

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Zprovoznění programovatelných měřicích
přístrojů s rozhraním IMS-2 v LabVIEW

Sezimovo Ústí, 2026

Autor: Vilém Prokop



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Vilém Prokop**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – automatizace v energetice
Název práce: **Zprovoznění programovatelných měřicích přístrojů s rozhraním IMS-2 pomocí LabVIEW**
Anglický název práce: **Commissioning programmable measuring instruments with IMS-2 interface using LabVIEW**

Zásady pro vypracování:

1. Popište technickou specifikaci stykového systému IMS-2 (IEC 625.1), programovatelného napájecího zdroje TESLA BS 575 a číslicového voltmetru METRA M1T330.
2. Objasněte strukturu a postup práce v prostředí National Instruments LabVIEW.
3. Popište skladbu hardware potřebného pro spojení LabVIEW s přístroji se stykovým systémem IMS-2 (IEC 625.1).
4. Vytvořte program pro komunikaci prostředí LabVIEW s přístroji BS 575 a M1T330 a jeho funkčnost demonstруйте na měření V-A charakteristik odporových a polovodičových součástek.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Doporučená literatura:

- [1] Vlach, J.; Havlíček, J.; Vlach, M.: *Začínáme s LabVIEW*. BEN – technická literatura, Praha, 2008, ISBN 9788073002459.
- [2] Kodad, V.: *Přístrojové komunikační rozhraní IMS-1 a IMS-2/GPIB*, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, 2015.
- [3] ČSN 35 6522: *Elektronické měřicí přístroje. Stykový systém IMS-2*. Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 1984.
- [4] *M1T330 číslicový voltmetr: Návod k obsluze*. METRA, Blansko 1986.
- [5] *Programovatelný zdroj BS 575: Instrukční knížka*. TESLA, Vráble 1987.

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Miroslav V. Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Odborný konzultant práce: Ing. Alexej Salzman, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Oponent práce: Ing. Bc. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1. 9. 2025**

Datum odevzdání absolventské práce: **15. 5. 2026**


Mgr. Bc. Miroslav V. Hospodářský
(vedoucí práce)




doc. PhDr. Mgr. Lenka Hrušková, Ph.D.
(ředitelka školy)

V Sezimově Ústí dne 1. 9. 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré použité informační zdroje, veškerý použitý software a dodržel jsem Metodiku užití „umělé inteligence“, která je součástí metodiky tvorby absolventské práce.

Prohlašuji, že jsem v průběhu příprav a psaní této práce nepoužil nástroje „umělé inteligence“.

Stvrzuji, že jsem si vědom, že za obsah této práce plně zodpovídám.

V Sezimově Ústí dne 25.8.2026



podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě vyjádřil upřímné poděkování Mgr. Bc. Miroslavu V. Hospodářskému za odborné vedení, cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval při konzultacích a zpracování této absolventské práce. Zvláštní dík mu patří také za zapůjčení programovatelného zdroje, měřicích přístrojů a potřebné technické dokumentace, bez kterých by praktická realizace tohoto projektu nemohla vzniknout.

Dále chci poděkovat všem vyučujícím z Vyšší odborné školy, Střední školy, Centra odborné přípravy v Sezimově Ústí, kteří se podíleli na mém vzdělávání a poskytli mi teoretický i praktický základ pro můj další rozvoj.

Největší dík pak patří mé rodině a blízkým za jejich morální podporu, trpělivost a zázemí, které mi poskytovali po celou dobu mého studia.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá zprovozněním programovatelných měřicích přístrojů TESLA BS 575 a METRA M1T330 s rozhraním IMS-2. Cílem práce je vytvořit v prostředí LabVIEW řídicí program pro komunikaci s těmito přístroji. Teoretická část popisuje technickou specifikaci sběrnice IMS-2, použitých přístrojů a strukturu prostředí LabVIEW. Praktická část se věnuje návrhu a tvorbě samotného programu. Výsledkem je funkční automatizované měřicí pracoviště, jehož funkčnost je demonstrována na měření V-A charakteristik odporových a polovodičových součástek.

Klíčová slova: IMS-2, GPIB, LabVIEW, TESLA BS 575, METRA M1T330, automatizované měření, V-A charakteristika

Annotation

This thesis deals with the commissioning of programmable measuring instruments TESLA BS 575 and METRA M1T330 with the IMS-2 interface. This work is focused to create a control program in the LabVIEW environment for communication with these instruments. The theoretical part describes the technical specification of the IMS-2 bus, the instruments used, and the structure of the LabVIEW environment. The practical part is dedicated to the design and creation of the program itself. The result is a functional automated measuring workplace, the functionality of which is demonstrated by measuring the V-A characteristics of resistive and semiconductor components.

Keywords: IMS-2, GPIB, LabVIEW, TESLA BS 575, METRA M1T330, automated measurement, V-A characteristic.

Obsah

Seznam použitých symbolů	xi
Seznam obrázků	xv
1 Úvod	1
2 Teoretický základ	3
2.1 Volt-ampérová charakteristika	3
2.2 Odporová charakteristika	4
2.3 Příkonová charakteristika	4
2.4 Komunikační sběrnice IMS-2 (IEEE 488.1, IEC 625-1)	5
2.5 Komunikační rozhraní USB/GPIB Keysight 82357B	6
2.6 Technická specifikace měřicích přístrojů	8
2.6.1 Programovatelný zdroj TESLA BS 575	8
2.6.2 Číslicový voltmetr Metra M1T 330	9
2.7 Vývojové prostředí NI LabVIEW a architektura VISA	11
2.7.1 Architektura virtuálního instrumentu (VI)	11
2.7.2 Softwarová komunikační vrstva VISA	13
3 Návrh a realizace spojení LabVIEW s přístroji IMS-2	15
3.1 Softwarová vrstva komunikace a rozhraní VISA	16
3.2 Architektura programu a synchronizace toku dat (Dataflow)	17
3.3 Automatizovaný sběr veličin a stavový model	17
3.4 Generování reportů a strukturovaný export dat	17
4 Grafické zobrazení dat v prostředí LabVIEW	19
4.1 Koncepce blokového vykreslování a XY Graph	20
4.2 Softwarová konfigurace a ergonomie rozhraní	20

4.3	Dynamiccké škálování os a analytické nástroje	21
5	Měření a vyhodnocení	23
5.1	Metodika a postup měření	23
5.2	Vyhodnocení měření konkrétních součástek	24
5.2.1	Měření rezistoru	24
5.2.2	Měření žárovky	26
5.2.3	Měření germániové diody	27
5.2.4	Měření zelené LED	28
6	Závěr	31
	Literatura	33
A	Obsah přiloženého DVD	I
B	Použitý software	III
C	Časový plán absolventské práce	V
D	Blokový diagram a přední panel	VII

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
I	elektrický proud	A
P	elektrický výkon	W
U	elektrické napětí	V
R	elektrický odpor	Ω

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
API	Application Programming Interface
ATN	Attention
BMP	Bitmap
CSV	Comma-Separated Values
DAQ	Data Acquisition
DAV	Data Valid
GPIO	General Purpose Interface Bus
GUI	Graphical User Interface
HP-IB	Hewlett-Packard Interface Bus
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFC	Interface Clear
IMS-2	Informační měřicí systém 2. generace
LED	Light-Emitting Diode
NDAC	Not Data Accepted
NI	National Instruments
NRFD	Not Ready For Data
P-N	Přechod typu p-n
RS-232	Recommended Standard 232
RVHP	Rada vzájemné hospodářské pomoci
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments
SRQ	Service Request
V-A	Volt-ampérová charakteristika
VI	Virtual Instrument
VISA	Virtual Instrument Software Architecture

Seznam obrázků

2.1	Zapojení pinů 24pólového konektoru sběrnice IMS-2	6
2.2	Komunikační rozhraní Keysight 82357B	7
2.3	Přední panel programovatelného zdroje Tesla BS 575	9
2.4	Zadní panel programovatelného zdroje Tesla BS 575	9
2.5	Přední panel programovatelného zdroje Tesla BS 575	10
2.6	Zadní panel programovatelného zdroje Tesla BS 575	10
2.7	Ukázka předního panelu v prostředí LabVIEW	12
2.8	Ukázka blokového diagramu v prostředí LabVIEW	12
2.9	Ukázka komunikace pomocí funkčních uzlů rozhraní VISA	13
3.1	Blokový diagram měřicího programu v prostředí LabVIEW	15
3.2	Detail komunikační sekvence s využitím uzlů rozhraní VISA	16
3.3	Softwarová realizace exportu naměřených dat a obrazových reportů . . .	18
4.1	Grafické uživatelské rozhraní vytvořeného měřicího programu	19
5.1	Volt-ampérová charakteristika rezistoru	25
5.2	Odporová charakteristika rezistoru	25
5.3	Příkonová charakteristika rezistoru	25
5.4	Vyexportovaná data z měření rezistoru	25
5.5	Volt-ampérová charakteristika žárovky	26
5.6	Odporová charakteristika žárovky	26
5.7	Příkonová charakteristika žárovky	26
5.8	Vyexportovaná data z měření žárovky	26
5.9	Volt-ampérová charakteristika germániové diody	27
5.10	Odporová charakteristika germániové diody	27
5.11	Příkonová charakteristika germániové diody	28
5.12	Vyexportovaná data z měření germániové diody	28

5.13	Volt-ampérová charakteristika zelené LED v propustném směru	29
5.14	Odporová charakteristika zelené LED v propustném směru	29
5.15	Příkonová charakteristika zelené LED	29
5.16	Vyexportovaná data z měření zelené LED	29
D.1	Kompletní blokový diagram řídicího programu	VIII
D.2	Grafické uživatelské rozhraní měřicího programu	IX

Kapitola 1

Úvod

V oblasti měřicí techniky existuje řada starších, avšak technicky velmi kvalitních přístrojů, mezi které patří například programovatelný napájecí zdroj TESLA BS 575 a číslicový voltmetr METRA M1T330. Ačkoliv tyto přístroje disponují standardizovaným rozhraním IMS-2 (známým také jako HP-IB nebo IEC 625-1), jejich začlenění do moderních automatizovaných měřicích systémů řízených osobním počítačem není vždy přímočaré. Pro jejich plnohodnotné využití je nutné vytvořit specifické softwarové řešení, které umožní efektivní komunikaci a řízení.

Motivací pro tuto práci je skutečnost, že během studia se žáci a studenti setkávají téměř výhradně s ručními měřicími přístroji, kde veškerá nastavení a odečty naměřených hodnot provádějí manuálně. Tento přístup je sice klíčový pro pochopení základních principů měření, avšak neposkytuje praktickou zkušenost s automatizovanými měřicími systémy, které jsou v současné průmyslové praxi naprostým standardem. Cílem je tedy ukázat, že i s využitím staršího, ve školních laboratořích běžně dostupného vybavení, lze vytvořit plně funkční automatizované pracoviště. Studenti tak mají jedinečnou šanci získat cenné dovednosti v oblasti dálkového řízení přístrojů, sběru dat a programování měřicích úloh.

Cílem této absolventské práce je vytvoření funkčního programu v grafickém vývojovém prostředí National Instruments LabVIEW, který bude sloužit pro komunikaci a řízení zmíněných měřicích přístrojů. Správná funkce vytvořeného systému bude následně ověřena a prakticky demonstrována na konkrétní měřicí úloze, kterou je automatizované měření voltampérových charakteristik vybraných odporových a polovodičových součástek. Struktura práce je následující. V úvodních kapitolách budou popsány technické specifikace sběrnice IMS-2 a použitých přístrojů TESLA BS 575 a METRA M1T330. Dále bude objasněna struktura a principy práce v prostředí LabVIEW. Následovat bude popis hardwarových prostředků nezbytných pro fyzické propojení počítače s přístroji.

Stěžejní část práce se bude věnovat vývoji samotného řídicího programu a jeho podrobnému popisu. V závěru bude prezentována a vyhodnocena jeho funkčnost na praktickém měření V-A charakteristik.

Celková struktura práce je rozčleněna do několika logických celků. V kapitole 2 je proveden podrobný rozbor teoretického základu, který zahrnuje definici měřených fyzikálních charakteristik, specifikaci komunikační sběrnice IMS-2 a detailní popis použitých přístrojů i vývojového prostředí LabVIEW. Kapitola 3 je pak zaměřena na technický návrh a softwarovou realizaci propojení, automatizovaného sběru veličin a následného exportu dat. Kapitola 4 se věnuje koncepci grafického zobrazení naměřených hodnot a ergonomii uživatelského rozhraní. Kapitola 5 navazuje metodikou praktického měření vybraných elektronických součástek a detailním vyhodnocením jejich charakteristik. Součástí práce jsou rovněž přílohy, ve kterých lze nalézt obsah přiloženého datového média, výpis použitého softwaru a časový harmonogram projektu. V samotném závěru práce jsou pak shrnuty dosažené výsledky a naznačeny možnosti budoucího rozšíření navrženého pracoviště.

Kapitola 2

Teoretický základ

Tato kapitola poskytuje nezbytný teoretický úvod k řešené problematice. Shrnuje základní fyzikální principy prováděného měření, detailně popisuje použitý komunikační standard pro řízení měřicí aparatury a charakterizuje vlastnosti a funkci jednotlivých laboratorních přístrojů zapojených do měřicího řetězce. Dále je zde vysvětlen princip sběrnicevého systému IMS-2 (IEC 625-1).

2.1 Volt-ampérová charakteristika

Základním výstupem navrženého měřicího systému je volt-ampérová (V-A) charakteristika, která představuje grafické vyjádření závislosti elektrického proudu protékajícího zkoumanou součástkou na budicím napětí. Systém tuto závislost získává postupným zvyšováním napěťové úrovně v definovaných krocích a zaznamenáváním odpovídající proudové odezvy. Tvar výsledné křivky primárně definuje povahu měřeného prvku. U ideálních lineárních součástek má V-A charakteristika tvar přímky procházející počátkem souřadnicového systému. U nelineárních prvků, jakými jsou například žárovky nebo polovodičové diody, nabývá charakteristika tvaru křivky, jejíž strmost se dynamicky mění v závislosti na aktuálním pracovním bodě součástky.

2.2 Odporová charakteristika

Na základě získaných hodnot napětí U a proudu I systém v reálném čase matematicky odvozuje odporovou charakteristiku. Ta graficky znázorňuje závislost elektrického odporu na přiloženém napětí. Statický elektrický odpor R je v každém bodě měření definován na základě Ohmova zákona vztahem:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.1)$$

Zatímco u klasických rezistorů zůstává vypočtená hodnota R v celém měřicím rozsahu konstantní a výsledným grafem je vodorovná přímka, u prvků s teplotní závislostí se projevují výrazné změny. Při průchodu proudem se součástka (např. wolframové vlákno) zahřívá, což u materiálů s kladným teplotním součinitelem vede k prokazatelnému nárůstu hodnoty odporu. Odporová charakteristika tak exaktně mapuje tyto teplotně-elektrické jevy.

2.3 Příkonová charakteristika

Třetí analyzovanou závislostí je příkonová charakteristika, která kvantifikuje množství elektrické energie přeměněné zkoumanou součástkou za jednotku času. Okamžitý elektrický příkon P je dán součinem aktuálního napětí U a proudu I :

$$P = U \cdot I \quad (2.2)$$

Většina tohoto výkonu se na pasivních elektronických prvcích transformuje v teplo, případně je částečně emitována ve formě světelného záření. Průběžné vyhodnocování a grafické zobrazení příkonové charakteristiky během měření má klíčový význam nejen pro samotnou fyzikální analýzu dané součástky, ale také pro bezpečné nastavení proudových a napěťových limitů zdroje. Tím se předchází tepelnému zničení zkoumaného vzorku vlivem překročení jeho maximálního dovoleného ztrátového výkonu.

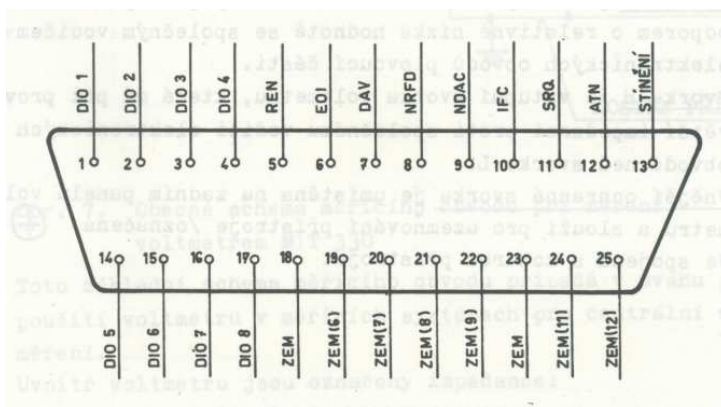
2.4 Komunikační sběrnice IMS-2 (IEEE 488.1, IEC 625-1)

Pro zajištění komunikace mezi řídicím počítačem a přístrojovou technikou byl v tomto projektu využit standard IMS-2 (informační měřicí systém 2. generace, normován ČSN 35 6522) (ÚŘAD PRO NORMALIZACI A MĚŘENÍ, 1984). Tento standard vznikl jako normalizovaný ekvivalent pro tehdejší země RVHP k celosvětově rozšířené mezinárodní sběrnici IEEE 488 (původně vyvinuté firmou Hewlett-Packard pod označením HP-IB, později obecně známé jako GPIB – General Purpose Interface Bus). Z hlediska logiky a elektrických úrovní jsou oba systémy plně kompatibilní. Sběrnice IMS-2 je koncipována jako digitální, paralelní a asynchronní komunikační rozhraní. K fyzickému propojení se využívá 24pinový konektor typu Centronics. Sběrnice umožňuje propojit až 15 zařízení v jednom měřicím systému. Topologie zapojení může být lineární (tzv. daisy-chain, kdy se kabely řetězí z přístroje na přístroj), hvězdicová, nebo jejich kombinace. Celková délka kabelů v jednom systému by neměla překročit 20 metrů. Z celkového počtu 24 vodičů je 16 využito pro přenos signálů a zbylých 8 slouží jako zemnicí vodiče (stínění a signálová zem). Signálové vodiče se dělí do tří skupin:

1. **Datová sběrnice (8 vodičů):** Slouží k obousměrnému paralelnímu přenosu dat (1 byte). Přenášejí se tudy jak samotná měřená data, tak i řídicí příkazy (např. ASCII znaky tvořící příkaz pro nastavení napětí) nebo paralelní hlášení od měřicích přístrojů.
2. **Řídicí sběrnice (5 vodičů):** Zajišťuje správu celého systému. Patří sem například signál *ATN* (*Attention*), kterým počítač oznamuje, zda se po datových vodičích právě přenáší povel pro přístroje, nebo samotná naměřená data. Dále signál *SRQ* (*Service Request*), pomocí kterého si může přístroj sám vyžádat pozornost počítače (např. při chybě).
3. **Potvrzovací sběrnice - Handshake (3 vodiče):** Jedná se o kritický mechanismus pro asynchronní přenos. Systém využívá tři signálů (*DAV* – *Data Valid*, *NRFD* – *Not Ready For Data*, *NDAC* – *Not Data Accepted*). Díky tomuto korespondenčnímu systému přejímky dat se rychlost přenosu automaticky přizpůsobuje nej-pomalejšímu zařízení na sběrnici. Řídicí počítač nikdy nepošle další byte dat, dokud měřicí přístroj nepotvrdí, že ten předchozí úspěšně přijalo a zpracovalo (KODAD, V., 2015).

Každé zařízení připojené na sběrnici IMS-2 musí mít nastavenou svou unikátní primární systémovou adresu v rozsahu 0 až 30. V závislosti na své funkci pak zařízení v daném okamžiku zastává jednu ze tří logických rolí:

- **Controller (Řídič):** Řídí veškerý provoz. Rozhoduje, kdo bude vysílat a kdo přijímat. Tuto roli plní řídicí počítač s kartou a prostředím LabVIEW.
- **Talker (Mluvčí):** Zařízení, které má řadičem povoleno odesílat data na sběrnici. V jeden okamžik může být aktivní vždy pouze jeden Talker (typicky měřicí přístroj odesílající změřenou hodnotu).
- **Listener (Posluchač):** Zařízení přijímající data ze sběrnice. Aktivních posluchačů může být i více současně (typicky programovatelný zdroj, který přijímá instrukci pro nastavení nové hodnoty napětí).



Obrázek 2.1: Zapojení pinů 24pólového konektoru sběrnice IMS-2 (IEC 625) (převzato z (METRA BLANSKO, 1986))

2.5 Komunikační rozhraní USB/GPIB Keysight 82357B

Aby bylo možné propojit řídicí osobní počítač s laboratorními přístroji komunikujícími po sběrnici IMS-2, je nezbytné začlenit do měřicího řetězce odpovídající hardwarový překladač. K tomuto účelu byl v systému využit adaptér Keysight 82357B (KEYSIGHT, 2021). Tento převodník plní funkci inteligentního komunikačního mostu mezi univerzální

sériovou sběrnici počítače a paralelní přístrojovou sběrnici GPIB (IEEE 488.2). Jelikož je národní standard IMS-2 elektricky, mechanicky i logicky plně kompatibilní s mezinárodním standardem IEEE 488, lze tento moderní adaptér bez jakýchkoliv modifikací použít pro přímé řízení starší laboratorní techniky. Na straně sběrnice plní adaptér Keysight 82357B hardwarovou roli hlavního řidiče systému (System Controller). Obsahuje vlastní mikrokontrolér a vyrovnávací paměti (buffery), které se starají o přesné časování asynchronní komunikace. Adaptér zcela autonomně generuje kritické řídicí signály (např. ATN – Attention nebo IFC – Interface Clear) a obsluhuje potvrzovací proces (Handshake), čímž výrazně odlehčuje procesoru řídicího počítače. Výhodou tohoto řešení je také fakt, že převodník nepotřebuje žádný externí napájecí zdroj, neboť je napájen přímo z USB portu počítače. Klíčovou vlastností převodníku Keysight 82357B je jeho nativní podpora standardizovaných softwarových knihoven (Keysight IO Libraries Suite (KEYSIGHT TECHNOLOGIES, 2023) a NI-VISA (NATIONAL INSTRUMENTS, 2020)). V prostředí vývojového softwaru LabVIEW je díky tomu tento hardware pro programátora zcela transparentní. Vývojář v kódu programu neřeší složitost USB komunikace ani nízkoúrovňové registry. Odesílá pouze standardní textové řetězce (SCPI příkazy) na virtuální port identifikovaný pomocí adresy (např. GPIB0::12::INSTR). Architektura VISA tyto příkazy převezme, zabalí je do USB paketů a odešle do převodníku. Integrovaná logika převodníku pak tyto pakety v reálném čase dekóduje a bezpečně je paralelně odvysílá po 24žilovém kabelu sběrnice IMS-2 k cílovému měřicímu přístroji.



Obrázek 2.2: Komunikační rozhraní Keysight 82357B pro propojení řídicího počítače se sběrnici GPIB (IMS-2)

2.6 Technická specifikace měřicích přístrojů

Pro správnou funkci a definování přesnosti celého automatizovaného pracoviště je nezbytné vymezit základní technické a metrologické parametry použitých přístrojů. Následující specifikace shrnují stěžejní hodnoty, které mají přímý dopad na průběh a kvalitu měření volt-ampérových charakteristik.

2.6.1 Programovatelný zdroj TESLA BS 575

TESLA BS 575 (TESLA VRÁBLE, 1987) je stejnosměrný napájecí zdroj, který je vybaven rozhraním IMS-2 (IEC 625-1). Tato integrace umožňuje jeho dálkové programování, tedy nastavení výstupního napětí a případně proudového omezení pomocí příkazů zaslaných z řidiče sběrnice. Pro účely této práce bude plnit roli "Posluchače", který na základě povelů z LabVIEW nastavuje napětí pro měřenou součástku. Pro buzení měřených elektronických prvků je využit programovatelný zdroj TESLA BS 575. Tento přístroj může pracovat buď v režimu zdroje konstantního napětí, nebo jako zdroj konstantního proudu, přičemž přechod mezi těmito dvěma stavy nastává zcela automaticky v závislosti na aktuální velikosti připojené zátěže. Z hlediska pracovních rozsahů umožňuje zdroj programovat výstupní napětí v intervalu od 0 do 29,99 V s krokem nastavení 10 mV, zatímco omezovací proud lze konfigurovat v rozmezí 0 až 999 mA s rozlišením 1 mA. Přesnost těchto nastavení je při referenční teplotě garantována základní chybou, která nepřesahuje 0,1 % z nastavené hodnoty u napětí a 0,2 % u nastaveného proudu. V režimu konstantního napětí se navíc přístroj vyznačuje velmi nízkým vnitřním odporem, který se pohybuje pod hranicí 5 m Ω . Důležitým parametrem pro automatizované měření je rovněž vysoká dynamika programování, kdy čas potřebný k tomu, aby výstupní signál na odporové zátěži dosáhl 99 % programované hodnoty (případně se od ní lišil o méně než 5 mV či 0,5 mA), je zaručován pod 150 μ s.



Obrázek 2.3: Přední panel programovatelného zdroje Tesla BS 575



Obrázek 2.4: Zadní panel programovatelného zdroje Tesla BS 575

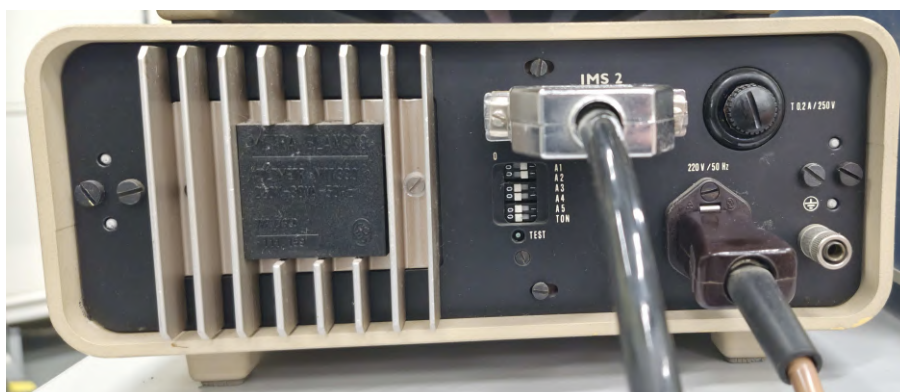
2.6.2 Číslicový voltmetr Metra M1T 330

METRA M1T330 (METRA BLANSKO, 1986) je mikroprocesorem řízený číslicový voltmetr určený pro přesné měření stejnosměrného napětí. Stejně jako zdroj BS 575 je i tento voltmetr plně kompatibilní se sběrnici IMS-2 (IEC 625-1). Na sběrnici může plnit roli "Mluvčího", kdy na vyžádání řidiče odešle aktuálně naměřenou hodnotu napětí. Přístroj má na zadním panelu přepínače pro nastavení své unikátní adresy na sběrnici. Přesné snímání odezvy zkoumaného obvodu je realizováno číslicovým voltmetrem Metra M1T 330. Tento přístroj je schopen měřit stejnosměrné napětí na čtyřech základních rozsazích, a to 300 mV, 3 V, 30 V a 300 V. Při délce stupnice 30 000 dílků tak přístroj na nejcitlivějším rozsahu 300 mV poskytuje rozlišení $10 \mu\text{V}$. Aby při měření nedocházelo k nežádoucímu ovlivnění zkoumaného obvodu, vykazuje voltmetr na rozsazích od 300 mV

do 30 V extrémně vysoký vstupní odpor přesahující hodnotu $10\text{ M}\Omega$. Pro nejvyšší měřicí rozsah 300 V je tento vstupní odpor definován hodnotou $10\text{ M}\Omega$ s tolerancí $\pm 1\%$. V referenčních podmínkách je přesnost měření dána základní chybou $\pm 0,01\%$ z naměřené hodnoty $+ 0,01\%$ z maximální hodnoty příslušného měřicího rozsahu). Významnou a užitečnou funkcí tohoto přístroje je navíc schopnost interně vypočítat a přímo na displeji zobrazit maximální relativní chybu aktuálně měřeného údaje, což lze vyvolat jak ručně z předního panelu, tak i programovým povелеm prostřednictvím sběrnice IMS-2. Z hlediska nasazení v automatizovaném systému je podstatná také komunikační rychlost, kdy sběrnice IMS-2 umožňuje z voltmetru odesílat nasnímaná data tempem až 25 vzorků za sekundu. K celkové spolehlivosti měření přispívá i použitý integrační analogově-číslicový převodník, který zajišťuje činitel potlačení sériového rušivého napětí pro frekvence sítě 50 Hz a 60 Hz.



Obrázek 2.5: Přední panel programovatelného zdroje Tesla BS 575



Obrázek 2.6: Zadní panel programovatelného zdroje Tesla BS 575

2.7 Vývojové prostředí NI LabVIEW a qarchitektura VISA

Pro vývoj softwarových aplikací v oblasti měřicí techniky a průmyslové automatizace se v současné době stal celosvětovým standardem systém LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) od společnosti National Instruments. Jedná se o úzce specializované vývojové prostředí, které bylo primárně navrženo pro sběr dat (DAQ), analýzu signálů a řízení laboratorních i průmyslových přístrojů. Zásadním rozdílem LabVIEW oproti konvenčním textovým programovacím jazykům (např. C, Python, Java) je využití plně grafického programovacího jazyka, který je označován jako „G“ (HOSPODÁŘSKÝ, M. V., 2024). Programátor při vývoji nepíše sekvenční řádky kódu, ale umísťuje na pracovní plochu funkční bloky (uzly, angl. nodes), které vzájemně propojuje pomocí virtuálních vodičů (angl. wires). Tyto vodiče slouží k přenosu datových typů mezi jednotlivými bloky, přičemž jejich barva a tloušťka vizuálně indikují typ přenášené proměnné (např. oranžová pro reálná čísla s plovoucí desetinnou čárkou, modrá pro celá čísla, zelená pro logické hodnoty a růžová pro textové řetězce). Provádění programu v jazyce G se neřídí klasickým sekvenčním čtením shora dolů, ale je založeno na principu toku dat, tzv. Dataflow. Pravidla této architektury striktně definují, že jakýkoliv funkční uzel v programu se může spustit a provést svou operaci výhradně v okamžiku, kdy jsou na všech jeho povinných vstupních terminálech k dispozici platná data. Jakmile uzel svou matematickou či logickou operaci dokončí, předá výsledná data na své výstupní terminály, čímž iniciuje spuštění navazujících uzlů v řetězci. Tento přístup velmi efektivně a přirozeně umožňuje paralelní zpracování úloh – pokud na sobě dvě větve kódu nejsou datově závislé, operační systém je vykonává souběžně.

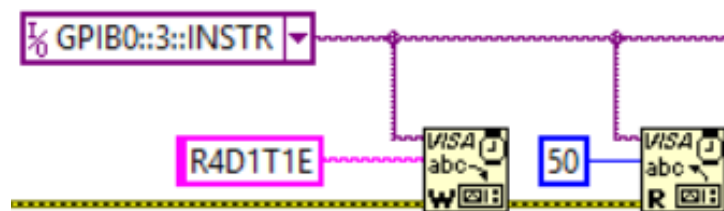
2.7.1 Architektura virtuálního instrumentu (VI)

Každý program vytvořený v prostředí LabVIEW se nazývá virtuální instrument (VI) (HOSPODÁŘSKÝ, M. V., 2024). Tento název historicky odkazuje na primární účel softwaru, nahradit fyzické ovládací panely skutečných hardwarových přístrojů jejich grafickou softwarovou reprezentací na obrazovce počítače. Každý virtuální instrument se skládá ze dvou neoddělitelných a úzce provázaných částí:

1. Čelní panel (Front Panel): Představuje grafické uživatelské rozhraní (GUI). Obsahuje interaktivní vstupní ovládací prvky (Controls) jako jsou tlačítka, přepínače

2.7.2 Softwarová komunikační vrstva VISA

Pro úspěšnou komunikaci a řízení externího hardwaru, jakým jsou měřicí přístroje či programovatelné zdroje, využívá LabVIEW standardizovanou komunikační vrstvu zvanou NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture)(NATIONAL INSTRUMENTS, 2020). VISA slouží jako univerzální aplikační programové rozhraní (API), které abstrahuje nízkoúrovňové volání ovladačů hardwaru. Pro programátora to znamená zásadní výhodu, z hlediska zdrojového kódu probíhá inicializace, zápis a čtení dat naprosto identicky bez ohledu na to, zda je daný měřicí přístroj fyzicky připojen přes sběrnici GPIB (IEEE 488 / IMS-2), sériovou linku RS-232, rozhraní USB nebo Ethernet. Rozhraní VISA přijímá ze softwaru standardizované textové řetězce (nejčastěji SCPI příkazy – Standard Commands for Programmable Instruments) a automaticky je překládá do specifických signálů a časování pro příslušný hardwarový komunikační port řídicího počítače.

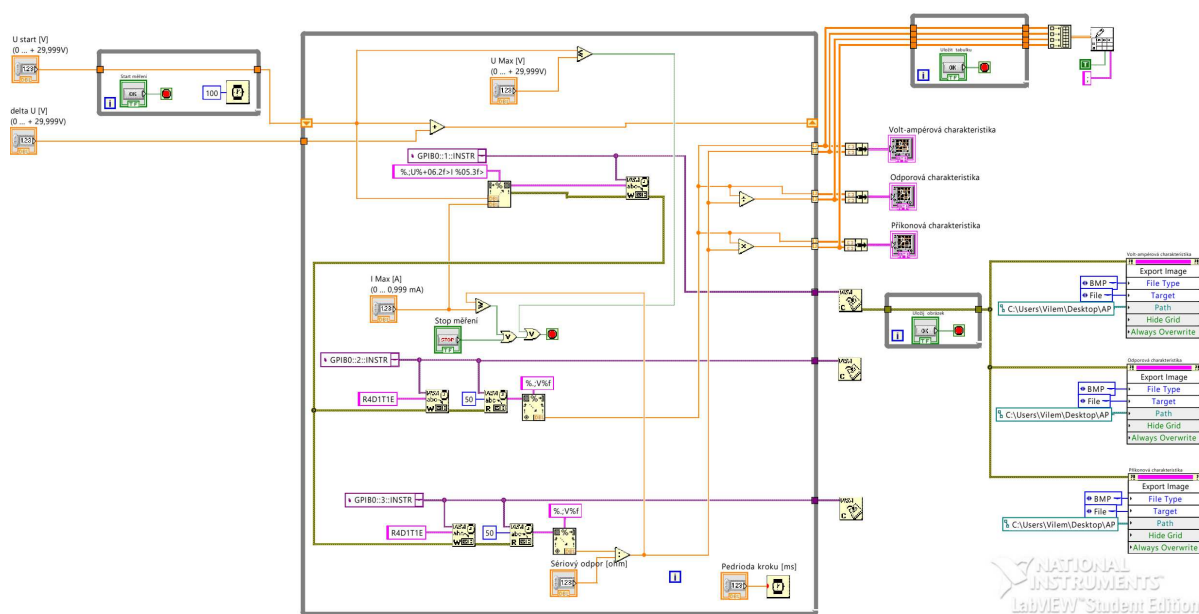


Obrázek 2.9: Ukázka komunikace pomocí funkčních uzlů rozhraní VISA

Kapitola 3

Návrh a realizace spojení LabVIEW s přístroji IMS-2

Tato kapitola se zabývá návrhem, softwarovou architekturou a praktickou realizací propojení mezi vývojovým prostředím NI LabVIEW a laboratorními měřicími přístroji, které využívají komunikační standard IMS-2 (národní ekvivalent standardu GPIB / IEEE 488). Hlavním cílem navrženého softwarového řešení je plná automatizace měřicího procesu, bezpečný sběr dat v reálném čase a následný strukturovaný export výsledků pro další analýzu.



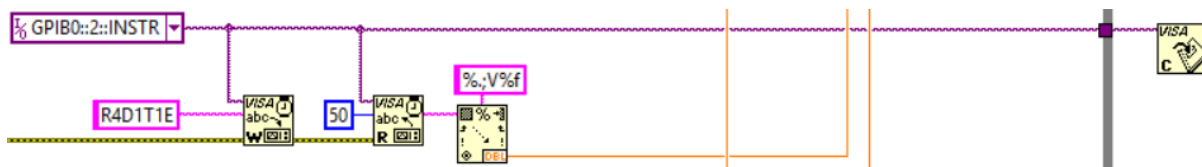
Obrázek 3.1: Blokový diagram měřicího programu v prostředí LabVIEW

3.1 Softwarová vrstva komunikace a rozhraní VISA

Základním předpokladem pro spolehlivou obsluhu přístrojů na sběrnici IMS-2 je vytvoření robustní softwarové vrstvy, která v reálném čase zajišťuje přesné formátování příkazů a synchronizované čtení naměřených dat. V rámci navrženého řídicího programu v prostředí LabVIEW je tato komunikace realizována přímým voláním funkčních uzlů rozhraní VISA.

Spojení s programovatelným napájecím zdrojem TESLA BS 575 i číslicovým voltmetrem METRA M1T 330 je v blokovém diagramu definováno prostřednictvím hardwarových adres alokovaných na sběrnici (např. GPIB0::1::INSTR). Samotná výměna dat uvnitř hlavní měřicí smyčky je postavena na pevném zřetězení bloků VISA Write a VISA Read. Řídicí program nejprve pomocí bloku zápisu odešle do příslušného přístroje textový řetězec s konkrétní řídicí instrukcí. U zdroje TESLA BS 575 jde o dynamicky formátovaný řetězec nastavující aktuální úroveň budicího napětí a proudového omezení pro daný krok měření. Formátování a kompletní přehled těchto instrukcí jsou detailně popsány v instrukční knížce (TESLA VRÁBLE, 1987). V případě voltmetru METRA M1T 330 je naopak k odesílání využit specifický řídicí povel (např. R4D1T1E) nezbytný pro správnou konfiguraci měřicího rozsahu a režimu převodníku. Další podporované konfigurační povely jsou detailně popsány v návodu k obsluze (METRA BLANSKO, 1986).

Pro následné získání naměřené odezvy z voltmetru je aktivován blok VISA Read, který ze sběrnice vyčítá odeslaná data. Aby nedocházelo k chybám či přeslechům při asynchronním přenosu, je maximální délka očekávané zprávy definována číselnou konstantou (např. 50 bytů) a provedení čtecího bloku je striktně podmíněno úspěšným dokončením předchozího zápisu. Všechny komunikační kanály jsou po spuštění udržovány aktivní a k jejich bezpečnému uzavření a uvolnění hardwarových prostředků, prostřednictvím bloku VISA Close, dochází automaticky až po úplném dokončení celé měřicí sekvence.



Obrázek 3.2: Detail komunikační sekvence s využitím uzlů rozhraní VISA

3.2 Architektura programu a synchronizace toku dat (Dataflow)

Vnitřní architektura vytvořeného virtuálního instrumentu (VI) je postavena na principu toku dat (tzv. Dataflow) (HOSPODÁŘSKÝ, M. V., 2024). Aby v programu nedocházelo k souběhu operací a byla zajištěna jistota, že se instrukce a čtecí příkazy na sběrnici IMS-2 vykonají v přesně definovaném pořadí, je celým kódem důsledně protažena chybová sběrnice (Error Cluster), která je v blokovém diagramu reprezentována jako žluto-černý vodič. Propojení uzlů Error In a Error Out plní nejen funkci detekce komunikačních selhání, ale slouží především jako synchronizační mechanismus, kterým je vynucen sekvenční běh programu. Hlavní měřicí algoritmus je umístěn do programové smyčky (While Loop). Pro zamezení maximálního vytížení systémových prostředků procesoru a zachování komunikační stability sběrnice je smyčka opatřena blokem Wait (ms), jehož hodnota je řízena operátorem z čelního panelu pomocí prvku `Perioda kroku [ms]`. Tímto prvkem je definována vzorkovací frekvence a stabilizován cyklus dotazování.

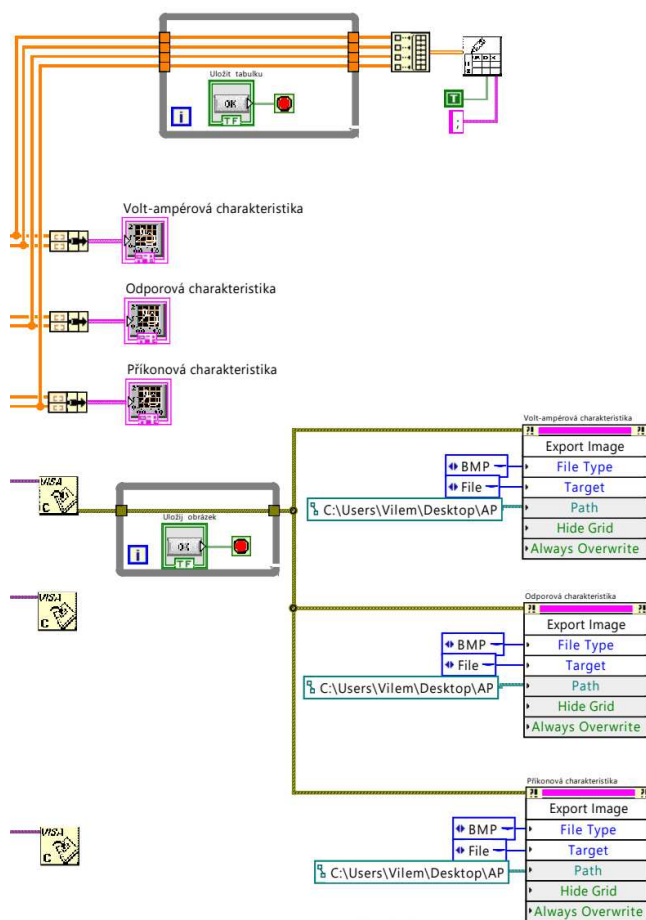
3.3 Automatizovaný sběr veličin a stavový model

Během měření jsou aplikací kontinuálně získávána data (napětí U a proud I) a je prováděn výpočet odvozených parametrů (elektrický odpor R a příkon P). Tyto hodnoty jsou následně ukládány do jednorozměrných polí (Arrays). Podstatným krokem při návrhu byla izolace měřicí části od části ukládací. Data nejsou na pevný disk zapisována průběžně, což by mohlo způsobovat časové prodlevy v komunikaci IMS-2. Namísto toho bylo zvoleno řešení, kdy jsou data shromažďována na hranici běžící smyčky a teprve po jejím ukončení zásahem obsluhy jsou prostřednictvím indexovaných výstupních tunelů hromadně předána do navazujících exportních částí kódu. Tímto způsobem je zaručena naprostá integrita naměřené datové sady.

3.4 Generování reportů a strukturovaný export dat

Poslední část vytvořeného algoritmu je věnována efektivní archivaci změřených charakteristik (např. volt-ampérové či odporové charakteristiky). Uložení je v programu

vyvoláno volitelným uživatelským pokynem. Řídicí logika není realizována přes běžné podmínky, ale pomocí paralelních čekacích smyček (While Loop), které plně využívají princip toku dat (Dataflow). Pro uložení do tabulky jsou nasnímaná jednorozměrná pole s daty přivedena skrz první čekací smyčku. Chod navazujícího kódu je zde pozastaven, dokud není stisknuto tlačítko **TABULKA**. Po jeho stisku je smyčka ukončena, čímž jsou data propuštěna z výstupních tunelů. Následně jsou data převzata, pomocí uzlu Build Array zformátována do přehledné tabulkové struktury a uložena do textového souboru ve formátu CSV s využitím středníku jako oddělovače. Obdobným způsobem je zajištěno uložení grafů. V tomto případě je přes druhou nezávislou čekací smyčku s tlačítkem **OBRÁZEK** protažena pouze chybová sběrnice. Jakmile je stiskem tlačítka smyčka ukončena a je umožněn průchod chybového signálu, je programově vygenerován snímek aktuální podoby grafu (XY Graph) přímo z čelního panelu pomocí bloku Invoke Node (metoda Export Image) a je uložen jako obrazový soubor ve formátu BMP.

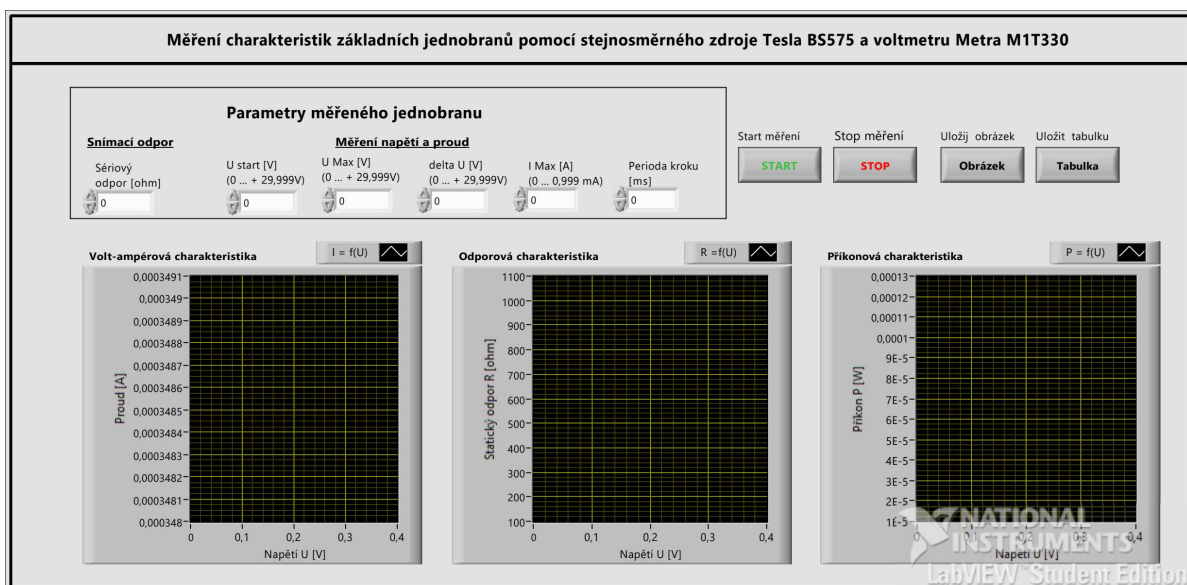


Obrázek 3.3: Softwarová realizace exportu naměřených dat a obrazových reportů

Kapitola 4

Grafické zobrazení dat v prostředí LabVIEW

Vizualizace naměřených dat v reálném čase i jejich následná prezentace tvoří nedílnou součást vývoje softwaru pro automatizovaná měřicí pracoviště. Prostor NI LabVIEW nabízí široké spektrum vizualizačních nástrojů, které je nutné adekvátně zvolit a nakonfigurovat na základě povahy měřeného signálu a požadavků na výslednou technickou dokumentaci. Tato kapitola popisuje softwarové řešení uživatelského rozhraní (Front Panel) pro zobrazení charakteristik měřených přístroji na sběrnici IMS-2.



Obrázek 4.1: Grafické uživatelské rozhraní (Front Panel) vytvořeného měřicího programu

4.1 Koncepce blokového vykreslování a XY Graph

Základní vizualizační prvky v LabVIEW se dělí na grafy typu *Chart* (vykreslující data kontinuálně bod po bodu v závislosti na čase) a grafy typu *Graph* (vykreslující celé datové pole najednou) (HOSPODÁŘSKÝ, M. V., 2024). Vzhledem k navržené architektuře, kdy jsou data nejprve shromažďována v měřicí smyčce a následně po jejím ukončení hromadně předána přes výstupní tunely (jak bylo definováno v předchozí kapitole), je pro zobrazení využít jednorázový blokový přepis dat. Pro vizualizaci statických charakteristik měřených součástek (např. volt-ampérové či odporové charakteristiky) nelze použít standardní časovou osu. Nezávisle proměnnou na vodorovné ose je v tomto případě jiná fyzikální veličina, typicky napětí. Z tohoto důvodu je v aplikaci striktně implementován prvek XY Graph. Pro jeho správnou funkci jsou příslušná jednorozměrná vektorová pole nezávislé a závislé veličiny spojena prostřednictvím funkce Bundle do datové struktury typu Cluster. Tím je softwarově vytvořena matice souřadnicových bodů, která zaručuje exaktní spárování hodnoty proudu či vypočteného výkonu k přesně odpovídající hodnotě budícího napětí v daném okamžiku.

4.2 Softwarová konfigurace a ergonomie rozhraní

Návrh grafického uživatelského rozhraní (GUI) v laboratorní praxi podléhá požadavkům na maximální přehlednost a využitelnost dat. Výchozí vizuální styl prvků v LabVIEW byl proto v rámci vyvíjené aplikace rekonfigurován. Plocha grafů (Plot Area) byla upravena na čistě bílé pozadí s kontrastní černou mřížkou (Grid). Tento krok je kriticky důležitý ze dvou technických a praktických důvodů: Zajišťuje optimální čitelnost a orientaci pro operátora přímo na panelu virtuálního instrumentu. Bezproblémově navazuje na automatizovaný export snímků popsany v předchozí kapitole. Vygenerované soubory z objektového uzlu Export Image mají díky bílému pozadí profesionální dokumentační vzhled. Při vkládání snímků do textových editorů a následném tisku technických protokolů pak nedochází ke zbytečné spotřebě inkoustu, a především je zamezeno ztrátě čitelnosti os, ke které často dochází při tisku výchozích tmavých grafů na monochromatických zařízeních.

4.3 Dynamické škálování os a analytické nástroje

Aby byl virtuální instrument plně univerzální pro různé typy měřených součástek s odlišnými rozsahy napětí, proudů i odporů, jsou obě osy grafů nastaveny do režimu automatického škálování (Autoscale). Algoritmus zobrazovacího bloku po přijetí kompletního datového balíčku automaticky přepočítá minima a maxima os tak, aby zobrazená křivka optimálně vyplnila celou viditelnou plochu grafu. Součástí grafické vizualizace je rovněž integrovaná paleta analytických kurzorů (Cursor Legend). Ta řešiteli umožňuje po skončení měřicího cyklu interaktivně procházet nasnímanou křivku a odečítat přesné numerické hodnoty v konkrétních pracovních bodech přímo z uživatelského rozhraní, a to ještě před finálním exportem strukturovaných dat do tabulkového procesoru.

Kapitola 5

Měření a vyhodnocení

Tato kapitola je věnována praktickému ověření funkčnosti navrženého automatizovaného měřicího systému a prezentaci získaných výsledků. Cílem měření bylo ověřit spolehlivost komunikace prostředí LabVIEW s přístroji po sběrnici IMS-2, otestovat stabilitu vyvinutého programu při dlouhodobějším zatížení a analyzovat chování vybraných elektronických komponentů s lineárními i nelineárními charakteristikami.

5.1 Metodika a postup měření

Celý proces automatizovaného měření je řízen prostřednictvím čelního panelu virtuálního instrumentu. Před samotným spuštěním měřicí sekvence je nutné ze strany obsluhy definovat stěžejní vstupní parametry, které zaručí korektní nasnímání charakteristiky a zároveň zamezí případnému destruktivnímu poškození zkoumané součástky.

Vzhledem k principu nepřímého měření proudu je nezbytným prvním krokem určení přesné hodnoty snímacího odporu zapojeného v sérii v měřicím obvodu. Tato zjištěná hodnota je následně zadána do pole **Sériový odpor** [ohm]. Poté je do systému zadáno počáteční budicí napětí **U start** [V], velikost napěťového kroku **delta U** [V] a prostřednictvím ovládacího prvku je definována časová prodleva mezi jednotlivými kroky měření **Perioda kroku** [ms]. Klíčovým ochranným mechanismem celého algoritmu je nastavení bezpečnostních limitů. Pomocí numerických prvků **U Max** [V] a **I Max** [A] je pevně definováno maximální dovolené napětí a proudový strop pro připojenou zátěž.

Po stisknutí tlačítka **Start měření** je programem zahájeno automatické krokování. Napájecí zdroj TESLA BS 575 je softwarově řízen tak, aby postupně zvyšoval výstupní

napětí o zadanou hodnotu kroku. Po každé změně napěťové úrovně je prostřednictvím sběrnice IMS-2 vyžádána a přečtena aktuální hodnota z voltmetru METRA M1T 330. Tento cyklus se opakuje do té doby, dokud nenastane jedna ze tří ukončovacích podmínek, které jsou neustále vyhodnocovány uvnitř hlavní měřicí smyčky:

1. Dosažení napěťového limitu: Programovaná hodnota napětí dosáhne nastavené meze U_{Max} [V] nebo ji překročí.
2. Překročení proudového limitu: Nasnímaný a přepočtený proud v měřeném obvodu dosáhne stanovené ochranné meze I_{Max} [A].
3. Zásah operátora: Měřicí sekvence je kdykoliv manuálně přerušena stiskem tlačítka **Stop měření**.

Při splnění jakékoliv z výše uvedených podmínek je měřicí cyklus přerušen a programové buzení součástky je ukončeno. Chod celého programu tímto krokem ovšem nekončí. Systém přejde do vyčkávacího stavu, ve kterém jsou naměřená data uchována v paměti a připravena k exportu. V této fázi je očekáván další zásah operátora, který může shromážděná data vyexportovat do textové tabulky tlačítkem **Uložit tabulku**, vygenerovat vizuální protokol tlačítkem **Uložit obrázek**, nebo celou aplikaci definitivně ukončit stisknutím celkového tlačítka pro zastavení programu.

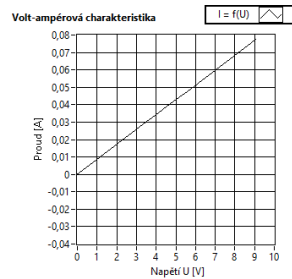
5.2 Vyhodnocení měření konkrétních součástek

Za účelem ověření správné funkce vytvořeného řídicího programu a spolehlivosti komunikace po sběrnici IMS-2 bylo provedeno praktické měření na několika vybraných typech elektronických součástek. Cílem bylo demonstrovat schopnost systému zaznamenat lineární i nelineární průběhy volt-ampérových, odporových a příkonových charakteristik.

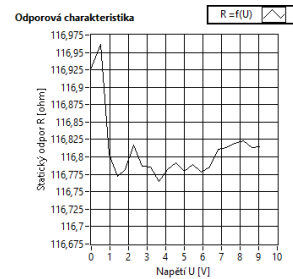
5.2.1 Měření rezistoru

Jako první referenční vzorek byl pro měření zvolen standardní rezistor s nominální hodnotou odporu $100\ \Omega$. Po připojení zátěže do měřicího obvodu byla do ovládacího prvku **Sériový odpor** [ohm] zadána hodnota $9,8\ \Omega$. Následně byly na čelním panelu nastaveny bezpečné provozní limity. Maximální napětí U_{Max} [V] bylo omezeno na 10 V a proudový

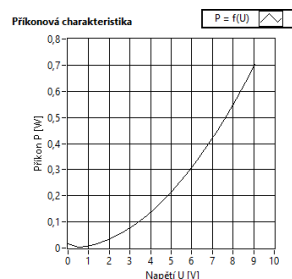
limit I_{Max} [A] byl nastaven na 0,8 A, aby nedošlo k tepelnému přetížení rezistoru. Krok měření ΔU [V] byl stanoven na 0,5 V.



Obrázek 5.1: Volt-ampérová charakteristika rezistoru



Obrázek 5.2: Odporová charakteristika rezistoru



Obrázek 5.3: Příkonová charakteristika rezistoru

	A	B	C	D	E
1	-3,755	-0,032	116,675	0,121	
2	0,485	0,004	116,962	0,002	
3	0,935	0,008	116,804	0,007	
4	1,389	0,012	116,772	0,017	
5	1,84	0,016	116,782	0,029	
6	2,294	0,02	116,817	0,045	
7	2,744	0,023	116,786	0,064	
8	3,197	0,027	116,785	0,088	
9	3,646	0,031	116,765	0,114	
10	4,1	0,035	116,781	0,144	
11	4,551	0,039	116,792	0,177	
12	5,004	0,043	116,779	0,214	
13	5,455	0,047	116,789	0,255	
14	5,908	0,051	116,778	0,299	
15	6,358	0,054	116,786	0,346	
16	6,812	0,058	116,811	0,397	
17	7,259	0,062	116,814	0,451	
18	7,713	0,066	116,819	0,509	
19	8,163	0,07	116,823	0,57	
20	8,616	0,074	116,814	0,636	
21	9,059	0,078	116,815	0,703	
22					

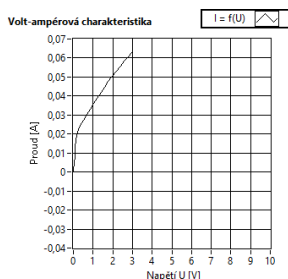
Obrázek 5.4: Vyexportovaná data z měření rezistoru

Z grafického výstupu vygenerovaného programem je patrné, že volt-ampérová charakteristika (viz obr. 5.1) nabývá tvaru přímky procházející počátkem souřadnicového systému. Tento výsledek plně potvrzuje platnost Ohmova zákona pro lineární součástky a prokazuje, že program korektně vyčítá data z číslicového voltmetru a synchronně řídí napájecí zdroj. Souběžně se sběrem základních veličin program automaticky vypočítal a zobrazil i odvozené závislosti. Z odporové charakteristiky (viz obr. 5.2) je zřejmé, že hodnota statického odporu zůstává v celém rozsahu měření ustálená. Skutečná naměřená hodnota se pohybuje okolo $116,8 \Omega$, což oproti nominální hodnotě odráží reálné vlastnosti zkoumaného vzorku a vliv přechodových odporů v obvodu. Příkonová charakteristika (viz obr. 5.3) nabývá tvaru paraboly, což přesně odpovídá teoretické kvadratické závislosti

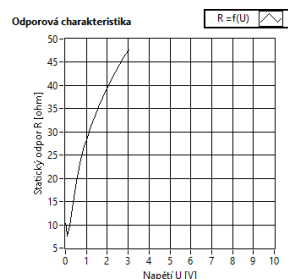
ztrátového výkonu na napětí. Po úspěšném dokončení krokování byla kompletní naměřená data hromadně vyexportována do strukturovaného textového souboru ve formátu CSV je demonstrována na obr. 5.4.

5.2.2 Měření žárovky

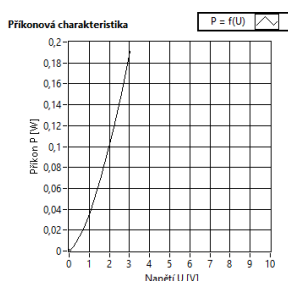
Pro demonstraci chování systému při nelineární a teplotně závislé zátěži byla jako druhý referenční vzorek použita malá žárovka s wolframovým vláknem. Na čelním panelu bylo maximální napětí U_{Max} [V] nastaveno na 10 V a krok měření ΔU [V] byl stanoven na 0,2 V. Z bezpečnostních důvodů byl proudový limit I_{Max} [A] softwarově omezen na 0,4 A, aby se předešlo případnému tepelnému zničení zkoumané součástky.



Obrázek 5.5: Volt-ampérová charakteristika žárovky



Obrázek 5.6: Odporová charakteristika žárovky



Obrázek 5.7: Příkonová charakteristika žárovky

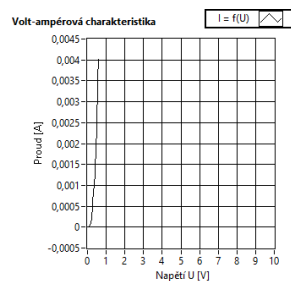
Obrázek 5.8: Vyexportovaná data z měření žárovky

Z grafických výstupů je na první pohled patrná silná nelinearita zkoumaného prvku.

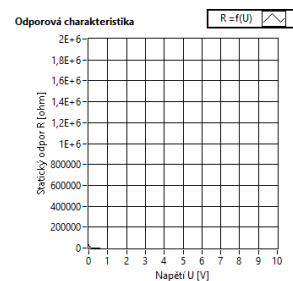
Volt-ampérová charakteristika (viz obr. 5.5) nemá tvar přímky, což je způsobeno zahříváním wolframového vlákna při průchodu elektrického proudu. Tento fyzikální jev systém přesně zachytil a převedl do odporové charakteristiky na obr. 5.6. Z ní je zřejmé, že statický elektrický odpor studeného vlákna na počátku měření činil zhruba $8\ \Omega$, avšak se vzrůstajícím napětím a tedy i rostoucí teplotou, plynule vystoupal až na hodnotu blížící se $48\ \Omega$. Příkonová charakteristika (viz obr. 5.7) pak mapuje nárůst ztrátového výkonu až k maximální naměřené hodnotě přibližně $0,19\ \text{W}$. Po ukončení měření byla kompletní datová sada opět vyexportována do tabulky na obr. 5.8.

5.2.3 Měření germániové diody

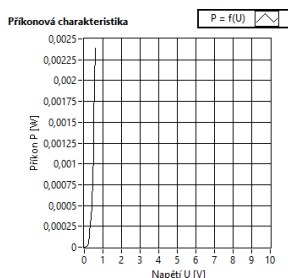
Třetím analyzovaným vzorkem se stala germaniová dioda zapojená v propustném směru. U nelineárních polovodičových prvků je kladen extrémní důraz na správné nastavení proudového omezení, aby nedošlo k tepelnému průrazu citlivého přechodu P-N. Na čelním panelu bylo maximální napětí $U_{\text{Max}}\ [\text{V}]$ nastaveno na $1\ \text{V}$ a krok měření $\Delta U\ [\text{V}]$ byl stanoven na $0,05\ \text{V}$. Proudový limit $I_{\text{Max}}\ [\text{A}]$ byl softwarově omezen na hodnotu $0,02\ \text{A}$.



Obrázek 5.9: Volt-ampérová charakteristika germániové diody



Obrázek 5.10: Odporová charakteristika germániové diody



Obrázek 5.11: Příkonová charakteristika germániové diody

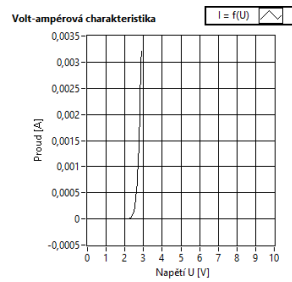
	A	B	C	D	E
1	-4,112	0	1804346	0	
2	0,044	0	5198,826	0	
3	0,13	0	3293,528	0	
4	0,14	0	2835,948	0	
5	0,214	0	1124,136	0	
6	0,221	0	1028,716	0	
7	0,267	0,001	535,165	0	
8	0,338	0,001	376,411	0	
9	0,343	0,001	364,321	0	
10	0,368	0,001	287,068	0,001	
11	0,393	0,001	280,478	0,001	
12	0,434	0,002	235,618	0,001	
13	0,439	0,002	231,506	0,001	
14	0,477	0,002	202,001	0,001	
15	0,482	0,002	199,131	0,001	
16	0,518	0,003	178,456	0,002	
17	0,522	0,003	176,433	0,002	
18	0,557	0,003	160,938	0,002	
19	0,561	0,004	159,308	0,002	
20	0,593	0,004	147,619	0,002	
21					
22					

Obrázek 5.12: Vyexportovaná data z měření germániové diody

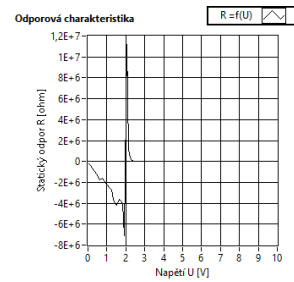
Z grafických výstupů Volt-ampérové charakteristiky (viz obr. 5.9) je patrný typický nelineární průběh polovodičové součástky. K výraznému nárůstu propustného proudu dochází po překročení prahového napětí v oblasti přibližně 0,2 V až 0,3 V, což je charakteristická hodnota právě pro germániové diody. Odporová charakteristika (viz obr. 5.10) ukazuje, že v nepropustné oblasti před plným otevřením diody nabývá statický odpor extrémně vysokých hodnot, v maximu dosahuje až k hodnotě 1,8 MΩ. Po překročení prahového napětí a otevření přechodu P-N hodnota odporu strmě klesá. Příkonová charakteristika (viz obr. 5.11) pak mapuje plynulý nárůst ztrátového výkonu v závislosti na rostoucím proudu a napětí. Kompletní sada nasnímaných hodnot byla po ukončení měření vyexportována do strukturovaného textového souboru ve formátu CSV (viz obr. 5.12).

5.2.4 Měření zelené LED

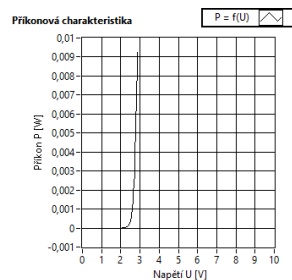
Jako další nelineární prvek byla měřena optoelektronická součástka – zelená LED dioda zapojená v propustném směru. Na čelním panelu bylo maximální napětí U_{Max} [V] nastaveno na 3,5 V a krok měření ΔU [V] byl stanoven na 0,1 V. Proudový limit I_{Max} [A] byl softwarově omezen na hodnotu 0,03 A.



Obrázek 5.13: Volt-ampérová charakteristika zelené LED v propustném směru



Obrázek 5.14: Odporová charakteristika zelené LED v propustném směru



Obrázek 5.15: Příkonová charakteristika zelené LED

	A	B	C	D
20	1,937	0	-7084792	0
21	2,036	0	11165266	0
22	2,135	0	1115545	0
23	2,234	0	302528,2	0
24	2,329	0	103007,4	0
25	2,416	0	40030,56	0
26	2,49	0	18579,6	0
27	2,55	0	10355,1	0,001
28	2,598	0	6664,865	0,001
29	2,635	0,001	4836,381	0,001
30	2,664	0,001	3815,366	0,002
31	2,687	0,001	3174,848	0,002
32	2,715	0,001	2572,841	0,003
33	2,727	0,001	2352,847	0,003
34	2,743	0,001	2031,583	0,004
35	2,861	0,003	958,192	0,009
36	2,875	0,003	895,987	0,009

Obrázek 5.16: Vyexportovaná data z měření zelené LED

Z naměřené Volt-ampérové charakteristiky (viz obr. 5.13) je zřetelně vidět specifický průběh optoelektronického prvku, kde k prudkému nárůstu propustného proudu dochází po překročení prahového napětí přibližně v oblasti 2,2 V až 2,4 V, což odpovídá šířce zakázaného pásma materiálů používaných pro zelené spektrum. Na odporové charakteristice (viz obr. 5.14) se v oblasti před otevřením diody projevují výrazné výkyvy a špičky způsobené minimálním odběrem proudu, než se odpor po sepnutí přechodu P-N ustálí na stabilních hodnotách. Příkonová charakteristika (viz obr. 5.15) znázorňuje nárůst ztrátového výkonu v závislosti na rostoucím napětí a proudu. Kompletní sada nasnímaných hodnot byla po ukončení měření vyexportována do strukturovaného textového souboru ve formátu CSV (viz obr. 5.16).

Kapitola 6

Závěr

Tato absolventská práce si kladla za hlavní cíl navrhnout a realizovat funkční softwarové řešení pro automatizované řízení historických, avšak metrologicky velmi přesných měřicích přístrojů TESLA BS 575 a METRA M1T 330 prostřednictvím komunikační sběrnice IMS-2. Lze s jistotou konstatovat, že veškeré stanovené cíle a dílčí úkoly definované v zadání byly plně a úspěšně splněny. Vzniklo ucelené řešení, které překlenuje technologickou propast mezi historickým hardwarovým standardem a současnými požadavky na počítačem řízený sběr dat.

Z hlediska softwarového vývoje byl v grafickém prostředí NI LabVIEW vytvořen stabilní virtuální instrument (VI). Aplikace bezpečně zajišťuje obousměrnou komunikaci s připojenými přístroji, plně automatizuje proces krokování budicího napětí a s vysokou spolehlivostí provádí synchronizovaný sběr naměřených dat. Architektura programu, postavená na striktním dodržování toku dat (Dataflow) a provázání chybových klastrů, zaručuje sekvenční vykonávání instrukcí bez rizika vzniku kolizí na sběrnici. Součástí výsledného řešení je rovněž pokročilé uživatelské rozhraní, které naměřené hodnoty okamžitě matematicky zpracovává do odvozených veličin (elektrický odpor a příkon) a v reálném čase je vizualizuje pomocí prvku XY Graph.

Praktické testování systému prokazatelně potvrdilo, že propojení prostřednictvím hardwarového převodníku Keysight 82357B v kombinaci s abstraktní vrstvou VISA funguje bezchybně. Asynchronní výměna dat po sběrnici IMS-2 se dokázala bez problémů přizpůsobit rychlosti nejpomalejšího zařízení v řetězci. Dosažené výsledky při měření volt-ampérových charakteristik jak lineárních (rezistory), tak i nelineárních a teplotně závislých součástek (wolframové vlákno) potvrdily vysokou dynamiku programovatelného zdroje i excelentní přesnost a vstupní odpor použitého voltmetru.

Hlavní přínos této práce spočívá v její edukativní a ekonomické rovině, což ocení

zejména technicky zaměřené školy a laboratoře. Práce poskytuje ucelený návod, jak lze morálně zastaralou, avšak vysoce kvalitní laboratorní techniku zachránit před vyřazením a s minimálními finančními náklady ji plnohodnotně integrovat do moderního, počítačem řízeného řetězce. Výsledné pracoviště je okamžitě připravené k nasazení do odborné výuky. Žákům a studentům umožní opustit zdoluhavé manuální nastavování a odečítání hodnot. Namísto toho jim poskytne cenný prostor pro seznámení se s průmyslovými standardy automatizace, logikou řízení experimentů a analýzou rozsáhlých datových sad, což jsou kompetence, které současná technická praxe nekompromisně vyžaduje. K uživatelskému komfortu zásadně přispívá i implementovaný dvoufázový blokový export, který naměřená data automaticky ukládá do strukturovaného textového formátu CSV a zároveň generuje vizuální protokol ve formátu BMP.

Z hlediska dalšího vývoje a rozšiřování tohoto projektu lze doporučit několik technických návazností, které by stávající pracoviště posunuly na ještě vyšší úroveň. Prvním krokem by mohlo být hardwarové vylepšení v podobě návrhu a následného 3D tisku měřicího přípravku, který by zaručil konstantní přechodové odpory na kontaktech pro různé typy pouzder součástek. Z pohledu rozšiřování měřicího řetězce se nabízí implementace dalších přístrojů kompatibilních se sběrnici IMS-2, jako jsou například programovatelné elektronické zátěže nebo přepínací matice pro automatické měření vícero součástek v jedné sekvenci. V neposlední řadě se jako logický navazující krok jeví vývoj automatizovaného skriptu v analytickém softwaru, který by po skončení experimentu hromadně načítal vyexportované CSV soubory, prováděl pokročilou filtraci dat a automaticky kalkuloval celkovou nejistotu měření.

Literatura

- HOSPODÁŘSKÝ, M. V. (2024), Seznámení s grafickým programovacím prostředím National Instruments LabVIEW. Výukový materiál.
- KEYSIGHT (2021), *82357B User's Guide*, Keysight Technologies. [cit. 2026-08-10], <https://www.keysight.com/us/en/support/82357B/>.
- KEYSIGHT TECHNOLOGIES (2023), *Keysight IO Libraries Suite Help* [online]. [cit. 2026-08-10], <https://www.keysight.com>.
- KODAD, V. (2015), Přístrojové komunikační rozhraní IMS-1 a IMS-2/GPIB, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí. Vedoucí práce Mgr. Bc. M. V. Hospodářský.
- METRA BLANSKO (1986), *M1T330 číslicový voltmetr: Návod k obsluze*, Metra Blansko.
- NATIONAL INSTRUMENTS (2020), *NI-VISA User Manual* [online]. [cit. 2026-08-10], <https://www.ni.com/pdf/manuals/370423a.pdf>.
- TESLA VRÁBLE (1987), *Programovatelný zdroj BS 575*, TESLA Vráble.
- ÚŘAD PRO NORMALIZACI A MĚŘENÍ (1984), *ČSN 35 6522: Elektronické měřicí přístroje. Stykový systém IMS-2*, Praha.

Příloha A

Obsah přiloženého DVD

K této práci je přiloženo DVD obsahující technickou dokumentaci, zdrojový soubor a další podklady použité při realizaci zprovoznění programovatelných měřících přístrojů s rozhraním IMS-2 pomocí LabVIEW obsahující s následující strukturou:

- **Absolventská práce v $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ :** Zdrojové soubory ve formátu $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ jsou uloženy včetně všech použitých obrázků a příloh.
- **Fotodokumentace:** Fotografie z realizace systému, zapojení jednotlivých komponent a testování v laboratorních a reálných podmínkách jsou obsaženy v této složce.
- **Manualy:** Technická dokumentace použitých komponent (TESLA BS 575, METRA M1T 330, Keysight 82357B USB/GPIB Interface, NI VISA, IO Libraries Suite)
- **Měření:** Vyexportované grafy a tabulky měřených prvků.
- **Program_LabVIEW:** Zdrojový soubor hlavního měřicího programu (Virtual Instrument).
- **Prokop_AP_2025_2026.pdf** – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

Keysight IO Libraries Suite $\langle$ <https://www.keysight.com> $\rangle$

L^AT_EX 2 ϵ $\langle$ <http://www.miktex.org/> $\rangle$

NI LabVIEW 2014 $\langle$ <https://www.ni.com/labview> $\rangle$

NI-VISA $\langle$ <https://www.ni.com/visa/> $\rangle$

TeXstudio $\langle$ <https://www.texstudio.org//> $\rangle$

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný (Open Source / Freeware), nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor toho času studoval a vytvořil tuto práci.

Příloha C

Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
studium manuálů k přístrojům a IMS-2	3 týdny	31.10.2025	27.10.2025
seznámení s prostředím LabVIEW	4 týdnů	30.11.2025	
zprovoznění komunikace s měřicími přístroji	3 měsíce	28.02.2026	04.03.2026
návrh a programování měřicího algoritmu	2 měsíce	30.04.2026	29.04.2026
tvorba grafického uživatelského rozhraní	3 týdny	31.05.2026	07.06.2026
testování a reálné měření V-A charakteristik	1 týden	07.06.2026	05.06.2026
AP: zpracování výsledků a export	2 týdny	21.06.2026	18.06.2026
AP: psaní textu a formální úpravy práce	2 měsíce	21.08.2026	14.08.2026

Příloha D

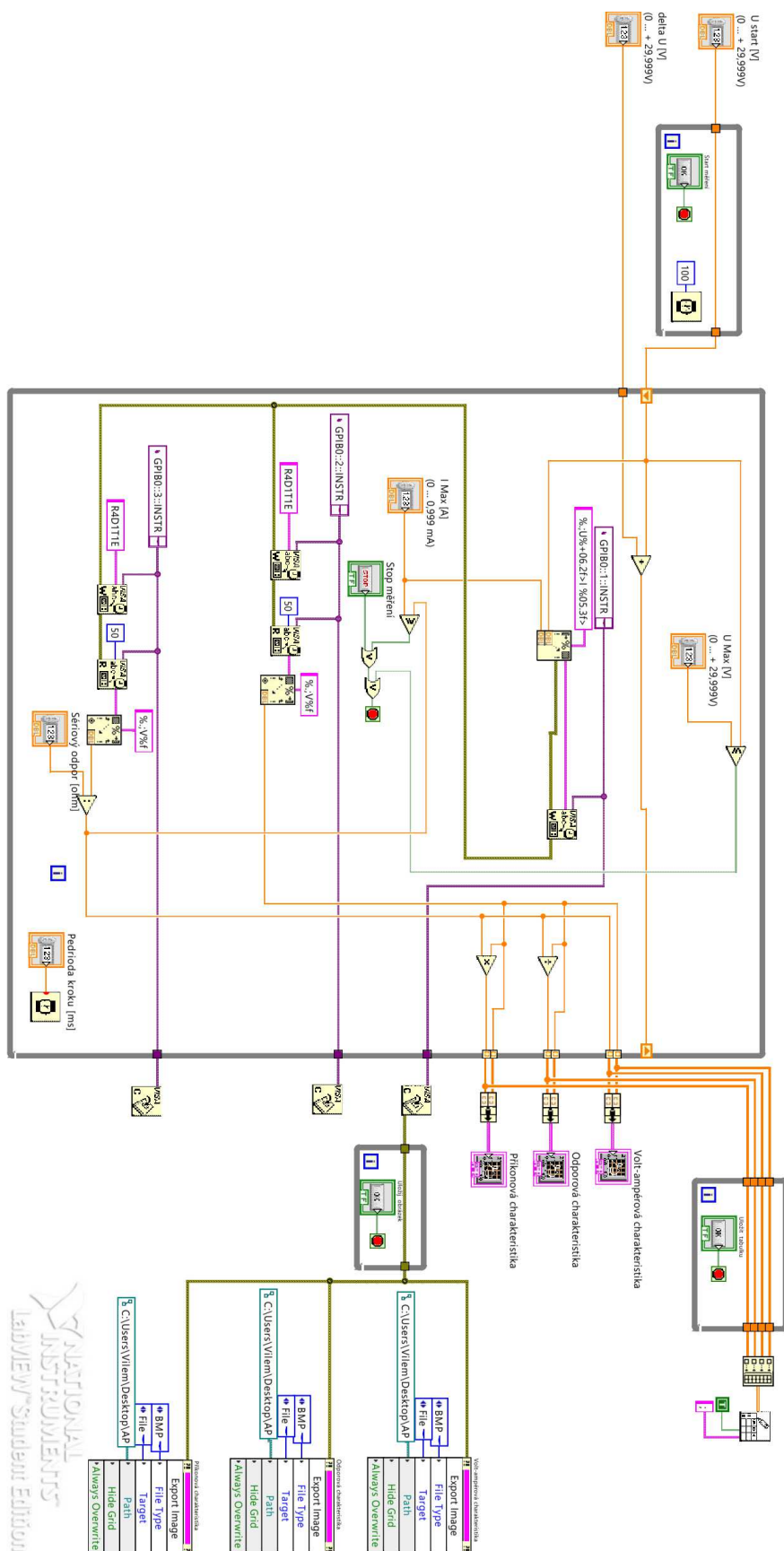
Blokový diagram a přední panel

Tato příloha obsahuje technickou dokumentaci k softwarové části systému, konkrétně vizualizaci virtuálního instrumentu (VI) vytvořeného v grafickém vývojovém prostředí NI LabVIEW. Navržený měřicí systém využívá pro dálkové řízení přístrojů a automatizovaný sběr dat jeden komplexní programový celek.

Příloha záměrně neobsahuje detailní rozpis nízkourovňových uzlů komunikační vrstvy NI-VISA, neboť se jedná o standardizované systémové funkce. Kompletní interaktivní zdrojový kód ve formátu .vi je pro případné další úpravy součástí digitální přílohy na přiloženém médiu (viz. Příloha A).

Zdrojový kód (Block Diagram)

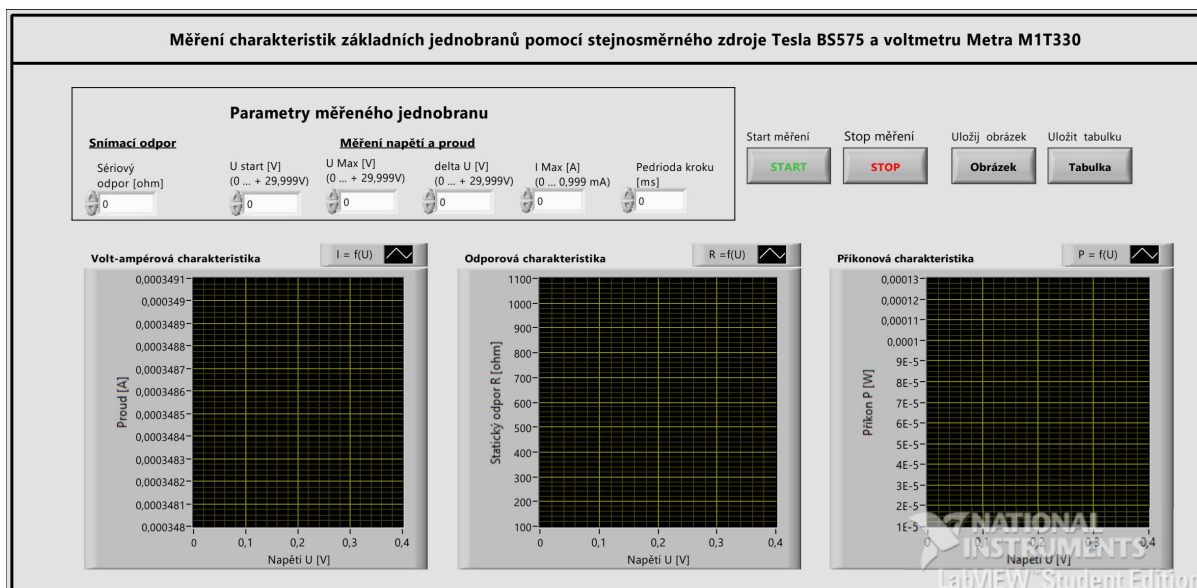
Obrázek D.1 prezentuje celkový blokový diagram, který tvoří samotný grafický zdrojový kód aplikace.



Obrázek D.1: Kompletní blokový diagram řídicího programu

Uživatelské rozhraní (Front Panel)

Na obrázku D.2 je znázorněno grafické uživatelské rozhraní hlavního měřicího programu. Toto rozhraní slouží k zadávání vstupních limitů, sledování aktuálního stavu měřicí smyčky a vizualizaci vykreslených volt-ampérových, odporových a příkonových charakteristik.



Obrázek D.2: Grafické uživatelské rozhraní měřicího programu