které nabízí učebna měřicí techniky TK7 a automatizovat pracoviště, které využívají hlavně studenti, při svých měření na cvičeních. Učebna obsahuje několik měřicích stanovišť. Měřicí pracoviště S1-S10 jsou ta pracoviště, pro která bude následující aplikace vytvořena, obsahují totiž stejnou sadu přístrojů, která je detailněji popsána v další podkapitole. Mimo měřicí přístroje, každé pracoviště disponuje počítačem, kde bude možné tuto aplikaci spustit a dostatečnými prostředky pro připojení přístrojů k počítači.



Obrázek 1: Schéma učebny TK7

### 2.1 NI LabVIEW

Prostředí LabVIEW, jejíž licenci univerzita vlastní, se nachází na jednotlivých počítačích v učebně. Takže jsem mohl pracovat na této práci i přímo v učebně.

LabVIEW je zkratkou z anglického „Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench“, což lze přeložit jako „Virtuální laboratoř pracovního stolu s měřicí technikou“. Jedná se o grafický programovací jazyk, který vznikl roku 1983 a byl poprvé vydán v roce 1986 společností National Instruments. [1]

Firmu NI založili v roce 1976 James Truchard (často označovaný jako Dr. T), Jeffrey Kodosky a William Nowlin, když pracovali na aplikacích sonaru pro americké námořnictvo na Texaské univerzitě (University of Texas) v Austinu. Dr. T přizval k řešení vhodného připojení testovacího zařízení k minipočítači DEC PDP-11 své kolegy a výsledkem jejich společného výzkumu byla myšlenka „virtuální instrumentace“. [1]

LabVIEW bylo původně vydáno v roce 1986 pouze pro Apple Macintosh a pomocí grafického jazyka „G“ bylo navrženo pro interakci s virtuálními přístroji za účelem provádění měření a vytváření automatizace. LabVIEW zůstalo produktem pouze pro Mac až do roku 1992, kdy NI vydalo verze pro SunOS a Windows. [2]

V současnosti zůstává proprietárním softwarem společnosti National Instruments, která ho udržuje pravidelným cyklem vydávání aktualizací a každý srpen vydává novou hlavní verzi. NI také vyvíjí obrovskou škálu hardwarových zařízení, která lze pomocí LabVIEW programovat a řídit, včetně nástrojů pro sběr dat, jako jsou čítače, časovače, senzory, analyzátoři signálů atd. [3]

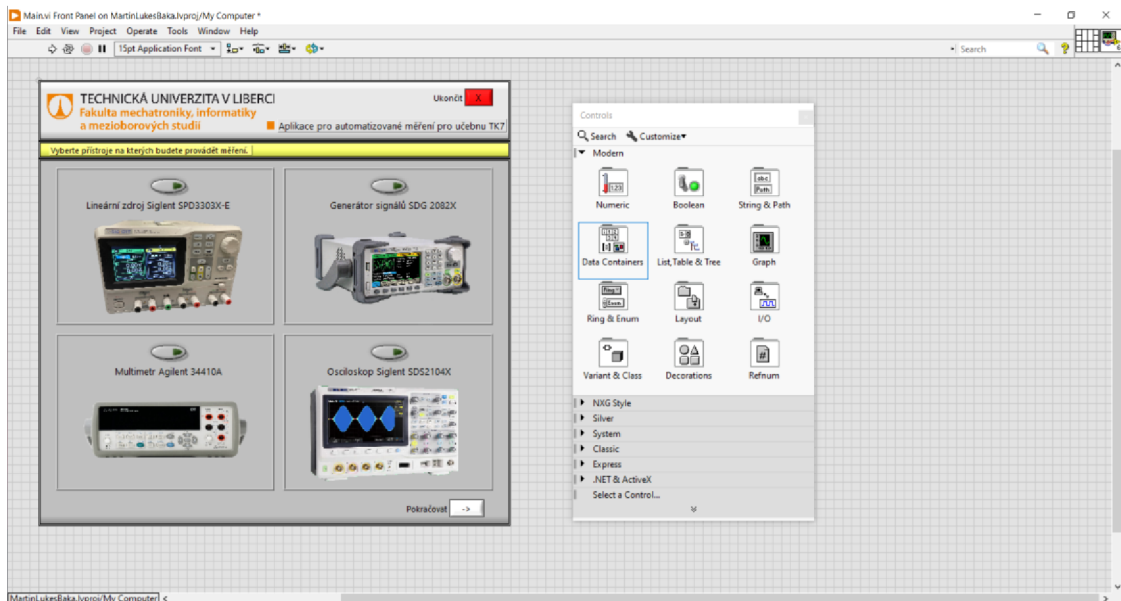
Má také několik klíčových funkcí, díky nimž je dobrou volbou v automatizovaném prostředí. Patří mezi ně jednoduchá síťová komunikace, implementace běžných komunikačních protokolů na klíč (RS232, GPIB atd.), výkonné sady nástrojů pro řízení procesů a přizpůsobení dat, rychlá a snadná konstrukce uživatelského rozhraní a efektivní prostředí pro provádění kódu. [3]

### **2.1.1 Virtuální nástroje (VI)**

Programy tvořené v LabVIEW se nazývají virtuálními nástroji neboli VI, protože jejich vzhledem a provozem napodobují fyzické přístroje, jako jsou osciloskopy, multimetry atd. LabVIEW obsahuje komplexní sadu nástrojů pro měření, analýzu, zobrazování a ukládání dat a také nástroje, které dokáží řešit případné problémy s kódem. LabVIEW obsahuje tři základní komponenty: Přední panel (Front panel), Blokové schéma (Block diagram) a Konektorové podokno (Connector pane).

#### **2.1.1.1 Front panel**

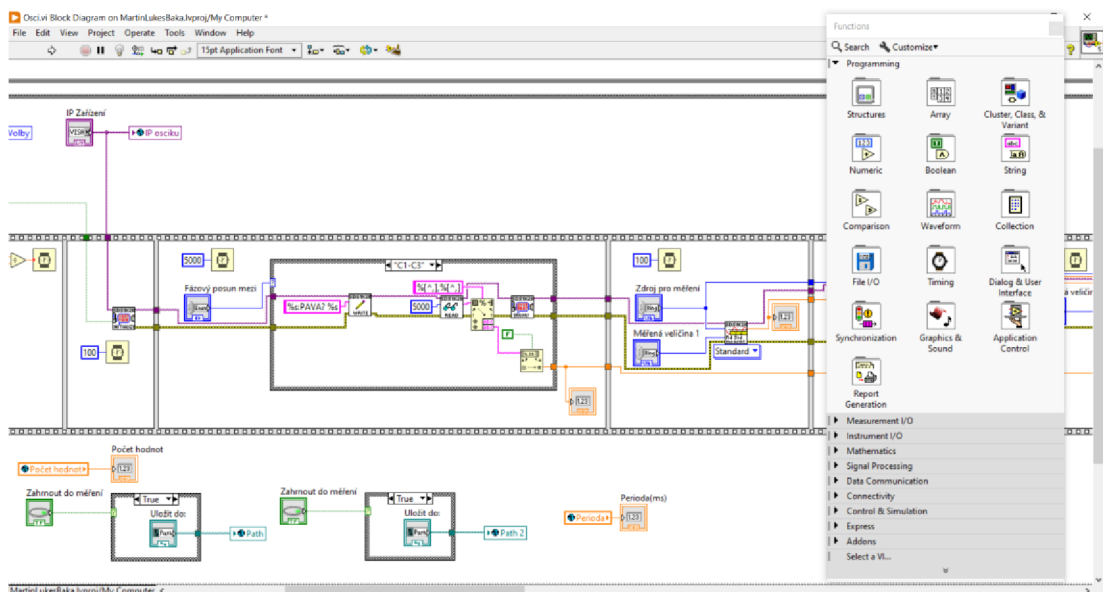
V LabVIEW se vytváří uživatelské rozhraní na předním panelu s ovládacími prvky a indikátory. Mezi ovládací prvky řadíme knoflíky, tlačítka, číselníky a další vstupní zařízení (viz Obrázek 2). Indikátory jsou grafy, LED diody a další displeje. Po vytvoření uživatelského rozhraní se přidá kód pomocí blokového diagramu k ovládání objektů na předním panelu.



Obrázek 2: Náhled předního panelu

### 2.1.1.2 Block diagram

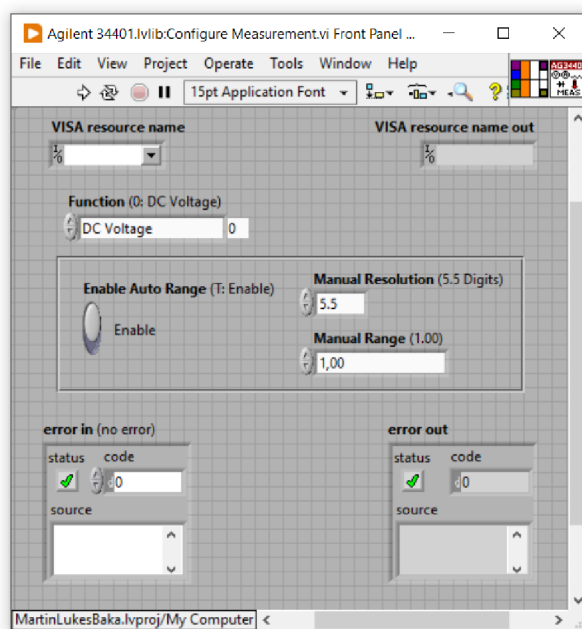
Block diagram obsahuje kód k patřičnému front panelu. V některých ohledech se blokové schéma podobá vývojovému diagramu, který ukazuje tok dat z jednoho prvku (uzlu) do dalšího. V textovém kódu je kód uvnitř programovací struktury uzavřen v závorkách, což ztěžuje rozlišení toho, co je ve struktuře a co je venku. V LabVIEW tomu tak není. Struktury jako: while smyčky, for smyčky a case struktury graficky obklopují a zahrnují kód, který se v něm nachází (viz Obrázek 3).



Obrázek 3: Náhled na blokové schéma

### 2.1.1.3 Connector pane

Panel konektorů definuje vstupy a výstupy VI připojením ovládacích prvků a indikátorů z front panelu ke svorkám na ikoně. Když VI spadne do blokového schématu jiného VI (stává se SubVI), jsou tyto svorky k dispozici pro připojení vodičů pro vstupy a výstupy. Příkladem je blok na Obrázek 4, pro čtení hodnot z multimetru, kde napravo můžeme vidět malý blok, který má nějaké vstupy nalevo a výstupy napravo. Když se tento malý blok rozklikne, objeví se front panel (nalevo), který umožňuje úpravu chodu tohoto bloku a zároveň i úpravu vstupů a výstupů. Panel konektorů se nachází v pravém horním rohu, kde barvy rozlišují jednotlivé typy připojení. Příkladem může být oranžová pro číslo, fialová pro VISA komunikaci, růžová pro text a například zelená pro hlášení chyb. Nastavení těchto konektorů je jednoduché, kdy stačí na jednotlivý vstup/výstup připojit nějaký prvek z front panelu.



Obrázek 4: Connector pane

## 2.1.2 Vybrané prvky blokového schéma

### 2.1.2.1 While smyčka

While smyčka je primitivní struktura, která opakuje kód v rámci svého sub diagramu, dokud není splněna logická podmínka. Kód v rámci jeho sub diagramu se provede alespoň jednou. Pokud podmínka není splněna, běží donekonečna. Takovou podmínkou může být například tlačítko pro ukončení nebo informace o dokončení požadované akce, pro kterou tato smyčka byla vytvořena.

### **2.1.2.2 For cyklus**

Je struktura, která bude provádět obsažený kód v konečném počtu cyklů. Počet opakování smyčky je zpočátku určen číselnou hodnotou zapsanou na svorku „N“ smyčky nebo velikostí pole zapojeného jako vstup do smyčky (pokud je pro vstupní tunel povoleno indexování). Druhá metoda určování počtu iterací je podobná struktuře For-Each z mnoha textových programovacích jazyků. For-Each je metoda využívající pole, kterou můžeme použít k provedení funkce na každém prvku v poli. Struktura se tedy liší od while smyčky v tom, že má konečný počet cyklů, které vykoná.

### **2.1.2.3 Case struktura**

Je primitivní struktura, která může mít více sub diagramů (také známý jako „case“), z nichž jeden je selektivně prováděný za běhu. Hodnota selektoru určuje, který case se provede za běhu. Struktura se automaticky přizpůsobuje datovému typu připojenému k selektoru případů a musí mít přesně jeden sub diagram pro každou možnou hodnotu připojeného datového typu nebo výchozí case pro zpracování nedefinovaných hodnot.

### **2.1.2.4 Funkční Globální proměnné**

Primárním využitím funkčních globálních proměnných je poskytování sdílení dat napříč celým projektem, horizontálně i vertikálně. Horizontální sdílení znamená, že více autonomních systémů nejvyšší úrovně, které běží samostatně, mohou mít všechny přístup ke stejným datům. Vertikální sdílení znamená, že subVI v jakékoli hloubce budou mít přístup k datům, aniž by vyžadovaly explicitní předávání parametrů terminály panelu konektorů VI. Dalším běžným použitím je zapouzdření některých funkcí, zejména funkcí, které jsou propojeny s trvalými daty nebo prostředky, jako jsou soubory nebo zařízení. Toto zapouzdření chrání prostředek a poskytuje rozšiřitelné rozhraní pro interakci s daty nebo prostředkem. Zapouzdření také umožňuje vyhnout se nepřehlednému množství posuvných registrů v jednom VI.

## 2.2 Měřené přípravky

Pro vzorovou úlohu, bylo třeba měřit dva přípravky, které tato podkapitola více popisuje.

### 2.2.1 Polovodičové součástky

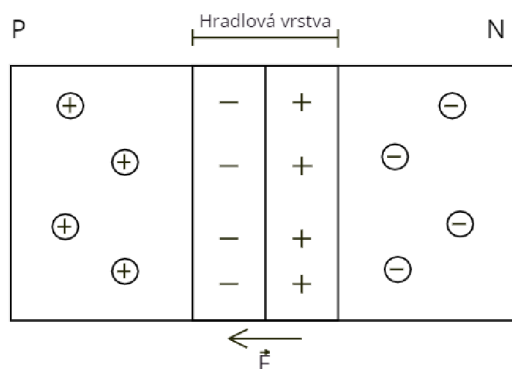
Polovodič je materiál, který se v čisté podobě zařazuje elektrickou vodivostí mezi vodiče a nevodíče. Jeho vodivost se silně mění s teplotou, dopadajícím světlem, uspořádáním krystalické mřížky a s obsahem příměsí. V tuhých látkách jsou vázány jednotlivé atomy navzájem do krystalické mřížky s více či méně rozsáhlou uspořádaností (monokrystalu, polykrystalu a amorfni látky). Na jádra atomů jsou vázány elektrony, přičemž elektrony blíže k jádru jsou vázány větší silou než elektrony vzdálenější od jádra. Tato "síla" se vyjadřuje jako vazebná energie neboli energie potřebná k úplnému osamostatnění daného elektronu z látky a v grafu se zobrazuje jako záporná. Elektrony s nejmenší vazebnou energií se nazývají valenční elektrony (známé z chemie jako elektrony které se podílejí na chemické vazbě), jejich vazebná energie vytváří v energetickém diagramu pásmo nazývané valenční pásmo či valenční pás. Některé elektrony jsou však schopné se od jádra odtrhnout a volně se pohybovat v látce (toto je podstatou elektrické vodivosti látky). Tyto elektrony jsou na látku vázány méně a tvoří tzv. vodivostní pásmo (vodivostní pás). Na odtržení elektronu od jeho jádra bylo nutné vynaložit nějakou energii, která v energetickém diagramu představuje mezeru mezi valenčním a vodivostním pásmem, což nazýváme zakázané pásmo. Šířka zakázaného pásma určuje i pravděpodobnost, že se za dané teploty dokáže odtrhnout dostatečné množství elektronů, čili přímo určuje elektrickou vodivost dané látky. U vodičů (většinou kovů) je šířka zakázaného pásma nulová, valenční a vodivostní pásmo se překrývají. U nevodíčů (izolantů) je šířka zakázaného pásma velká, pro představu více než asi 3 eV. U polovodičů je šířka zakázaného pásma mezi těmito hodnotami, typicky je kolem 1 eV.<sup>1</sup> [4]

---

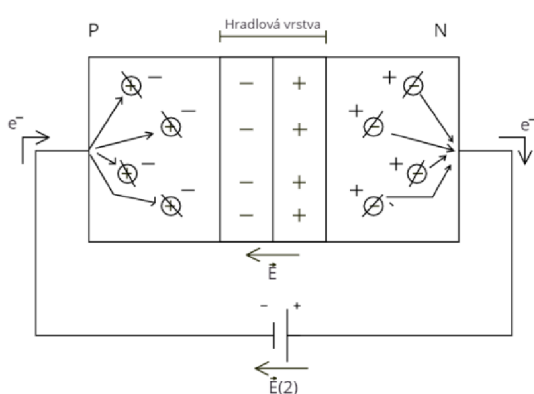
<sup>1</sup> eV - Elektronvolt je energie, kterou získá elektron nebo proton při urychlení napětím jednoho voltu.

### 2.2.1.1 PN přechod polovodičové diody

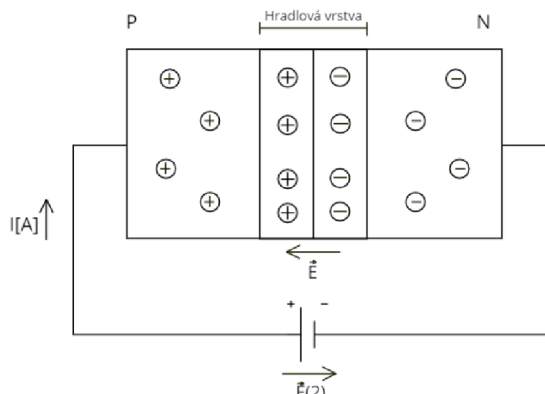
Každá dioda je tvořena dvěma polovodičovými prvky, jedním typu P a druhým typu N a mezi těmito polovodiči vzniká právě zmíněný PN přechod. Polovodič typu P obsahuje volně pohyblivé kladné náboje a polovodič typu N obsahuje volně pohyblivé záporné náboje. V místě doteku či nejbližšího místa mezi polovodiči P a N, působí kladné „díry“ polovodiče P na volně pohyblivé elektrony polovodiče N. Elektrony z polovodiče N pak přechází do polovodiče P a dochází k rekombinaci. Když přejde záporný elektron do polovodiče P, vznikne v původně neutrálním prostředí většina kladných nábojů, tyto kladné náboje nejsou pohyblivé. Naopak v polovodiči typu P vznikají pevně vázané elektrony na místo děr, které po přechodu záporných elektronů, zaplnili určitý počet děr. V oblasti přechodu, tak vzniká tenká dvouvrstva vázaného elektrického náboje. V polovodiči typu P, je to náboj záporný a v polovodiči typu N, je to náboj kladný. Tato tenká vrstva se nazývá tzv. „Hradlová vrstva“, která má své vlastní elektrické pole, které míří od vrstvy s kladným nábojem, do vrstvy se záporným nábojem. Diodu můžeme do obvodu připojit dvěma způsoby, v propustném směru a závěrném směru. [5]



Obrázek 5: PN přechod polovodičové diody



Obrázek 6: Zapojení v závěrném směru



Obrázek 7: Zapojení v propustném směru

Zapojení v závěrném směru se provádí připojením záporného pólu zdroje k polovodiči typu P a kladný pól je připojen k polovodiči typu N. Jelikož v polovodiči typu P se nachází kladné díry, rekombinují se zápornými elektrony, které přichází ze záporného pólu a zároveň v polovodiči typu N, který obsahuje záporné elektrony, dochází k rekombinaci s dírami, které přichází z kladného pólu. V tomto případě se hradlová vrstva rozšíří do celého objemu diody. Dioda poté neobsahuje žádné pohyblivé nosiče s nábojem a tak jí nemůže téct proud.

V opačném případě, kdy je kladný pól zdroje připojen na polovodič typu P a záporný pól na polovodič typu N, vytváří zdroj elektrické pole, které je opačné oproti elektrickému poli hradlové vrstvy. Kladný pól zdroje přitahuje elektrony z polovodiče typu N, ale v cestě jim stojí hradlová vrstva se svým opačně orientovaným elektrickým polem. V případě, že zdroj má silnější elektrické pole, mohou elektrony projít do hradlové vrstvy a hradlová vrstva, která původně neobsahovala pohyblivé nosiče náboje, přestává existovat. V celém objemu polovodičů P i N, je dostatek pohybujících se nosičů s nábojem a proud diodou prochází. Napětí potřebné k přerušení hradlové vrstvy se označuje, jako napětí prahové, které se u každého druhu diody liší (viz Úp na Obrázek 8). [5]

### **2.2.1.2 Dioda**

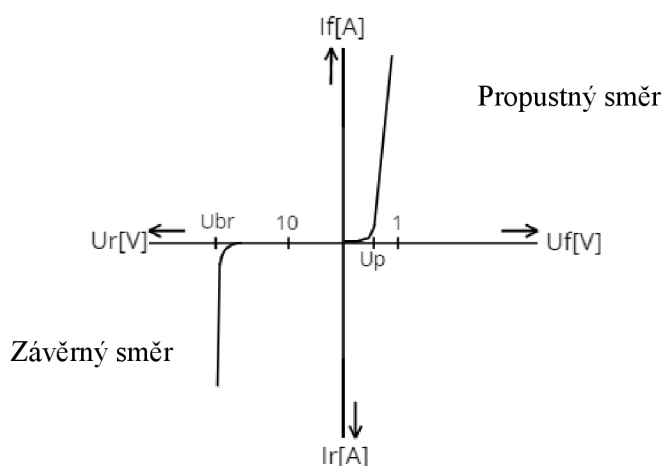
Dioda je elektronická součástka se dvěma elektrodami, která (ideálně) vede elektrický proud pouze jedním směrem. Říkáme, že proud usměrňuje. Nejdůležitější typ je usměrňovací dioda (starší vakuová, dnes polovodičová). Je určena na výkonové usměrnění střídavého napětí. Vydrží do tisíce voltů v závěrném směru a běžně jednotky až desítky ampérů v propustném směru. Výkonové usměrňovací diody, které se montují na chladiče (svářečky, usměrňovače pro trolejbusy atp.), snesou stovky ampérů v propustném směru. Úbytek napětí na křemíkové diodě v propustném směru je cca 0,7 V. Kromě usměrňování proudu se diody používají jako tepelný a světelný senzor, emitor světla, filtr signálu, spínač, demodulátor a podobně. [4]

### **2.2.1.3 Zenerova dioda**

Je křemíková plošná polovodičová dioda s velmi tenkým průchodem PN. Při působení napětí v závěrném směru vzniká ve vyprázdněné oblasti tak velká intenzita elektrostatického pole, že se vytrhávají elektrony z vazeb krystalové mřížky. To má za následek prudký vzrůst minoritních nosičů náboje. Při dosažení určitého napětí v závěrném směru nastane ne-destruktivní průraz a prudce stoupne proud. V této oblasti připadá na malou změnu napětí



velká změna proudu. Tento druh průrazu se nazývá Zenerův průraz a napětí, při kterém nastává, se nazývá Zenerovo napětí. V propustném směru se Zenerova dioda chová jako běžná usměrňovací dioda. V závěrném směru nastává jev Zenerova průrazu (v závislosti na konstrukci PN průchodu) od napětí cca 3 V. Průmyslově vyráběné Zenerovy diody se konstruují s ohledem na určitou konkrétní hodnotu Zenerova napětí. Využívají se v usměrňovačích a stabilizátorech napětí. [4]



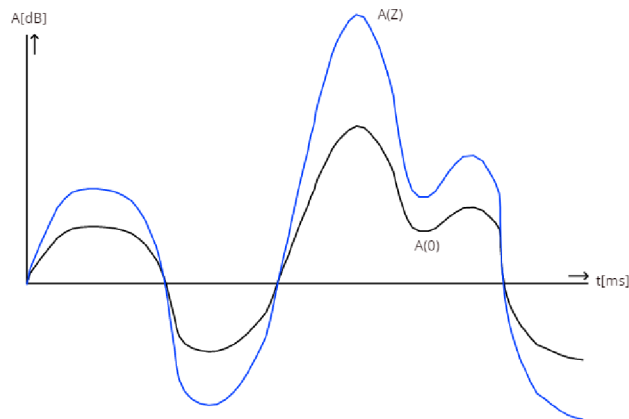
Obrázek 8: Vzorová VA charakteristika Zenerovy diody

#### 2.2.1.4 Schottkyho dioda

Je polovodičová dioda využívající usměrňovací vlastnosti průchodu kov-polovodič. Má menší úbytek napětí v propustném směru, jako obyčejné usměrňovací diody, ale je schopna odolávat menším napětím v závěrném směru (10 až 150 V) oproti normálním diodám. Schottkyho diody jsou velmi rychlé (reverzní čas zotavení v jednotkách ns). Obě tyto vlastnosti je předurčují pro usměrňovací aplikace ve spínaných zdrojích. [4]

#### 2.2.2 Elektronický zesilovač

Je elektronické zařízení, které může zvýšit výkon signálu (časově proměnného napětí nebo proudu). Jedná se o dvouportový elektronický obvod, který využívá elektrickou energii z napájecího zdroje ke zvýšení amplitudy signálu přiváděného na jeho vstupní svorky a na svém výstupu vytváří proporcionálně větší amplitudový signál. Míra zesílení poskytovaná zesilovačem se měří jeho ziskem: poměr výstupního napětí, proudu nebo výkonu ke vstupu. Zesilovač je obvod, který má energetický zisk větší než jedna. [6]

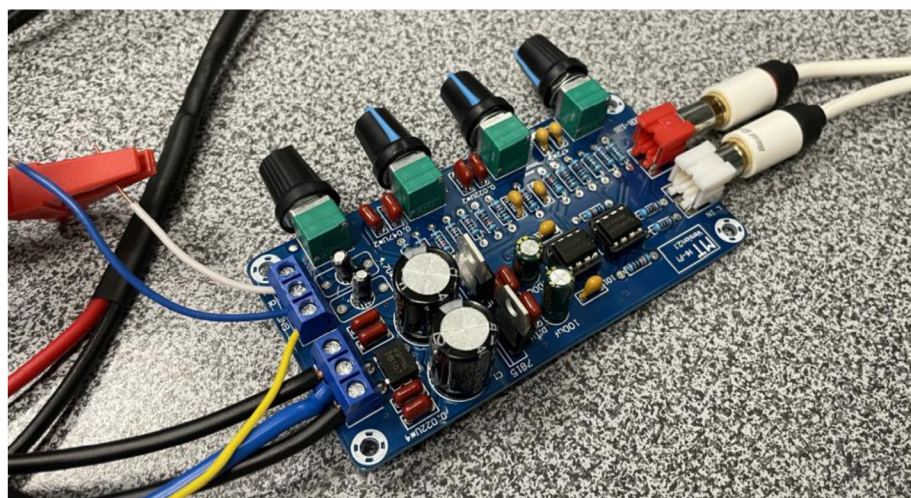


Obrázek 9: Ilustrační zesílení amplitudy signálu

### 2.2.2.1 Korekční předzesilovač MT HI-FI version 2.1

Tato stereofonní obvodová a výšková předzesilovačová deska NE5532, která se často používá v hudebním průmyslu, má výrobní původ v Číně a je označována jako L1099, WS16, MT Hi-Fi a XY Hi-Fi. Využívá integrované obvody operačního zesilovače NE5532 k produkci přibližně desetinásobného zisku pro basové, altové (střední) výšky a hlasitost, což vytváří kompletní řešení předzesilovače pro připojení k výkonovému zesilovači. Tento předzesilovač je obvykle k dispozici jako sada připravená k použití.

Deska plošných spojů měří 53 mm × 114 mm (přibližně) a má stereofonní vstupní zásuvky RCA (standard pro připojení audio nebo video přenosu), zatímco výstup je přes šroubovou svorkovnici. Pracuje na rozdělené napájecí lince a následně vyžaduje vyvážené střídavé napětí se středovým uzemněním. Výrobce doporučuje 12 V až 18 V střídavého napětí, pro napájení obvodu pomocí tří-pinové šroubové svorky. [7]



Obrázek 10: Korekční předzesilovač MT HI-FI version 2.1

## 2.3 Použité přístroje

V této podkapitole jsou podrobněji popsány přístroje, které se nachází v učebně TK7 a se kterými pracuji ve své práci.

### 2.3.1 Digitální multimetr

Moderní multimetry jsou již s několika výjimkami pouze digitální a to díky své přesnosti, odolnosti a zvláštním vlastnostem. V digitálním multimetru je testovaný signál převeden na napětí a zesílen elektronickým zesilovačem na požadovanou úroveň. Digitální multimetr zobrazuje měřenou veličinu jako číslo, což eliminuje chyby odečítání. Moderní digitální multimetry mohou mít zabudovaný počítač, který poskytuje mnoho praktických funkcí. Dostupná vylepšení měření, jako například automatické měřítko, které vybere správný rozsah pro testované množství tak, aby se zobrazily nejvýznamnější číslice. Například čtyřmístný multimetr by automaticky vybral vhodný rozsah pro zobrazení 12,34 mV místo 0,012 V. Přístroje s automatickým nastavením rozsahu obvykle zahrnují zařízení, které drží přístroj v určitém rozsahu, protože měření, které způsobuje časté změny rozsahu, může uživatele rušit. Automatická polarita pro odečty stejnosměrného proudu, ukazuje, zda je aplikované napětí kladné (souhlasí se štítky vodičů měřiče) nebo záporné (opačná polarita než vodiče měřiče). [8]

#### 2.3.1.1 *Multimetr Agilent 34410A*

Je přístroj měřící širokou škálu měřících veličin, jakou jsou:

- Napětí a proud – stejnosměrné nebo střídavé hodnoty (skutečné efektivní)
- Elektrického odporu – metodou dvou vodičového či čtyřvodičového zapojení
- Kmitočet a perioda
- Kapacita
- Teploty – termistorem nebo RTD (odporovým teplotním detektorem)

Dále poskytuje funkce:

- Zkoušky propojení a diod
- Automatické nebo manuální nastavení rozsahu
- Matematické funkce – Nulování, dB, dBm<sup>2</sup>, testování mezí a statické výpočty
- Displej tohoto přístroje disponuje rozlišením 6 a půl digitu.
- Pro potřeby zapojení do systému ostatních přístrojů se nabízí zapojení přes USB nebo LAN. [9]



Obrázek 11: Agilent 34410A

### 2.3.2 Lineární zdroj napětí a proudu

Většina zdrojů elektrické energie je navržena jako zdroje napětí. Ideální zdroj napětí neposkytuje žádnou elektrickou energii, pokud je zaveden prostřednictvím otevřeného obvodu (tedy nekonečné impedance), ale poskytuje nekonečnou energii a proud, když je odpor zátěže blíží se k nule (zkratu). Takové teoretické zařízení by mělo nulovou výstupní impedanci v sérii se zdrojem. Skutečný zdroj napětí má velmi nízký, ale nenulový vnitřní odpor a výstupní impedanci, často mnohem menší než  $1 \Omega$ . Naopak zdroj proudu poskytuje konstantní proud, pokud je zátěž připojena ke svorkám zdroje s dostatečně nízkou impedancí. Ideální zdroj proudu neposkytuje žádnou energii při zkratu, ale blíží se k nekonečnu, když se odpor zátěže blíží nekonečnu (otevřený obvod). Ideální zdroj proudu má nekonečný výstupní impedanci paralelně se zdrojem. Reálný zdroj proudu má velmi vysokou, ale konečnou výstupní impedanci. V případě tranzistorových proudových zdrojů je typická impedance několika  $M\Omega$  (při nízkých frekvencích). [11]

<sup>2</sup> Taktéž, jako „decibel-miliwatt“ je jednotka úrovně používaná k označení, že úroveň výkonu je vyjádřena v decibelech (dB) s odkazem na jeden mW. Neboli úroveň výkonu 0 dBm odpovídá výkonu 1 mW. Zvýšení úrovně o 10 dB odpovídá deseti násobnému zvýšení výkonu. [10]

### 2.3.2.1 Lineární zdroj Siglent SPD3303X-E

Tento lineární stejnosměrný napájecí zdroj se používá k napájení obvodů stejnosměrným napětím a proudem.

Charakteristiky tohoto zdroje [12] :

- U zdroje lze nastavovat dva výstupy napětí a proudu s rozsahy ( $U = 0$  až  $+32V$  a  $I = 0$  až  $+3,2A$ ) a jedním přepínatelným výstupem pro napětí  $U = 2,5 V/3,3 V/5 V$  a proud  $I = 3,2 A$ .
- Displej pracuje s rozlišením 4 digitů pro napětí (10 mV) a 3 digitů pro proud (10 mA).
- Pro potřeby zapojení do systému ostatních přístrojů se nabízí zapojení přes USB nebo LAN.



Obrázek 12: Siglent SPD3303X-E

### 2.3.3 Digitální osciloskop

Zatímco analogová zařízení používají neustále se měnící napětí, digitální zařízení používají čísla, která odpovídají vzorkům napětí. V případě digitálních osciloskopů převádí analogově-digitální převodník naměřená napětí na digitální informace. Analogové osciloskopy byly téměř úplně nahrazeny digitálními, s výjimkou použití výhradně při nižších frekvencích. Značně zvýšené vzorkovací frekvence do značné míry eliminovaly zobrazování nesprávných signálů, známých jako „aliasing“. Problém může nastat, když si například prohlédnete krátký úsek opakujícího se průběhu, který se opakuje v intervalech tisíckrát delších, než je sledovaný úsek. [13] O tom vypovídá vzorkovací věta, kdy musí být vzorkovací frekvence alespoň dvakrát větší, než frekvence vzorkovaného signálu, jinak bude docházet k aliasingu (zkreslení původního signálu a nemožnost vyčíst správný průběh). [14]



### 2.3.3.1 Osciloskop Siglent SDS2104X

Tento digitální osciloskop [15] disponuje mimo jiné:

- Čtyřmi měřicími kanály s šířkou 100 MHz, které lze zobrazit na displeji s úhlopříčkou 8“ a rozlišením 800x480 px.
- Časovou základnou 1 ns/dílek – 50 s/dílek.
- Rychlostí vzorkování 2 GSa/s.
- Možnostmi vzdáleného ovládání přes USB a LAN.



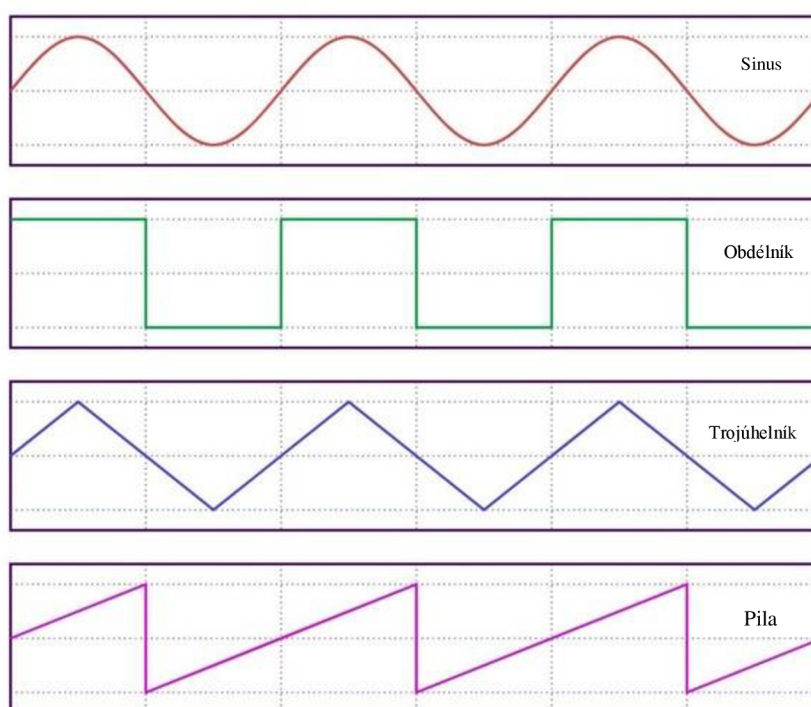
Obrázek 13: Siglent SDS2104X

### 2.3.4 Funkční generátory

Slouží ke generování velké škály signálů, které mohou vystupovat ze dvou kanálů. Základní nastavení, nám umožňuje přepínat například mezi průběhy sinovými, obdélníkovými, pilovitými nebo pulzním signálem, stejnosměrným signálem a signálem libovolným. Můžeme ho použít například pro simulace ideálních průběhů, které můžeme porovnávat s reálnými průběhy na měřených součástkách. Následně lze oba tyto průběhy zobrazit současně například na osciloskopu. Generátory jednoduchých funkcí obvykle generují trojúhelníkový signál, jehož frekvenci lze regulovat plynule i v krocích. Tento trojúhelníkový signál se používá jako základ pro všechny její další výstupy. Trojúhelníkový signál je generován opakovaným nabíjením a vybíjením komparátoru ze zdroje konstantního proudu. To vytváří lineárně vzestupnou a sestupnou napěťovou rampu. Jakmile výstupní napětí dosáhne horní nebo dolní meze, nabíjení nebo vybíjení je obráceno pomocí komparátoru, což vytváří signál lineárního trojúhelníku. Změnou proudu a velikosti kondenzátoru lze dosáhnout různých frekvencí. Pilovitý signál lze vyrobit pomalým nabíjením kondenzátoru nízkým proudem a pro rychlé vybíjení se využívají diody místo proudového zdroje. Jelikož polarita diody mění polaritu výsledného pilovitého zubu, což znamená pomalý nárůst a rychlý pokles, nebo rychlý nárůst a pomalý pokles.

Obdélníkový signál lze z poloviny případů snadno získat zjištěním, zda je kondenzátor nabitý nebo vybitý, což se odráží ve výstupu proudu komparátoru. Další pracovní cykly lze získat pomocí komparátoru a signálu pilového tvaru nebo trojúhelníku. Většina funkčních generátorů také obsahuje nelineární obvod pro tvarování diod, kterým dokáže převést trojúhelníkový signál na přiměřeně přesný sinusový signál pomocí zaoblení rohů trojúhelníkového signálu v procesu podobném ořezávání zvukových systémů. [16]

Běžný generátor funkcí může poskytovat frekvence až 20 MHz. Vysokofrekvenční generátory pro vyšší frekvence nejsou generátory funkcí v užším slova smyslu, protože obvykle produkují pouze čisté nebo modulované sinusové signály. [16]



Obrázek 14: Tvary funkcí signálu [17]

#### 2.3.4.1 Generátor signálů Siglent SDG 2082X

Funkcemi tohoto generátoru [18] jsou například:

- Kmitočtové pásmo 1  $\mu$ Hz – 80 MHz s maximální úrovní až 20 Vpp
- Výstupní amplituda s dynamickým rozsahem až 80dB
- Vzorkovací frekvence 1,2 GSa/s
- Možnosti nastavitelných signálů: sinus, obdélník, trojúhelník, stejnosměrný signál, puls, burst a libovolného signálu vytvořeného pomocí hodnot obsažených v nahraném souboru.



Obrázek 15: Siglent SDG 2082X

## 2.4 Možnosti propojení

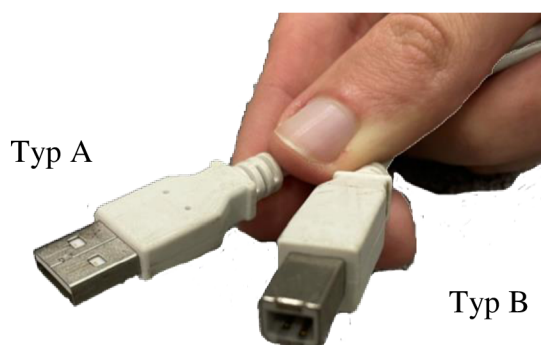
Jelikož všechny uvedené přístroje disponují připojením přes USB nebo Ethernet (LAN), je níže uvedený popis těchto dvou možností a důvod mého výběru daného zapojení.

### 2.4.1 USB

Universal Serial Bus (USB) byl původně navržen pro připojení periferních zařízení, jako jsou klávesnice a myši, k počítačům. Ukázalo se však užitečné pro mnoho dalších aplikací, včetně měření a automatizace. USB poskytuje levné a snadno použitelné spojení mezi zařízeními pro sběr dat a počítači. USB 2.0 má maximální teoretickou šířku pásma 60 MB/s, kterou sdílejí všechna zařízení připojená k jednomu řadiči USB. Zařízení USB jsou ze své podstaty latentní a indeterministická. To znamená, že jednobodové datové přenosy nemusí nastat přesně podle očekávání, a proto se USB nedoporučuje pro řídicí aplikace s uzavřenou smyčkou, jako jsou různé regulátory. Na druhou stranu má sběrnice USB několik charakteristik, které usnadňují její používání, než některé tradiční interní sběrnice PC. Zařízení, která se připojují pomocí USB, jsou připojitelná za provozu, takže eliminují potřebu vypnutí počítače kvůli přidání nebo odebrání zařízení. Sběrnice má také automatickou detekci zařízení, což znamená, že uživatelé po připojení nemusí ručně konfigurovat svá zařízení. Po instalaci softwarových ovladačů by měl operační systém detekovat a nainstalovat zařízení samostatně. Ale zároveň absence determinismu je taktéž problém při připojení více zařízení pomocí plug and play na jeden port, jelikož si zařízení mohou navzájem konkurovat a síť tím oslabit. Kabel USB má na obou koncích kovové konektory. Konektor typu „A“ je plochý a široký. Tento konec se připojuje do počítače. Mnoho počítačů má USB porty na přední i zadní straně. Ty lze identifikovat podle symbolu trojzubce, který ukazuje středně velký kruh spojený se třemi liniemi. Jedna čára končí ve čtverci, druhá v menším kruhu a druhá v trojúhelníku. Konektor „B“ se připojuje



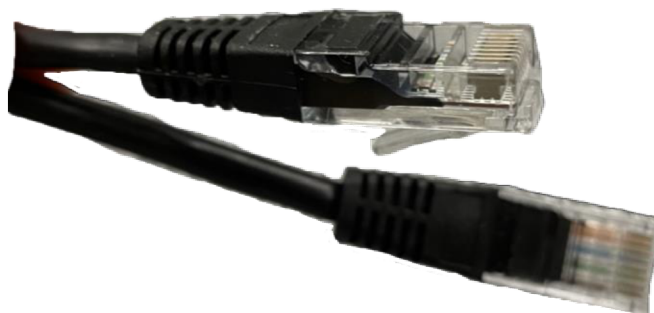
k danému zařízení. Tato zástrčka má specifický tvar, viz Obrázek 16, takže ji nelze do zařízení vložit nesprávným způsobem.



**Obrázek 16: Koncovky kabelu USB**

### 2.4.2 Ethernet

Ethernet je vysokorychlostní síťový protokol, který se používá především k připojení lokálních sítí (LAN), ale pokud zařízení připojíte k počítači pomocí této sítě, bude pravděpodobně nutné nainstalovat ovladače ručně. Přes to je Ethernet páteří téměř každé podnikové sítě na světě, a proto je široce dostupný. Jako sběrnice pro DAQ (přeloženo ze zkratky, jako „různá zařízení pro sběr dat“) je Ethernet ideální pro provádění přenosných nebo distribuovaných měření na vzdálenosti větší než 5 m délky kabelu. Jeden ethernetový kabel se může prodloužit o 100 metrů, než bude potřeba rozbočovač, prepínač nebo opakovač. Tato vzdálenost v kombinaci s velkou instalační základnou sítí v laboratořích, kancelářích a výrobních zařízeních činí z Ethernetu ideální volbu pro distribuci měření do vzdálených míst. Ethernet neřeší, jaký konec připojíte k pc a který do zařízení, jelikož jsou oba konce stejné. Koncovka disponuje plastovou „pacičkou“, která slouží ke správnému zapojení a navíc jako zámeček, aby kabel pevně držel v zástrčce (viz Obrázek 17).



**Obrázek 17: Koncovky ethernetového kabelu**

## 2.5 Parametry lokální sítě LAN

Níže jsou popsány parametry, které byly nutné nastavit při vytváření sítě, pro zapojení přístrojů k počítači.

### 2.5.1 IP adresa

Adresa internetového protokolu (IP adresa) je číselný štítek přiřazený každému zařízení připojenému k počítačové síti, které pro komunikaci používá internetový protokol. IP adresa slouží ke dvěma hlavním funkcím: identifikace hostitelského nebo síťového rozhraní a adresování polohy. Internetový protokol verze 4 (IPv4) definuje adresu IP jako 32bitové číslo. Kvůli růstu internetu a vyčerpání dostupných adres IPv4 však byla v roce 1998 standardizována nová verze protokolu IP adres (IPv6) využívající 128 bitů pro adresu IP. Nasazení protokolu IPv6 probíhá od poloviny prvního desetiletí 21. století. [19]

### 2.5.2 Netmask

Neboli „Subnet mask“ a česky „maska podsítě“. Pro IPv4, síť může být také charakterizována jejími maskami podsítě neboli síťovými maskami, což označujeme jako maskování. Pokud se aplikuje pomocí bitového součinu operace na jakoukoli adresu IP v síti, poskytuje směrovací prefix. Masky podsítě jsou také vyjádřeny v desítkové soustavě jako adresa. [20] Jelikož dochází rychlému zabírání dostupných IP adres v síti internetu, bylo rezervováno několik IP adres pro lokální síť LAN (viz Tabulka 1: Rezervované IP adresy pro síť LAN). [21]

Tabulka 1: Rezervované IP adresy pro síť LAN

Rozsah adres	Maska podsítě	Poskytuje	Počet dostupných adres
10.0.0.0 - 10.255.255.255	255.0.0.0	třída A	16 777 216
172.16.0.0 - 172.31.255.255	255.255.0.0	třída B	65 536
192.168.0.0 - 192.168.255.255	255.255.255.0	třída C	256

### 2.5.3 Gateway

Brána („Gate“) je síťový uzel, který slouží jako přístupový bod do jiné sítě a často zahrnuje nejen změnu adresování, ale také odlišnou síťovou technologii. Přesněji definovaný směrovač pouze předává pakety mezi sítěmi s různými předponami sítě. Zásobník síťového softwaru každého počítače obsahuje směrovací tabulku, která určuje, které rozhraní se používá pro pře-

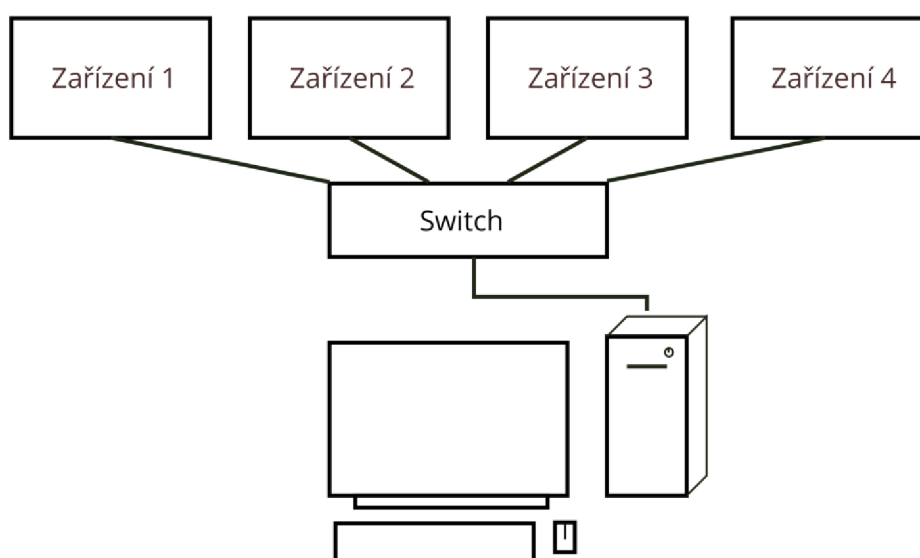
nos a který směrovač v síti je odpovědný za předávání na konkrétní sadu adres. Pokud žádné z těchto pravidel předávání není pro danou cílovou adresu vhodné, vybere se jako směrovač poslední instance výchozí brána. Výchozí bránu lze určit příkazem „route“ pro konfiguraci směrovací tabulky uzlu a výchozí trasy.

V domácím nebo malém kancelářském prostředí je výchozí bránou zařízení, jako je směrovač DSL nebo kabelový směrovač, který připojuje místní síť k Internetu. Slouží jako výchozí brána pro všechna síťová zařízení. Systémy podnikové sítě mohou vyžadovat mnoho segmentů interní sítě. Zařízení, které si přeje komunikovat s hostitelem na veřejném internetu, například přeposílá paket na výchozí bránu pro svůj síťový segment. Tento směrovač má také výchozí trasu nakonfigurovanou k zařízení v sousední síti, o jeden směr blíže k veřejné síti. [22]

## 2.6 Konečné propojení

Jelikož u zapojení pomocí USB hrozí konkurence zařízení a indeterminismus. Zvolil jsem zapojení pomocí Ethernet kabelů a rozbočovače („switch“), které jsem zapojil do mnou vytvořené lokální sítě LAN.

Pro správnou komunikaci, byly třeba nastavit ručně u zařízení síťové parametry (IP adresa, Netmask, Gateway a MAC). IP adresa byla nastavena, tak aby byla pro všechny zařízení identická, až na poslední hodnotu, která dostala číslo, podle pořadí daného zařízení, jako například počítač dostal první pořadové číslo (192.168.0.1) a další pak následovali (192.168.0. 2-5).



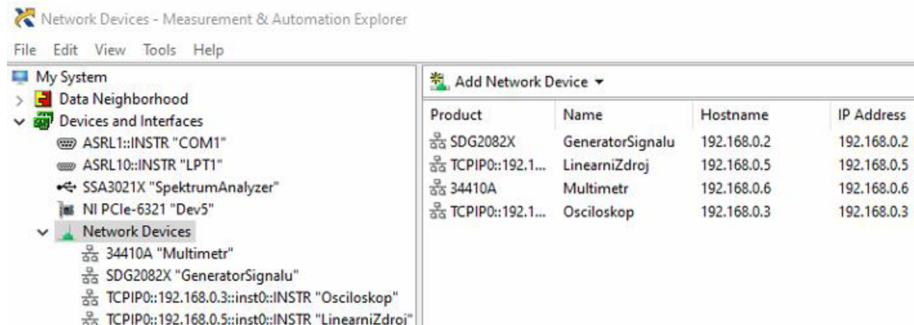
Obrázek 18: Schéma zapojení

### 3 Program v prostředí LabVIEW

V této kapitole se nachází informace a postupy týkající se mého programu, který jsem začal tvořit po zapojení přístrojů, které již byly zmíněny (multimetr Agilent 34410A, lineární zdroj Siglent SPD3303X-E, osciloskop Siglent SDS2104X a generátor signálů Siglent SDG 2082X). Začal jsem tak s využitím LabVIEW z roku 2016 vytvářet prostředí, ve kterém by mohl kdokoliv snadno a přehledně měřit jakékoliv veličiny, které mu dané přístroje umožní.

#### 3.1 Konfigurace zařízení

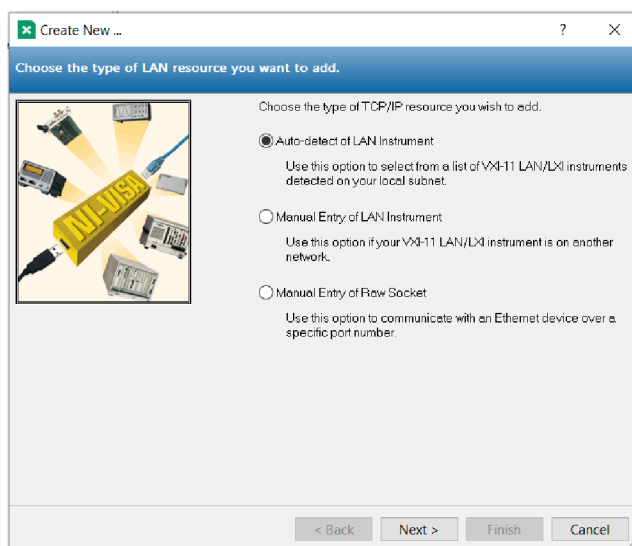
Pro zapojení zařízení pomocí různých metod, je třeba si doinstalovat potřebné ovladače, které lze získat v aplikaci, která se instaluje již s prostředím LabVIEW a to v doplňku VI Package Manager (VIPM), kde lze doinstalovat jakékoliv další doplňky. Pro detekci zařízení v síti LAN, bylo třeba doplňku NI-VISA („Softwarové architektury virtuálních nástrojů“), který umožňuje také detekci pomocí síťového protokolu TCP/IP. Celé toto nastavení se provádí v doplňku Measurement and automation explorer, který je dostupný v panelu nástrojů prostředí LabVIEW.



Obrázek 19: Náhled do doplňku Measurement and automation explorer

Pokud by bylo třeba přidat či upravit připojované zařízení je třeba určit, jakým způsobem zapojení provedeme. Po zapojení pomocí USB si musíme dát pozor jen na nepřiliš velký počet zařízení v jednom portu, pokud tuto podmínku splňujeme, tak díky funkci plug and play se zařízení automaticky rozezná v položce Devices and Interfaces, jako je to například u spektrálního analyzátoru. Pokud budeme zapojovat zařízení pomocí lokální sítě LAN, je třeba toto zařízení ručně přidat a to tak, že si rozklikneme Network Devices/Add Network Device a zvolíme VISA TCP/IP Resources. Po té se objeví okno s možnostmi, jak toto zařízení přidat, mimo jiné i automatické hledání viz Obrázek 20. Pokud aplikace zařízení pomocí automatického

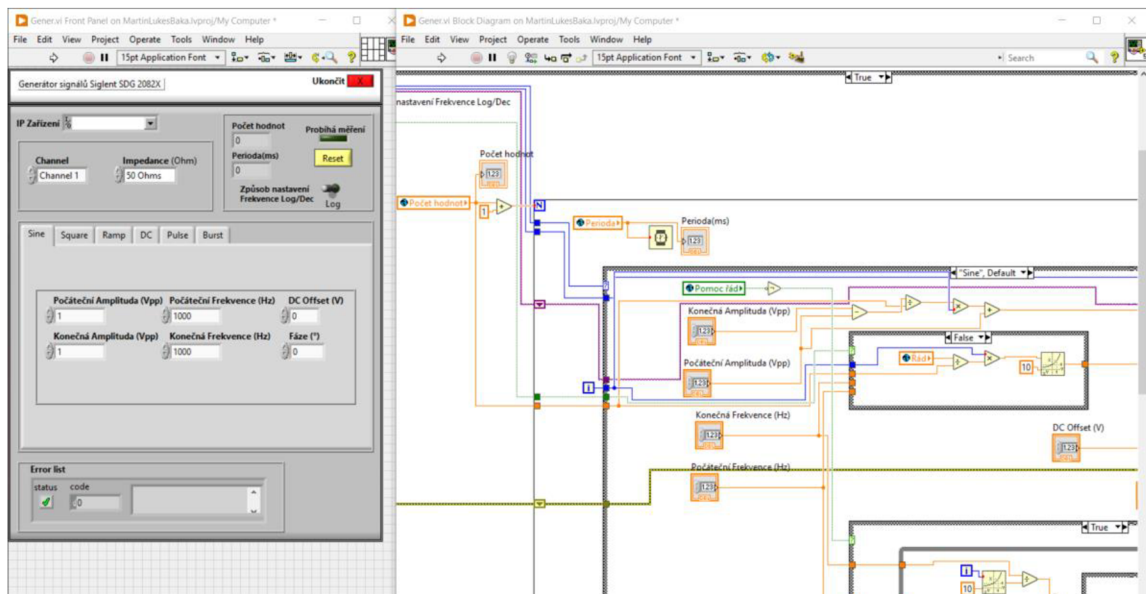
hledání nenalezne, musí se přidat zařízení ručně o možnost níže, kde stačí zadat IP adresu příslušného zařízení a aplikace už zařízení propojí s LabVIEW.



Obrázek 20: Vytvoření nového propojení

### 3.2 Program

Po úspěšném zapojení všech zařízení jsem si vytvořil první VI, což je základním stavebním kamenem programů napsaných v jazyku G. Je to podobné jako funkce nebo podprogram v jiných programovacích jazycích. Zahrnuje přední panel (obsahující ovládací prvky a indikátory), blokové schéma (obsahující ovládací terminály, vodiče, struktury a různé další uzly „G objekty“). Na Obrázek 21, který je níže, lze vidět náhled jednoho takového VI, které přísluší generátoru Siglent SDG 2082X. Vlevo na obrázku lze vidět přední panel, který je vidět v dobu, kdy program bude aktivní, tudíž na něm lze měnit parametry za běhu a u jiných přístrojů hodnoty i automaticky odečítat. Na pravé straně se nachází blokové schéma, které přes svou složitost a nemožnost oddálení rozhraní, není možné zobrazit celé. Nachází se tam výpočty, které jsou potřebné pro správné měření, jako jsou výpočty změn například amplitudy nebo dokonce změn frekvence logaritmicky, čtení a zápis do globálních proměnných či ukládání do souborů.



Obrázek 21: Náhled předního panelu a blokového schéma

### 3.2.1 Hlavní obrazovka

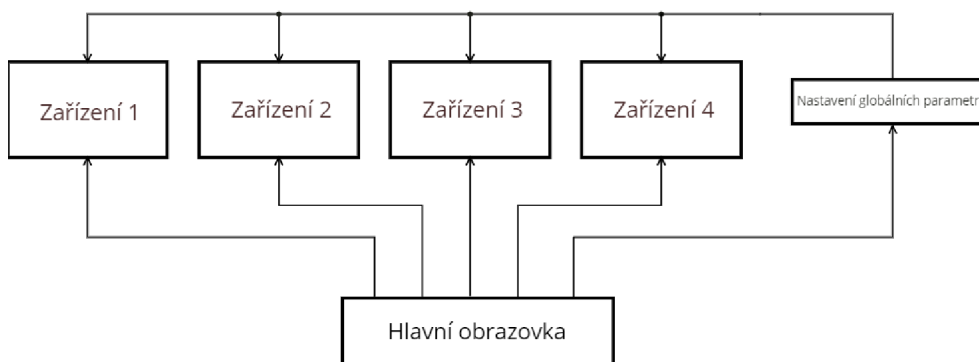
Celý program běží na základě synchronizace tvořené jedním z VI, to znamená, že veškerá nastavování a odečítání hodnot probíhají v jeden okamžik (viz Obrázek 22). Toto řízení je vedeno hlavní obrazovkou (viz Obrázek 22), na které si dotyčný vybere přístroje, na kterých bude chtít měřit a stiskne tlačítko pokračovat. Přístroje jsou na hlavní obrazovce vyobrazeny, jako png obrázky, aby si byl dotyčný jistý, že spouští VI pro zařízení, které opravdu chce. Pod nimi se nachází Boolean tlačítko On/Off, pro selekci daného zařízení. Jakmile tak učiní, otevrou se přední panely vybraných přístrojů, na kterých bude probíhat další nastavování parametrů, možnosti měření či určení cesty pro uložení naměřených hodnot. Spolu s vybranými zařízeními se spustí i malé okno, pro nastavování globálních proměnných, které slouží k synchronizaci jednotlivých VI. Obsahuje totiž pole k nastavení počtu měřených hodnot, periody, po jaké se budou měření a odečítání hodnot vykonávat a také obsahuje tlačítko „Měřit“, které spustí měření ve všech otevřených VI naráz. Tyto nastavení umožňují globální proměnné, do kterých lze zapisovat v VI Nastavení globálních parametrů, aby dále roznášely dané hodnoty do všech ostatních VI, kde se stejné globální proměnné používají ke čtení. Schéma VI Hlavní obrazovky je tvořené pouze while smyčkou, která obsahuje šestkrát strukturu s VI příslušnými zařízení a VI Nastavení globálních parametrů, tak aby se po stisknutí tlačítka „Pokračovat“ označená VI vyvolala. Bohužel touto metodou běží synchronně pouze VI vyvolaná hlavní nabídkou, avšak VI hlavní nabídky, pro další akce, musí čekat na doběhnutí všech VI, které samo vyvolalo. Toto je nepříjemný efekt cyklů v LabVIEW, které nelze zastavit ani pomocí funkce „Loop Condition“, která by toto měla zajistit. Jedná se například o situaci, kdy



běží nějaký for cyklus, který ještě nedoběhl nebo u VI hlavní nabídky se čeká na doběhnutí jednoho cyklu while smyčky, který trvá tak dlouho, jako celé měření.



Obrázek 22: Náhled předního panelu Hlavní obrazovky

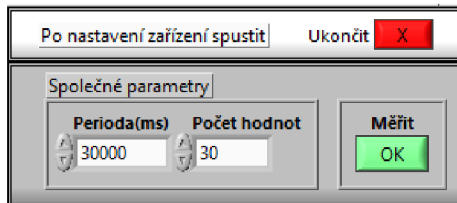


Obrázek 23: Hierarchie jednotlivých VI

### 3.2.2 Nastavení globálních parametrů a synchronizace

Jak bylo uvedeno výše, toto VI slouží k nastavení globálních proměnných, které dopomáhají k synchronnímu chodu celého programu. Jedná se o opravdu malé okénko (viz Obrázek 24), které tyto kritické parametry nastavuje, a to pomocí for cyklu, který proběhne tolikrát, kolik je nastaveno počtu hodnot k měření. Čas mezi měřeními je nastavován v políčku periody. Tento for cyklus byl přidán, až v pozdější fázi programování, jelikož bylo třeba lepší synchronizace všech VI. Cyklus by měl být nastaven tak, aby se veškeré nastavování či odečítání stihlo pohodlně provést. Doporučuje se tak nastavit periodu, podle nejpomalejšího zařízení v síti. Tento cyklus se spouští po aktivaci tlačítka „Měřit“, které následně nastaví globální proměnné pro

všechna VI na požadované hodnoty. Po uplynutí části programu v jednotlivých VI se nic ne-  
 děje, zůstává nastavená poslední hodnota a další hodnota se neodečítá. Čeká se na uplynutí  
 periody, aby for cyklus ve VI Nastavení mohl spustit další průběh obsahující nastavování  
 i odečítání v jednotlivých VI.



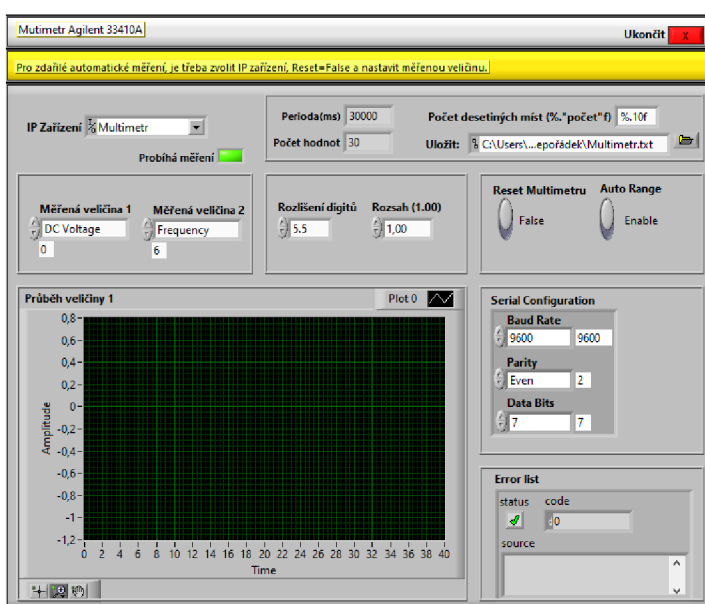
Obrázek 24: Náhled předního panelu Nastavení globálních parametrů

### 3.2.3 VI Multimetru Agilent 34410A

Schéma tohoto zařízení obsahuje strukturu, která běží o jeden cyklus déle oproti uvedené  
 hodnotě počtu hodnot. Z důvodu zaznamenání i posledního cyklu, který poběží na zařízení  
 a nastavuje hodnoty i na lineárním zdroji nebo generátor signálů. Během jednoho cyklu se po-  
 postupně změří a zaznamená první i druhá nastavená veličina, kterou si může kdokoliv vybrat  
 z velké škály možností, které této multimetr nabízí.

Dostupné veličiny jsou:

- Stejnoseměrné napětí
- Střídavé napětí
- Dvou vodičová metoda měření odporu
- Čtyřvodičová metoda měření odporu
- Stejnoseměrný proud
- Střídavý proud
- Frekvence
- Perioda
- Kontinuita
- Kontrola diod
- Poměr VDC:VDC
- Teplota
- Kapacita



Obrázek 25: Náhled předního panelu Multimetru Agilent 34410A



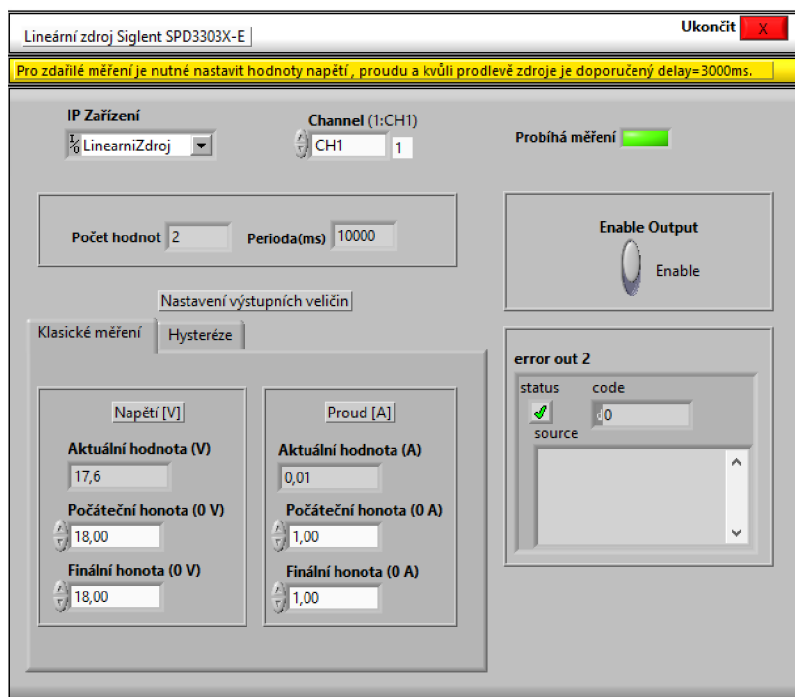
Pro měření postupně první nastavené veličiny a následně druhé, je ve struktuře zavedená takzvaná „plochá sekvence“, která je navržena pro provedení i několika kroků po sobě, aniž by bylo třeba nastavování struktur pomocí například posuvných registrů. Aby měření proběhlo zdárně, musí být nastavena správně adresa IP daného multimetru, reset multimetru musí být vypnutý a musí být správně nastaveny veličiny ke čtení. Pokud se cesta pro uložení nevyplní před zahájením měření, program vybědne k uložení do souboru po jeho skončení. To však nedoporučuji, jelikož kdybychom tuto cestu nenastavili třeba i u osciloskopu, mohlo by se stát, že by nebylo jasné, jaké hodnoty jsou z jakého kanálu či dokonce zařízení. Během celého měření můžeme sledovat průběh měřené veličiny 1 na grafu ve spodní části panelu (viz. obrázek 25). Zápis hodnot do grafu jsou čistě kontrolní záležitostí, zda nám měření jde podle plánu a hodnoty nám nešplhají někam, kam by neměly. Hodnoty na osách X a Y se budou automaticky měnit, aby se přizpůsobily aktuálnímu průběhu a zároveň je nastavena přesnost na šest desetinných míst. Tyto parametry lze měnit pomocí „Properties“ dostupných pod pravým tlačítkem myši, kde lze vypnout auto scale, nastavit tvrdé meze i přesnost zobrazených hodnot. Přesto tato funkce bude třeba doladit a vypilovat, jelikož se nabízí například funkce, která zobrazovat do grafu dvě měřené veličiny mimo času, který je v základním nastavení. Taktéž bych rád dokázal nastavit, aby se ukládalo do souboru přímo daný průběh z grafu například do obrázku jpg. Mimo to se po dokončení měření ukládají hodnoty do souboru, který si zvolíme. U tohoto zařízení si můžeme vybrat mezi textovým dokumentem i souborem xml (Microsoft Office Excel). Hodnoty se ukládají do sloupců (viz Obrázek 26). V prvním sloupci se zaznamená aktuální datum, následně čas, měřená veličina 1 a v posledním sloupci měřená veličina 2. V pravém horním rohu VI multimetru, lze taktéž nastavit přesnost desetinných míst, na která se budou data ukládat a jelikož se automaticky ukládá i datum, které vyžaduje 8 těchto míst, je dobré nastavit 8, jako minimum.

	A	B	C	D
1	06.05.2021	19:45	-1,98E-01	-2,07E-06
2	06.05.2021	19:46	2,81E-08	-2,20E-06
3	06.05.2021	19:47	2,83E-05	-6,77E-05

Obrázek 26: Náhled uložených hodnot

### 3.2.4 VI Lineárního zdroje Siglent SPD 3303X-E

Schéma tohoto zařízení se podobá schématu předchozího multimetru. Základem je struktura, pro nastavování hodnot, která se spouští po stisknutí tlačítka „měřit“ pokaždé po uplynutí periody, jak bylo zmíněno výše a ta je umístěna ve while smyčce, která může být ukončena po stisku tlačítka „Ukončit“ (viz. Obrázek 27) a ukončí tak toto VI. Pro toto zařízení, byl program vytvořen tak, aby bylo možné měřit i různé hystereze a tím měřit pomocí dvou výstupů ze zdroje, aby nedocházelo ke zkratu. Pro tyto měření se program automaticky upraví po překliknutí na stránku „Hystereze“. Na této stránce je třeba nastavit obě polaritu zvlášť, kdy první polarita má pevně nastavený výstupní kanál 1 a druhá polarita má nastavený výstupní kanál 2. Zároveň při nastavování počáteční a konečné hodnoty, je možné nastavit konečnou hodnotu nižší a nastavované hodnoty se tak budou automaticky snižovat. Jelikož blok pro zadávání hodnot ve schématu zvládne číst a nastavovat napětí i proud najednou, není třeba používat sekvenci, jako to bylo u předešlého multimetru. Pro automatické měření je, kromě dobře nastavené IP adresy zařízení, nutné nastavit oba parametry, jak pro napětí, tak i proud. I když budeme chtít nastavovat automaticky pouze napětí, je třeba do obvodu poslat alespoň nějaký proud, avšak i ten si zdroj upraví, takže pokud si nastavíte, že na výstupu vyžadujete proud o velikosti 1 A, může zdroj ve výsledku vydávat jen proud o velikosti 0,1 A. Toto záleží na zapojeném obvodu, který má na toto vliv. Dále doporučuji při měření se zdrojem Siglent SPD3303X-E, pracovat s periodou vyšší než 3 s, jelikož zdroj trvá cca 2,5 s nastavení hodnot, po té co je obdržel od programu. Pokud by byla perioda nižší, mohlo by se tak stát, že by například měření o deseti nastavených hodnotách proběhlo, ale zdroj by během něj stihl nastavit jen polovinu z nich, což by vedlo k nezdařenému měření. Pro kontrolu, zda zdroj nastavuje hodnoty správně, lze sledovat ukazatele aktuálních hodnot na předním panelu. Pokud budete chtít na konci měření ponechat hodnoty na výstupu nulové, je automaticky nastavené, že po skončení měření se tak učiní. Ovšem mnohokrát se mi stalo, že hodnoty napětí se z nějakého důvodu nastavily na maximum. Toto lze ošetřit proběhnutím ještě jednoho „měření“ pouze s tímto lineárním zdrojem a ponechat Enable Output v pozici Disable. Pokud ponecháte zapnuté VI i pro přístroje, které data odečítají a ukládají, je třeba tyto soubory zálohovat, proti možnému přepsání, či měření vypnout před jeho koncem, po té co na zdroji zhasnou indikátory zapnutých výstupů.



Obrázek 27: Náhled předního panelu Lineárního zdroje Siglent SPD3303X-E

### 3.2.5 VI Generátoru signálů Siglent SDG 2082X

Oproti předchozím zařízením generátor, krom hlavní struktury, disponuje i strukturou ovládanou pomocí přepínání záložek. To znamená, že se jádro schéma dokáže přepínat podle toho, na jakou záložku se právě díváte. U tohoto zařízení to byla velmi vítaná možnost, jelikož disponuje velkým množstvím nastavitelných hodnot u jednotlivých typů průběhů. Opět je nutné před začátkem měření zvolit správnou IP zařízení pro správnou komunikaci mezi programem a generátorem funkcí. Novinkou je přepínání mezi druhy signálu na výstupu, které lze ovládat jen přepínáním záložek (viz střed Obrázek 28). Jak je vidět na obrázku, hlavními parametry které se lze nastavovat automaticky jsou amplituda ( $V_{pp}$ ) a frekvence například pro sinus.

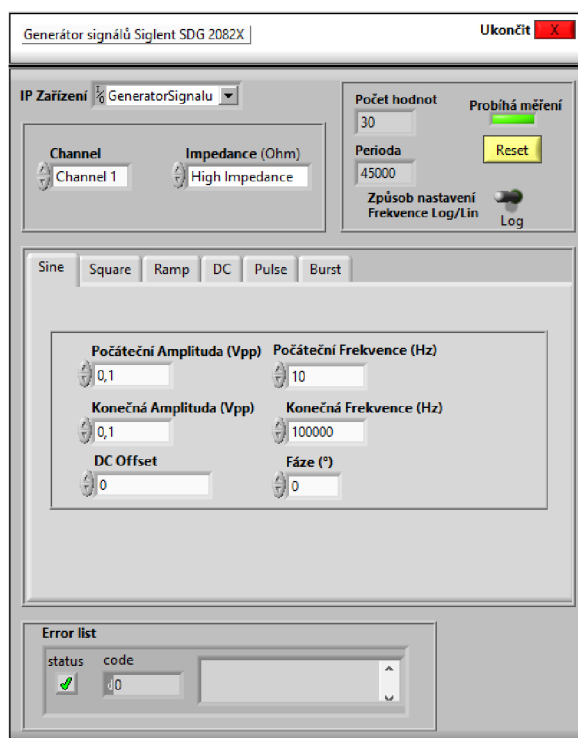
U funkcí obdélník a trojúhelník lze automaticky měnit i hodnotu střídání. Pro automatické nastavování frekvence je možný výběr mezi logaritmickým a lineárním způsobem. Lineární způsob je řešen stejně, jako u předchozích zařízení, kdy iterace for cyklu je míněná iterace cyklu v VI nastavení, který tak synchronizuje i tento generátor (3.1):

$$\text{Nastavovaná hodnota} = \text{Počáteční hodnota} + \left( \text{iterace for cyklu} * \frac{\text{Konečná hodnota} - \text{Počáteční hodnota}}{\text{Celkový počet hodnot}} \right) \quad (3.1)$$

Pro logaritmickou variantu bylo potřeba vymyslet nový způsob (3.2) :

$$\text{Nastavovaná hodnota} = 10^{\left( \text{iterace for cyklu} * \left( \frac{\text{řád}}{\text{Celkový počet hodnot}} \right) \right)} \quad (3.2)$$

Kdy řád je vypočítán pomocí dělení konečné frekvence desíti do doby, než se nerovná nastavené počáteční frekvenci. Během toho se načítá do řádu +1 za každé vydělení desíti a následnou nerovnost. Jakmile se dělená konečná hodnota bude rovnat, výsledný řád se použije pro výpočet nastavované hodnoty. Tento způsob bohužel neumožňuje nastavení počátečních a konečných frekvencí, které by nebyly ve tvaru  $10^Z$ , kdy Z odpovídá všem celým číslům a současně mocnina u konečné frekvence musí být vyšší, než u počáteční. Tyto dva způsoby lze při nastavování měnit snadno po přepnutí páčky, pod tlačítkem „reset“, které dokáže nastavit generátoru výchozí hodnoty. Krom již uvedených funkcí sinus, obdélník a trojúhelník, lze nastavovat i pouze úroveň u stejnosměrného signálu či rozsáhleji nastavovat funkce pulz a burst. Generátor taktéž nabízí možnost arbitrary, což i jak překlad naznačuje, umožňuje mít na výstupu libovolný signál, jehož parametry odpovídají hodnotám dodaných v nahraném souboru. Tuto funkci jsem do práce nezahrnoval, jelikož se jedná spíše o takovou nadstavbu a potřeboval jsem svůj čas věnovat spíše do nastavování osciloskopu, který byl více problematický.



Obrázek 28: Náhled předního panelu Generátoru signálů Siglent SDG 2082X

### 3.2.6 VI Osciloskopu Siglent SDS 2104X

Vytváření části programu pro tento osciloskop, přineslo mnoho obtíží. Původním způsobem, kdy jádrem schéma byl for cyklus, který se staral o počet odečtení hodnot za nastavený čas.

Docházelo k mnoha chybám, které byly označovány, jako chyby knihoven. Z prvotního zapojení, kdy jsem si cvičně zapojil jen jednoduchý obvod a odečítal jen jednu hodnotu, jsem věděl, že je možné hodnoty odečítat. Ovšem po zakomponování for cyklu to možné nebylo. Dlouhou dobu jsem pracoval s různými možnostmi, jak i přes měření for cyklem zanechat hlavní funkci odečítání hodnot. První dobrou zprávou bylo, že bylo možné hodnoty odečítat po zavedení podprogramu. Ten měl na starosti pouze auto scale, který je pro měření potřeba, jelikož bez něj by se hodnoty mnohem více lišily od pravdy, než by se tomu mohlo dít nyní.

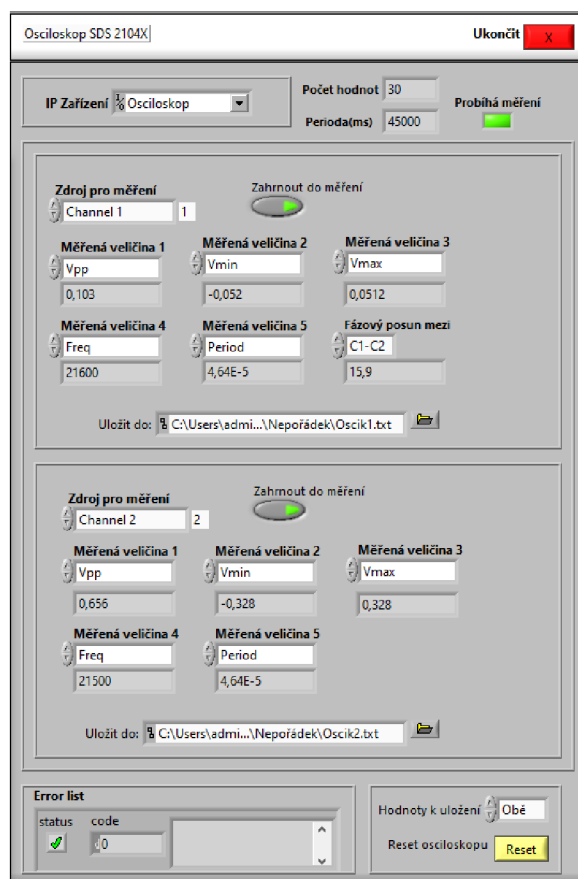
I přes zavedení tohoto podprogramu nebylo možné spuštění bez chyby v odečítání, proto bylo nutné program od začátku přestavit. Pracoval jsem s myšlenkou, že pokud budu odečítat hodnoty bez for cyklu, mohl bych dojít k funkčnímu měření. Proto jsem zakomponoval for cyklus již do VI Nastavení, pomocí kterého jsem spustil vždy jedno odečtení hodnot osciloskopu. Tato úprava vyžadovala úpravy i ve všech ostatních VI a nejen odstranění for cyklů, ale hlavně v nastavování hodnot a také v jejich ukládání. Bylo třeba zavést i spoustu dalších globálních proměnných, které sloužily například k ukládání naměřených hodnot. Hodnoty se po odečtení zapsaly do proměnné, jejíž čtení se muselo nacházet v nově vytvořené for smyčce, aby bylo zachováno formátování, kdy se data z jednotlivých časových úseků ukládala chronologicky pod sebe. Prakticky toto ukládání pracovalo na principu toho, že si for cyklus dané hodnoty, které mu postupně docházely od jednotlivých proměnných, ukládal do paměti a po ukončení for cyklu je předal do bloku k uložení do souboru. For cyklus tak shromažďoval pole o jedné dimenzi, ze kterého se výstupem z for cyklu stalo pole dvourozměrné. I přes tyto úpravy nebyl program ideální a docházelo k chybnému ukládání hodnot, jelikož se hodnoty ukládaly jen celočíselně i přes nastavenou přesnost například šesti desetinných míst. Proto jsem zkoumal knihovny, které měly hodnoty odečítat, a byl jsem nucen si tyto knihovny přizpůsobit. Nyní již program dokáže hodnoty bez problémů odečítat ve formátu, který umožní rychlou práci s daty (viz. Obrázek 29).

10.05.2021	17:13	2,060000E+0	1,000000E+2	1,000000E-2	1,040000E+0	-1,020000E+0	0,000000E+0
10.05.2021	17:14	4,120000E+0	3,160000E+2	3,160000E-3	2,080000E+0	-2,040000E+0	0,000000E+0
10.05.2021	17:14	6,120000E+0	1,000000E+3	1,000000E-3	3,080000E+0	-3,040000E+0	0,000000E+0
10.05.2021	17:15	8,320000E+0	3,160000E+3	3,160000E-4	4,160000E+0	-4,160000E+0	0,000000E+0

**Obrázek 29: Ukládání dat z osciloskopu**

Hodnoty jsou ukládány v pořadí: datum, čas měření a následně naměřené hodnoty seřazené od měřené hodnoty 1 po měřenou hodnotu 5 a v případě „horních“ hodnot se poslední ukládá hodnota posunu fáze mezi vybranými kanály. Pokud bude třeba měřit méně než 5 různých hodnot, bohužel zatím není možné nějaké měření vynechat, doporučuji proto vybrat nahodile

nějakou odlišnou měřicí veličinu a podle pořadí hodnot (viz Obrázek 30) smazat příslušné sloupce, které jsou v tuto chvíli navíc. Je nutno dbát na to, že tak jako se dá určit pořadí volným si mezi různými měřicími veličinami, u fáze tomu tak není a je jí přidělen vždy poslední sloupec v záznamu. Mimo jiné je třeba, tak jako u předchozích přístrojů nastavit správně IP adresu příslušného osciloskopu, dále vybrat veličiny či parametry, které budete chtít měřit, vybrat cestu pro uložení hodnot a nakonec jen spustit odečítání přes VI Nastavení.



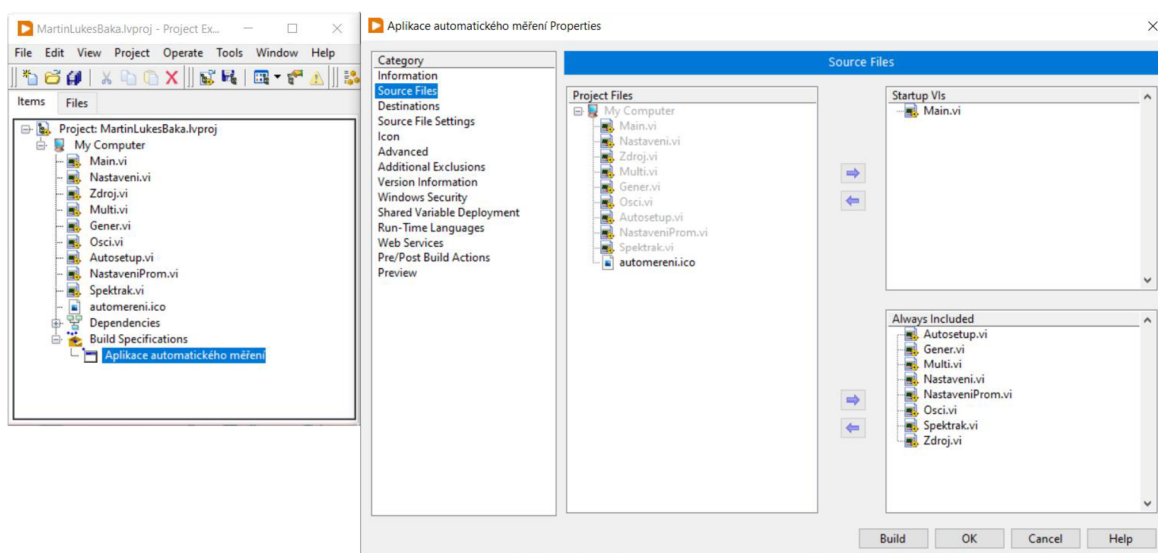
Obrázek 30: VI Osciloskopu Siglent SDS 2104X

### 3.3 Export aplikace do spustitelného souboru EXE

Jelikož cílem bylo vytvořit aplikaci, která by byla spustitelná na jakémkoliv počítači, jak v učebně tak případně i mimo ní, je záhodné se oprostít od závislosti nad prostředím, ve kterém byl tento program psán, jelikož zařízení s licenci není mnoho. Napadlo mě tak vytvořit aplikaci, která bude snadno spustitelná prostřednictvím spustitelného souboru s příponou exe. Zkoumal jsem tedy jak k exportu aplikace docílit a zjistil jsem, že na tento krok je třeba zvláštní licence, kterou univerzita bohužel nedisponuje. Zařídil jsem si tak přístup k verzi LabVIEW, která tuto licenci vlastní a umožní mi tak tuto aplikaci exportovat. Samotný export, pak probíhá v záložce Build specification, na kterou když klikneme pravým tlačítkem my-



ši, objeví se možnosti exportu. Pokud program obsahuje licenci, objeví se mu v kategorii New možnost pod názvem Application (EXE). Následně se zobrazí okno s nastavením, kde lze nastavit vše potřebné. Jedna z hlavních věcí, je obsah výsledné aplikace. Obsah se definuje ve druhé záložce Source Files viz Obrázek 31. Pomocí šipek lze přesouvat prvky dosavadního projektu buď do kategorie Startup VIs nebo Always included. Do Startup VIs patří VI, jejíž front panely se mají spustit, při spuštění aplikace. Kategorie Always Included na druhou stranu obsahuje pomocná VI, buď taková, jejíž front panel se po výzvě otevře, pro možná nastavení nebo taková, která běží pouze na pozadí. Takovým VI je například NastaveniProm, ve kterém jsou obsažené globální proměnné, se kterými pracují téměř všechna VI. Po nastavení všech parametrů se export dokončí stiskem tlačítka Build v pravém dolním rohu okna. Následně se aplikace sestaví do předem určeného adresáře.



Obrázek 31: Náhled do tvoření souboru exe

Tímto způsobem jsem vytvořil svou aplikaci, která nese jednoduchý název „Automatické Měření“ a disponuje mnou vytvořenou ikonou viz Obrázek 32. Výsledkem této bakalářské práce je verze aplikace 1.0, kterou bych rád ještě rozváděl a v dalších verzích přidával další možnosti pro měření i například nějakých specifických typů měření.



Obrázek 32: Ikona výsledné aplikace

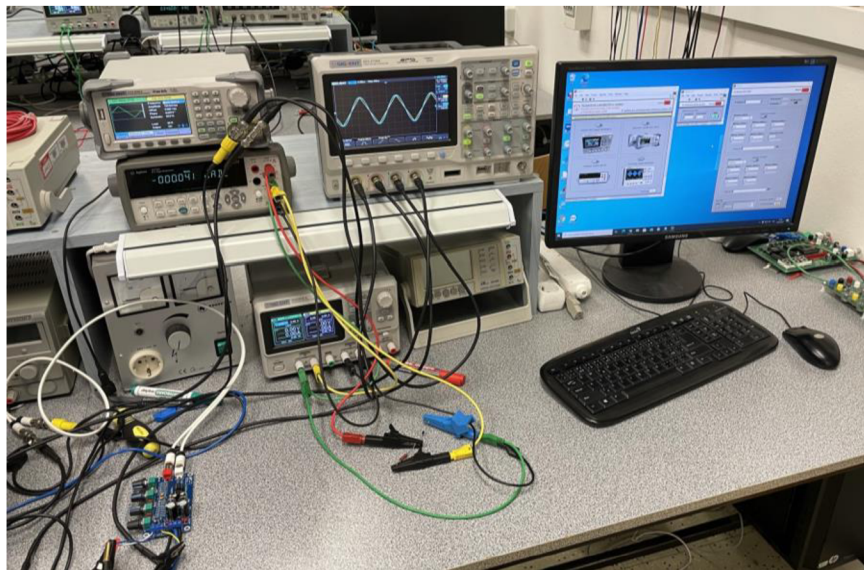
### **3.3.1 Potíže s počítači neobsahující LabVIEW**

Po exportování do aplikace exe jsem však zjistil, že jí není možné spustit na počítači, který neobsahuje aplikaci LabVIEW 2020, na které byla tato aplikace exportována, ale zároveň nás aplikace vybídne ke stažení takzvaného LabVIEW 2020 Runtime, který umožní spuštění této aplikace i přes absenci licencí na jakékoli z verzí LabVIEW. Kdyby byla aplikace exportována ve verzi LabVIEW, která by byla starší, nežli dostupná verze na univerzitě, bylo by možné tuto aplikaci spustit i bez instalování LabVIEW Runtime, přímo ve verzi LabVIEW 2016, která je na počítačích v učebně dostupná. Pro počítač bez jakékoli verze LabVIEW, bude třeba LabVIEW Runtime vždy doinstalovat, ať se bude jednat o jakoukoli verzi LabVIEW, ve které byla aplikace exportována.



## 4 Vzorová měřicí úloha

Pro demonstraci této aplikace byly vybrány měření na diodách a korekčním předzesilovači. Dostupnými diodami byla klasická dioda, Zenerova dioda a Schottkyho dioda. Dostupný předzesilovač nese označení: NE5532 XR-126 MT Hi-Fi Version 2.1. Měření probíhalo s připojenými všemi dostupnými zařízeními (multimetru, lineárního zdroje, osciloskopu i generátoru signálů). Pro náhled na pracoviště se zapojenými měřicími úlohami je zde Obrázek 33.



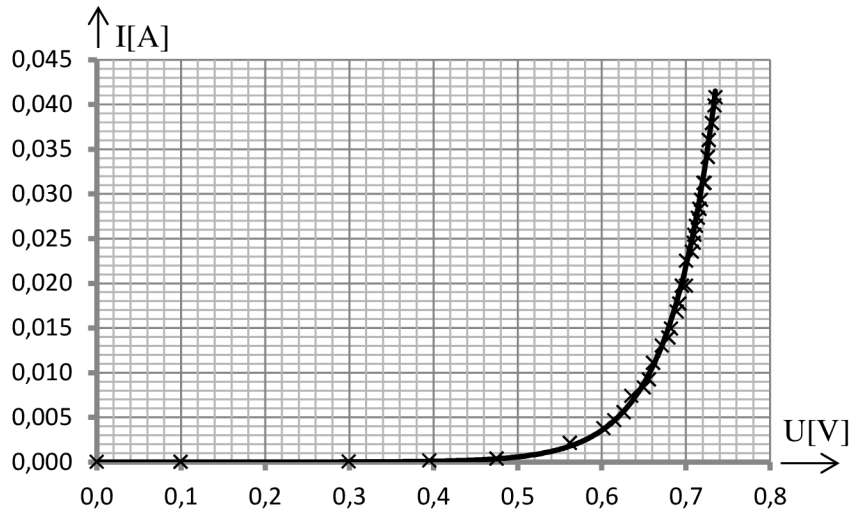
Obrázek 33: Náhled na pracoviště

### 4.1 Diody

Pro měření diod byl zvolen lineární zdroj a digitální multimetr. Měřil jsem aktuální hodnoty napětí a proudu, abych mohl následně sestavit voltampérové charakteristiky jednotlivých diod.

#### 4.1.1 Klasická dioda

Na naměřených hodnotách lze vidět, že dioda odpovídá standardním parametrům. Jelikož běžně se uvádí prahové napětí o hodnotě 0,7 V, které odpovídá i těmto naměřeným hodnotám. Nežli se napětí dostane na hodnotu cca 0,5 V, je dioda nevodivá. Poté se začne blížit k prahovému napětí a propustnost se začne pomalu zvyšovat a následně po dosažení prahového napětí se propustnost začne prudce zvyšovat.



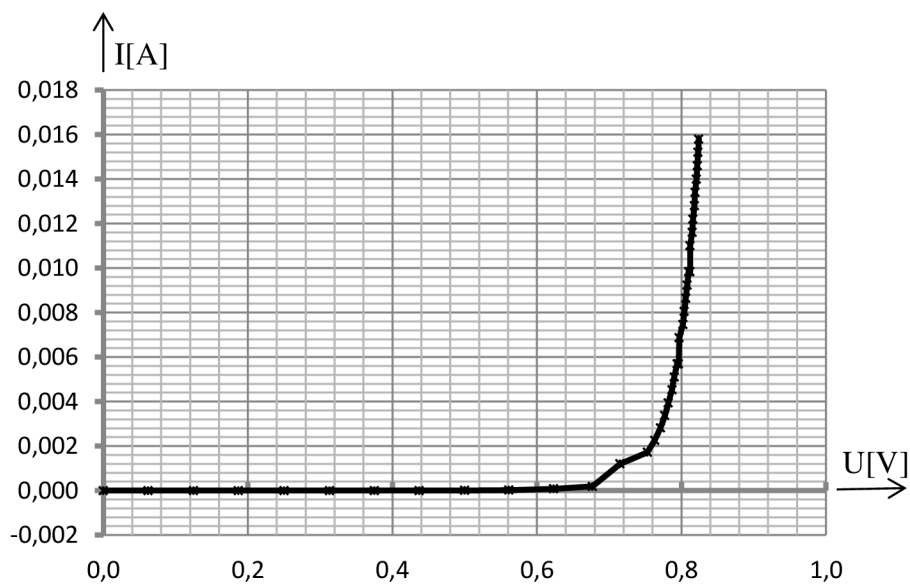
Graf 1: VA charakteristika diody v propustném směru

#### 4.1.2 Zenerova dioda

Pro měření této diody byla využita možnost měřit postupně dvou polarit. To znamená, že se nejdříve proměřil propustný směr a následně závěrný a to během jednoho měření. Následně jsem naměřené hodnoty rozdělil, pro detailnější zobrazení.

##### 4.1.2.1 Propustný směr

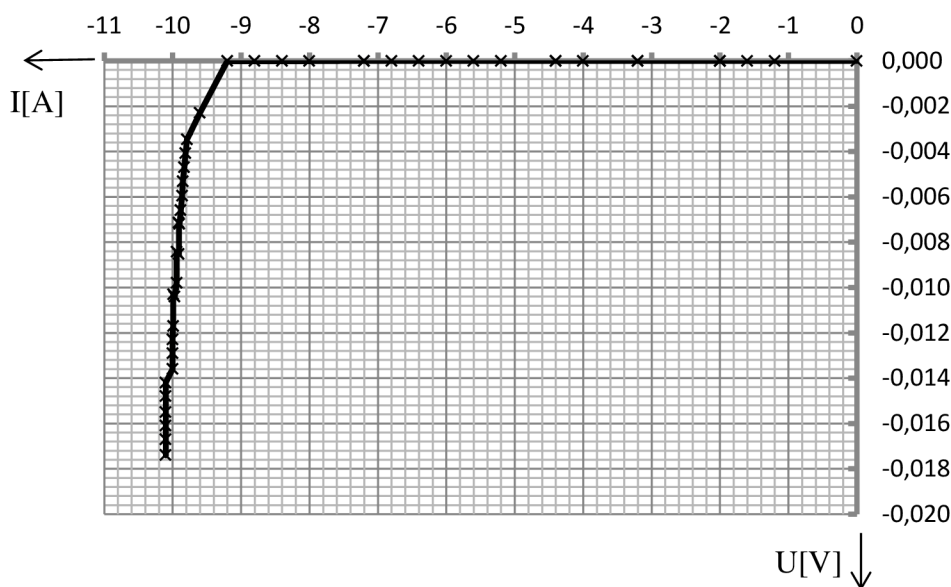
V propustném směru se chová Zenerova dioda, jako obyčejná dioda. Jakmile stoupne napětí na katodě na stanovenou mez (udaná výrobcem), prudce se zvýší vodivost diody. Podle naměřených hodnot, lze určit, že prahové napětí má hodnotu 0,7 V.



Graf 2: VA charakteristika Zenerovy diody v propustném směru

#### 4.1.2.2 Závěrný směr

Zenerova dioda pracuje na principu skokové změny propustnosti proudu v závěrném směru. Velikost tohoto skoku je rovna úbytku napětí, které je definované od výroby. V tomto případě, lze vyčíst z naměřených hodnot, že úbytek napětí je v tomto případě roven 10 V. To znamená, že po překročení oněch 10 V, začne opět dioda prudce zvyšovat svou vodivost.



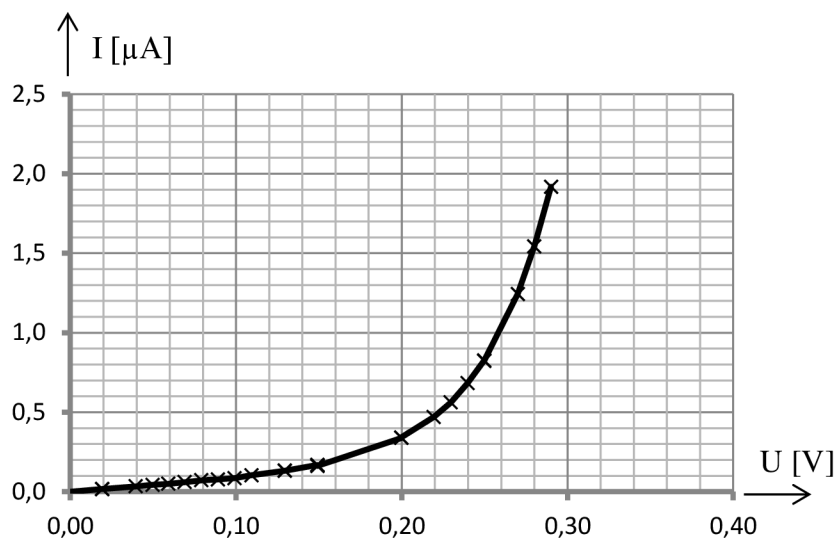
Graf 3: VA charakteristika Zenerovy diody v závěrném směru

#### 4.1.3 Schottkyho dioda

Tato dioda byla měřena stejným způsobem, jako dioda Zenerova. Nejdříve jsem si rychlým nastavením vstupního napětí zjistil, kde se nachází pomyslné koleno, kde je napětí dostatečně velké na to, aby začala být dioda vodivou. Schottkyho dioda je předurčena, pro zapojení v obvodech, které vyžadují rychlé reakce a pracují s malými hodnotami napětí.

##### 4.1.3.1 Propustný směr

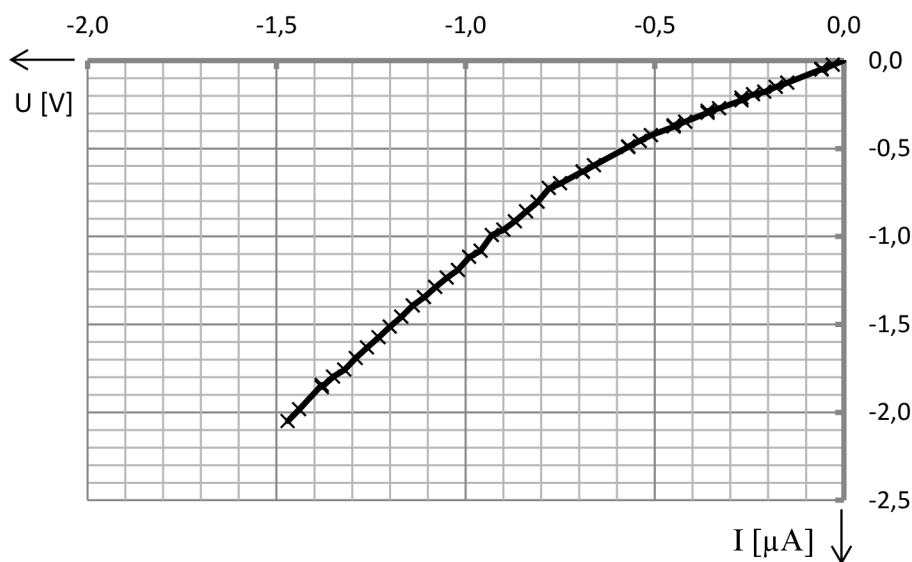
Jak lze vidět na Graf 4: VA charakteristika Schottkyho diody v propustném směru, Schottkyho dioda má oproti klasické diodě velmi rychlý nárůst během malé změny napětí a to takový, že změní kompletně svůj stav během změny o velikosti menší než 0,1 V, při prahovém napětí již o hodnotě 0,25 V.



Graf 4: VA charakteristika Schottkyho diody v propustném směru

#### 4.1.3.2 Závěrný směr

Schottkyho dioda má oproti Zenerově diodě minimální úbytek napětí, který se odráží při zapojení v závěrném směru. Dioda opět reaguje velmi rychle a to již při průrazném napětí o hodnotě  $-0,5$  V.



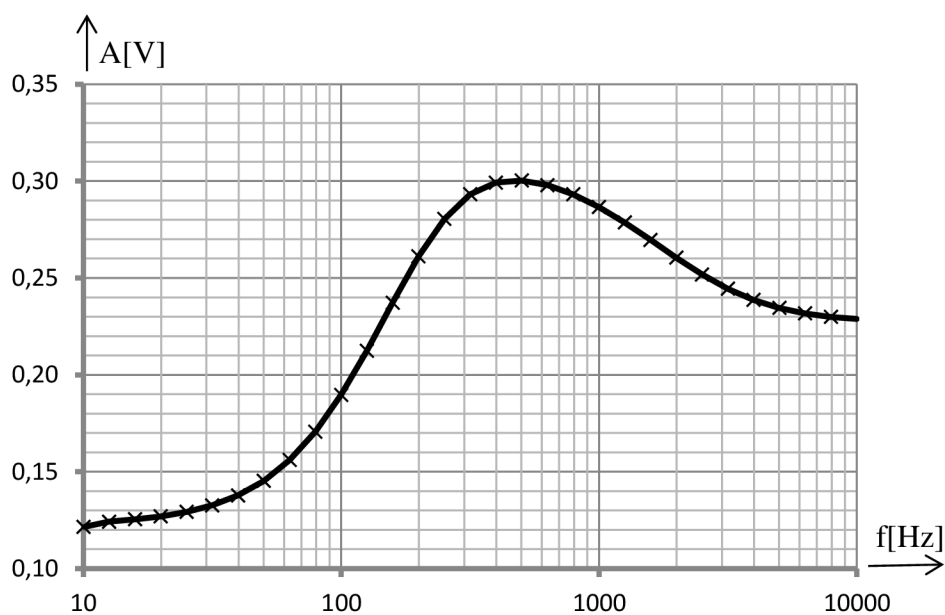
Graf 5: VA charakteristika Schottkyho diody v závěrném směru

## 4.2 Korekční předzesilovač

Pro zapojení předzesilovače, byl použit generátor signálů, jehož signál podléhal zesílení, lineární zdroj, pro napájení předzesilovače, digitální multimetr, pro hodnoty frekvence a střídavého napětí, při měření amplitudové charakteristiky a osciloskop, pro měření frekvence a posunu fáze, při měření fázové charakteristiky. Pro lepší zobrazení naměřených hodnot, bylo použité logaritmické měřítko na vodorovné ose, pro hodnoty frekvence a klasické měřítko, pro hodnoty měřeného napětí či fáze.

### 4.2.1 Amplitudová charakteristika

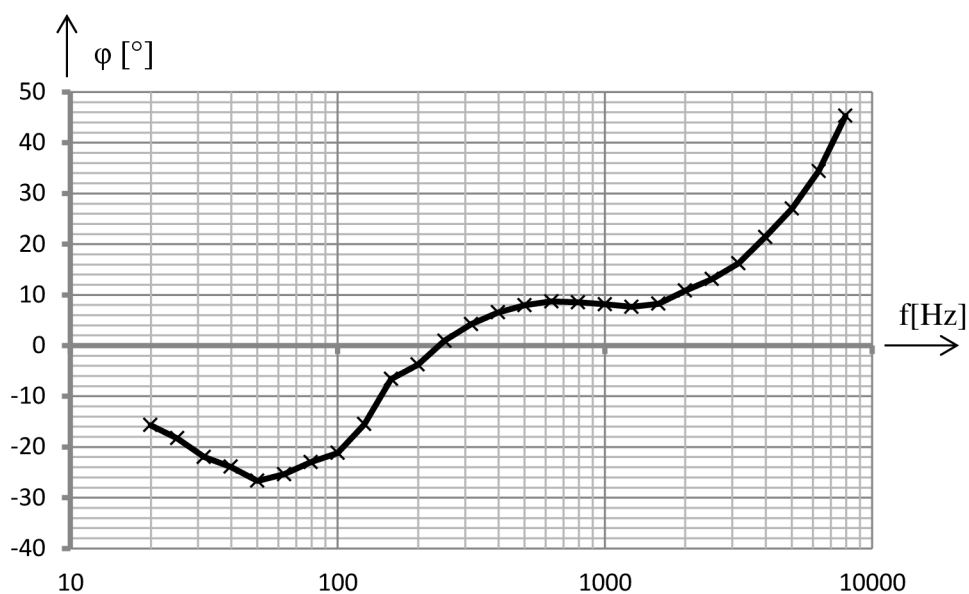
Zde jsem měřil závislost amplitudy střídavého napětí na frekvenci, která se v naměřených hodnotách značně projevila.



Graf 6: Amplitudová charakteristika korekčního předzesilovače

### 4.2.2 Fázová charakteristika

Jelikož předzesilovač dokáže pracovat se signálem o frekvenci od 20 Hz, byla tato hodnota brána jako výchozí pro toto měření. Měření tak probíhalo od 20 Hz do 10 kHz. A stejně jako na amplitudu v předešlém případě, mají změny frekvencí velký vliv.



Graf 7: Fázová charakteristika korekčního předzesilovače

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce, bylo vytvoření aplikace, pomocí které by bylo možno provést měření elektrických veličin pomocí přístrojů v učebně TK7.

Ve verzi 1.0 této aplikace, která je přiložena k této uživateli nalezne dostatečné možnosti pro měření se čtyřmi přístroji: laboratorním zdrojem, digitálním multimetrem, generátorem signálů a digitálním osciloskopem. Tyto čtyři přístroje jsou zapojeny do lokální sítě LAN společně s řídicím počítačem.

Program, který je tvořen v prostředí LabVIEW od firmy National Instrument, stojí na synchronizaci tvořenou podprogramem, který celé měření řídí. Tento podprogram umožní nastavit periodu mezi měřeními a počet hodnot k měření.

Po spuštění aplikace s názvem „Automatické měření“ se objeví uživateli hlavní nabídka, na které si uživatel může zvolit přístroje, na kterých bude své měření provádět. V dalším kroku se zobrazí jednotlivé panely s vybranými přístroji s možností nastavení jejich parametrů. Je možno nastavit zdroje signálu (stejnoseměrného i střídavého), hodnoty ke čtení z digitálního multimetru a osciloskopu a místo pro uložení naměřených dat. Data jsou ve výsledném souboru uspořádána tak, že na každém řádku je nejprve čas měření a pak následují naměřené hodnoty oddělené tabulátory.

Aplikace, která byla vytvořena v prostředí LabVIEW byla dále exportována do spustitelného souboru exe, který nese již zmíněné jméno „Automatické měření“ a verzi 1.0. Na této vyexportované aplikaci probíhala následná měření pro demonstraci funkčnosti a možností vytvořené aplikace. Pro měření byly vybrány jednoduché úlohy pro měření diod a korekčního předzesilovače. Kromě této spustitelné aplikace bude v učebně k dispozici i zdrojový soubor (v LabVIEW 2016) pro případné úpravy pro specializovaná měření.

Na tuto práci bych rád navázal v semestrálním projektu, kdy bych do seznamu přístrojů zahrnul i spektrální analyzátor a rozšířil možnosti stávajícího řešení například o ukládání průběhů z osciloskopu nebo generování signálů libovolného průběhu.

## Použitá literatura

- [1] KRETSCHMEROVÁ, Lenka a Jaroslav VLACH, 2014. Programování v LabVIEW v příkladech [online]. Liberec [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/7158>. Výukový materiál. Technická univerzita v Liberci - Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií.
- [2] CONNERS, Jaramy, 2019. Get Started with LabVIEW Programming: How to Control Lab Equipment. *Who is hosting this?* [online]. New York: whoishostingthis.com [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.whoishostingthis.com/resources/LabVIEW/>
- [3] ELLIOTT, Chance, Vipin VIJAYAKUMAR, Vipin VIJAYAKUMAR a Richard HANSEN, 2007. National Instruments LabVIEW: A Programming Environment for Laboratory Automation and Measurement. *JALA: Journal of the Association for Laboratory Automation* [online]. (12), 7 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1016/j.jala.2006.07.012>
- [4] NEAMEN, Donald A., 2003. Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles [online]. 3. Albuquerque, NM: University of New Mexico [cit. 2021-5-13]. ISBN 0-07-1 19862-8. Dostupné z: <http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/403/Semiconductor%20Physics%20And%20Devices%20-%20Donald%20Neamen.pdf>
- [5] JANOVSÝ, M. Fyzika JaM .. Elektřina a magnetismus .. Přechod PN - polovodičová dioda. YouTube [online]. 6.2.2016 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Hpx5yXTUj44>
- [6] CRECRAFT, David a David GORHAM, 2003. Electronics. 2. Cheltenham: Stanley Thornes [cit. 2021-5-13]. ISBN 978-0748770366.
- [7] NE5532 Bass and Treble Preamplifier Circuit Board. Peter Vis [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [https://www.petervis.com/Electronics\\_Kits/ne5532-bass-treble-preamp/ne5532-bass-treble-preamp.html](https://www.petervis.com/Electronics_Kits/ne5532-bass-treble-preamp/ne5532-bass-treble-preamp.html)
- [8] Digital Multimeter Measurement Fundamentals, 2019. National Instruments [online]. National Instruments [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/06/digital-multimeter-measurement-fundamentals.html>
- [9] Keysight 34410A/11A 6 ½ Digit Multimeter (includes the L4411A 1U DMM), 2014. Edition 6. <https://www.keysight.com/zz/en/assets/9018-05586/user-manuals/9018-05586.pdf?success=true>: Keysight Technologies.
- [10] THOMPSON, Ambler a Barry N. TAYLOR, 2008. Guide for the Use of the International System of Units (SI) [online]. 2. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>
- [11] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje I. Praha: BEN - technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-02-3.
- [12] SPD3303X / SPD3303X-E Series Programmable DC Power Supplies, 2021. In: <https://www.siglenteu.com> [online]. Shenzhen, China: Siglent Technologies CO. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.siglenteu.com/power-supplies/spd3303x-spd3303x-e-series-programmable-dc-power-supply/>
- [13] KULARATNA, Nihal, 2003. Fundamentals of Oscilloscopes: Digital and Analogue Instrumentation: Testing and Measurement. Institution of Engineering and Technology. ISBN 978-0-85296-999-1.
- [14] SLAVÍK, Lubomír, 2018. Osciloskopická měření [online]. Liberec [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=144185>. Výukové materiály. Technická univerzita v Liberci - Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií.



- [15] SDS2000X Series Super Phosphor Oscilloscope, 2021.  
In: <https://www.siglenteu.com> [online]. Shenzhen, China: Siglent Technologies CO. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: [https://www.siglenteu.com/wp-content/uploads/2020/03/SDS2000X\\_Datasheet\\_DS0102X-E02E.pdf](https://www.siglenteu.com/wp-content/uploads/2020/03/SDS2000X_Datasheet_DS0102X-E02E.pdf)
- [16] SONDE, B.S., 2003. Introduction to System Design Using Integrated Circuits. 2. Bangalore: New Age International [cit. 2021-5-13]. ISBN 978-81-224-0386-2.
- [17] Sine, square, sawtooth and triangle waves, 2019. In: Quora [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-fde3164e29dda8896290696a8e7b019c>
- [18] Siglent SDG2082X 80MHz Function / Arbitrary Waveform Generator, 2021.  
In: Siglent.eu [online]. Shenzhen, China: Siglent Technologies CO. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.siglent.eu/product/1138486/siglent-sdg2082x-80mhz-function-arbitrary-waveform-generator>
- [19] POSTEL, Jon, 1981. INTERNET PROTOCOL [online]. Marina del Rey, CA: Information Sciences Institute University of Southern California [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc791#section-1>
- [20] MOGUL, Jeffrey a Jon POSTEL, August 1985. Internet Standard Subnetting Procedure. Stanford: Network Working Group.
- [21] ADDISON, Darrick, 2001. Archived | Setting up a Local Area Network. IBM Developer [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://developer.ibm.com/technologies/linux/articles/l-lan/>
- [22] Default Gateway, 2021. Techopedia [online]. Edmonton, AB: Techopedia [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/2184/default-gateway>

## Obsah přiloženého CD

Jelikož výsledkem práce je vytvořená aplikace, poskytují jí zde na přiloženém nosiči jehož obsahem je:

- Adresáře knihoven jednotlivých přístrojů:
  - Agilent 34401
  - Siglent SDG 1000 5000 800 Series
  - Siglent SDS 1000 2000 Series
  - Siglent SPD3000 Series
  - Siglent SSA3000X Series
  
- Aplikace s názvem Automatické Měření verze 1.0
  
- Projekt obsahující program této aplikace pro případné úpravy. Spustitelný v LabVIEW 2016 či novějším.
  
- V poslední řadě je přiložena tato práce ve formátu PDF, jelikož je v ní popsáno, jak s aplikací pracovat.