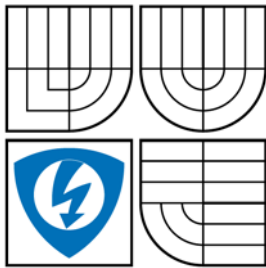


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

OBSLUŽNÝ SW PRO MULTIMETR 34410 A

CONTROL SOFTWARE FOR MULTIMETER 34410 A

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LADISLAV HORÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ KEPRT

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení:

Bytem:

Narozen/a (datum a místo):

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ústav:

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav automatizace a měřicí techniky

Obslužný SW pro multimetr 34410 A

Bakalářská práce

Studijní zaměření: Automatizace a měřicí technika
Student: Ladislav Horák
Vedoucí práce: ing. Jiří Kepřt

Abstrakt:

Práce se zabývá vytvořením obslužného softwaru pro multimetr Agilent 34410 A a manuálu pro jeho použití.

V první části se práce zaměřuje na teoretickou problematiku jednotlivých částí celého měřicího systému. Ukazuje možnosti nastavení multimetru a jeho komunikaci s řídicí jednotkou přes rozhraní. Dále je zde stručně popsáno vývojové prostředí LabView 7.1.

Druhá část práce seznamuje s problematikou obslužného softwaru pro multimetr 34410 A. Popisuje výběr měření a jejich podrobné nastavení. Dále je zde nastíněno nastavení rozšířených funkcí, které multimetr umožňuje.

Ve třetí části se práce zabývá validačním měřením podle požadavků na proměření laboratorního zdroje (DIAMETRAL) v celém rozsahu. Jednotlivá měření jsou zpracována v tabulkách a vynesena v grafech. Jsou provedeny výpočty nejistot typu A, B a celkové kombinované nejistoty.

Klíčová slova: Agilent 34410 A, LabView 7.1, software, GPIB

Brno University of Technology
Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Control and Instrumentation

Control Software for multimeter 34410 A

Thesis

Specialization of study: Cyber, Control and Measurement
Student: Ladislav Horák
Supervisor: ing. Jiří Keprt

Abstract:

The thesis deals with development of Control Software for multimeter 34410 A and manual for its usage.

The first part of the thesis is focused on theoretical problems of individual parts of the whole measuring system. The possibilities of setting of multimeter and his communication with control section through interface are shown. Development environment LabView 7.1 is also briefly described.

The second part of the thesis deals with problems of Control Software for multimeter 34410 A. The selection of measuring and its detail options are described. It is also outlined the setting of extended functions, which multimeter enables to use.

The third part of the thesis deals with validation measuring according to requirements for measuring of laboratory-type power source (DIAMETRAL) in its whole range. Individual measuring were process to tables and shown in graphs. Calculations of uncertainty types A, B and total combined uncertainty are presented.

Key words: Agilent 34410 A, LabView 7.1, software, GPIB

Bibliografická citace

HORÁK, Ladislav. *Obslužný SW pro multimetr 34410 A*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. s., příloh. Ing. Jiří Keprt

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Obslužný SW pro multimetr 34410 A" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

Poděkování

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Keprtovi.

OBSAH

OBSAH.....	6
SEZNAM OBRÁZKŮ	7
1. ÚVOD	8
2. PŘEHLED FUNKCÍ 34410A	9
3. PRINCIP MĚŘENÍ A VLIVY CHYB NA MĚŘENÍ	10
3.1 Tepelná chyba	11
3.2 Chyba zatížení.....	11
3.3 Potlačení šumu	11
3.3.1 Běžná metoda potlačení (CMR)	12
3.3.2 Šum způsoben od magnetické smyčky	12
3.3.3 Šum způsoben od zemnicí smyčky	12
4. GPIB	13
4.1 Princip komunikace v systému IEEE 488.....	14
5. STANDARD SCPI.....	17
6. LABVIEW.....	18
6.1 VISA	19
7. POPIS OBSUŽNÉHO PROGRAMU PRO 34410A.....	21
7.1 Popis kontrolních panelů a dialogových oken	21
7.1.1 Úvodní dialog	21
7.1.2 Nastavení měření	22
7.1.3 Výsledky měření.....	24
7.1.4 Prohlížení měření.....	25
8. NASTAVENÍ MĚŘENÍ.....	26
8.1 Napětí DC	26
8.2 Napětí AC	27
8.3 Proud DC	28
8.4 Proud AC	30
8.5 Odpor	31
8.6 Frekvence.....	32
8.7 Perioda	33
8.8 Kapacita	33
8.9 Teplota	34
8.10 Test spojení	35
8.11 Kontrola diod	36
9. DALŠÍ NASTAVENÍ	37
9.1 Trigger.....	37
9.2 Matematika.....	39
10. VALIDAČNÍ MĚŘENÍ.....	41
10.1 Měření zdroje na 1V	41
11. ZÁVĚR	45
12. LITERATURA.....	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Typický měřicí systém (pouze pro daný okamžik)	14
Obrázek 2: Hierarchie VISA [7]	19
Obrázek 3: Popis úvodního dialogu	21
Obrázek 4: Popis dialogu Nastavení měření	22
Obrázek 5: Popis dialogu Výsledky měření	24
Obrázek 6: Popis dialogu Prohlížení měření	25
Obrázek 7: Časování záporného impulsu na konektoru Ext Trig [4]	38
Obrázek 8: Časování záporného impulsu na konektoru VM Comp [4]	38
Obrázek 9: Graf nejistoty A, B, Kombi. všech měření	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Základní vlastnosti soustavy [1]	13
Tabulka 2: Druhy vícevodičových zpráv [8]	15
Tabulka 3: Obecné přístrojové příkazy [8]	17
Tabulka 4: Ukázka kombinace platformy a prostředí [8]	20
Tabulka 5: Doby ustálení ACV	28
Tabulka 6: Doby ustálení ACI	30
Tabulka 7: Vliv doby otevření hradla na rozlišení	32
Tabulka 8: Tabulka naměřených hodnot pro 1V	41
Tabulka 9: Tabulka všech vypočítaných nejistot	44

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Celková TrueRMS [4]	10
Rovnice 2: Chyba zatížení [4]	11
Rovnice 3: Chyba CMR [4]	12
Rovnice 4: Výpočet nejistoty typu A	41
Rovnice 5: Nejistota typu A	42
Rovnice 6: Nejistota +, horní hranice nejistoty	42
Rovnice 7: Nejistota -, dolní hranice nejistoty	42
Rovnice 8: Nejistota měření voltmetru	42
Rovnice 9: Standardní nejistota (rovnorné rozložení)	42
Rovnice 10: Kombinovaná nejistota	42

1. ÚVOD

Rozvoj výpočetní techniky zásadním způsobem ovlivnil zpracování dat a signálu z měřicích přístrojů. Výpočetní technika se stala samozřejmostí každého měřicího systému. Proto číslicové zpracování signálu našlo uplatnění i v měřicí technice.

Jedním z měřicích přístrojů využívajících digitální zpracování signálu je multimetr Agilent 34410A. Jde o kvalitní přístroj umožňující přesné měření stejnosměrných a střídavých veličin.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo seznámit se s multimetrem Agilent 34410A, prozkoumat možnosti jeho konfigurace a využití a v prostředí LabVIEW 7.1 realizovat měřicí a řídicí software pro tento přístroj. Dílčími úkoly bylo nastudovat obsluhu a ovládání přes GBIP a provést validační měření.

Prvních pět kapitol práce je věnováno teoretickým východiskům. Seznamují s funkcemi a principem měření přístroje, vlivu chyb na měření, způsobem komunikace prostřednictvím sběrnice GBIP, standardem SCPI a programem LabVIEW. Těžiště práce spočívá v dalších dvou kapitolách – popisu vytvořeného obslužného programu a nastavení měření.

2. PŘEHLED FUNKCÍ 34410A

Multimetr Agilent 34410A, umožňuje velice kvalitní způsob měření stejnosměrných i střídavých veličin s rozlišením 6 ½ místa. [4]

- **měření napětí a proudu**
 - o stejnosměrné
 - o střídavé
- **měření odporu**
 - o dvou nebo čtyřvodičové
- **zkouška diod a propojení**
- **měření kapacity**
- **měření teploty**
 - o termistorem
 - o RTD

Multimetr pro tyto měření nabízí mnoho funkcí, které jsou v dnešní době nepostradatelné. [4]

- **automatické nebo manuální nastavení rozsahu**
- **matematické funkce**
 - o nulování
 - o dB
 - o dBm
 - o překročení mezí
 - o statické výpočty
- **záznam dat do energeticky nezávislé paměti v přístroji**
- **dálkové ovládání**
 - o GPIB
 - o USB
 - o LAN
- **integrované rozhraní (přímí přístup z webového rozhraní)**
- **snadné programování**
 - o SCPI

3. PRINCIP MĚŘENÍ A VLIVY CHYB NA MĚŘENÍ

Multimetr Agilent 34410A měří pravdivou efektivní hodnotu (TrueRMS) střídavého signálu. Přístroj musí být opatřen topným potenciálem z působícího napětí. Ztrátový výkon v odporu je úměrný druhé mocnině daného napětí, které je závislé na tvaru signálu. Přístroj měří TrueRMS pouze u sinusových průběhů. Přístroj přesně měří TrueRMS tak dlouho, dokud tvar křivky obsahuje nepatrnou energii nad efektivní šířkou pásma (střídavého napětí 300 kHz, střídavého proud 10 kHz).

Hodnoty TrueRMS měří střídavé napětí a proud funkcí ac-coupled (střídavá vazba – do vstupu se připojí kondenzátor), přístroj potlačil stejnosměrnou složku vstupního signálu. Ac-coupled je vhodný při měření malých střídavých signálů, které jsou obsaženy ve velkém stejnosměrném offsetu.

Rovnice 1: Celková TrueRMS [4]

$$ac + dc = \sqrt{ac^2 + dc^2} \quad (1)$$

kde je ac.....střídavá složka
dc.....stejnsměrná složka

Přístroj, který měří střední hodnotu, se s TrueRMS bude shodovat pouze v sinusovém signálu.

Pro digitalizaci vstupního analogového signálu přístroj používá integrační A/D převodník, který pouze převádí stejnosměrnou složku. Abychom převedli střídavou složku signálu na digitální, musí být nejdříve střídavá složka převedena na složku stejnosměrnou. K tomu přístroj použil technologii termočláňkového AC/DC měniče.

Termoelektrický článek je tvořen spojením dvou kovů. Když přivedeme na topný vodič proud, vodič se zahřeje a tím zahřeje přechod termočláňku a na výstupu vzniká termoelektrické napětí, které je úměrné efektivní hodnotě proudu protékajícího topným vodičem. Toto napětí může být i zdrojem chyby.

3.1 TEPELNÁ CHYBA

Termoelektrické napětí je nejobvyklejším zdrojem chyb u nízkoúrovňových měření stejnosměrných napětí.[4] Nežádoucí termoelektrická napětí jsou generována, když připojíme obvod k provoznímu proudu, s termočlánekem složeným z dvou různých kovů o různých teplotách. Pro minimalizaci je vhodné použít spojení stejných kovů. Nejlepší variantou je spojení měď-měď, protože vývody multimetru jsou tvořeny ze slitiny mědi.

3.2 CHYBA ZATÍŽENÍ

Chyba zatížení se vyskytuje, když výstupní odpor měřeného přípravku překročí pouze o patrné procento vstupní odpor měřícího přístroje.

Rovnice 2: Chyba zatížení [4]

$$Chyba = \frac{100 * R_s}{R_s + R_i} \quad [%] \quad (2)$$

kde je R_sodpor přípravku

R_ivstupní odpor multimetru

Pro redukci účinku chyby zatížení a potlačení šumu, můžeme nastavit vstupní odpor přístroje na $>10G\Omega$ (HI-Z).

3.3 POTLAČENÍ ŠUMU

Základní vlastností integračního A/D převodníku je potlačit síťový šum současně se stejnosměrnou složkou. Tato vlastnost se nazývá NMR (normal mode noise rejection).[4] Přístroj dosáhne NMR měřením průměru integrace stejnosměrné složky přes 1 periodu. Pokud nastavíme dobu integrace na celočíselný násobek periody síťového napájení (PLCs), bude se tato chyba a její harmonická vlna přibližovat k nule.

Přístroj poskytuje 4 druhy integrace (1, 2, 10, 100 PLCs). Přístroj změní síťovou frekvenci a poté určí odpovídající dobu integrace.

3.3.1 Běžná metoda potlačení (CMR)

Teoreticky by měl být přístroj kompletně izolován, ale není tomu tak. Mezi vstupním terminálem přístroje a uzemněním je konečný odpor, který může způsobit chyby při měření nízkých napětí, které jsou relativně měřeny proti zemi.

Rovnice 3: Chyba CMR [4]

$$Chyba = \frac{V_f * R_s}{R_s + R_i} \quad [V] \quad (3)$$

kde je R_snevyvážený odpor přípravku

R_iizolační odpor přístroje (LO)

3.3.2 Šum způsoben od magnetické smyčky

Pokud provádíme měření poblíž magnetického pole, tak musíme brát na vědomí, že se nám v měřicím obvodu indukuje napětí, obzvláště u vodičů nesoucích vysoké proudy. Pro potlačení šumu je dobré provádět propojení kroucenou dvojlinkou, nebo vodiče vést co nejbližše u sebe. Nejvhodnějším řešením je použít stínící materiál nebo zvýšit vzdálenost od magnetického zdroje.

3.3.3 Šum způsoben od zemnicí smyčky

Při měření napětí v obvodu, kde je přístroj a měřený prvek, vztažen k jedné zemi, vzniká zemní smyčka. To způsobí napěťový rozdíl mezi dvěma referenčními uzly, jejímž následkem je průtok proudu skrze měřicí vodiče. Nejlepším potlačením je izolace nezemněných vstupů terminálu. Pokud musí být přístroj spojen se zemí, tak se musí svést země přístroje i přípravku do jednoho bodu.

4. GPIB

Rozhraní GPIB bylo vyvinuto a navrženo dle standardu IEEE v roce 1975, aby se mohly sestavovat flexibilní měřicí systémy, které se sestavovaly i ve více místnostech. Staly se nejrozšířenější soustavou v automatizačním měření.

Přístroje byly připojovány do systému standardním rozhraním, přes které se přenášely zprávy řídicí chod systému. Zprávy se přenášely sérioparalelně po bytech s rychlostí maximální 8MB/s (HS – 488).

Maximální přenosová rychlost	8MB/s (HS-488)
Způsob přenosu dat	Sérioparalelně po bytech
Maximální délka sběrnice	20 m
Maximální vzdálenost mezi přístroji	4 m
Maximální počet přístrojů	15

Tabulka 1: Základní vlastnosti soustavy [1]

Sběrnice je složena z 24 vodičů, z toho je 16 signálových a zbytek zemnicí a zpětné.[1] Některé ze signálových vodičů jsou vedeny krouceným párem pro zajištění minimálních přeslechů.

Na sběrnici je využita negativní logika, což znamená, že nízká úroveň má hodnotu logická 1 (<0.8V) a vysoká úroveň logická 0 (>2.0V) TTL logika. Sběrnici můžeme rozdělit na tři části:

Datové linky - osmivodičová sběrnice dat označená jako DIO1 až DIO8 sloužící pro obousměrný přenos vícevodičové zprávy (adresy, povely, naměřené hodnoty) znak po znaku (po bytech). Pro potvrzování platnosti znaků a jeho přijetí slouží sběrnice řízení přenosu dat.

Linky řízení sběrnice - pětivodičová sběrnice celkového řízení sloužící pro přenos jednovodičových zpráv.

ATN – pozor (Attention) určuje typ zprávy

IFC – nulování styku (Interface Clear)

REN – dálkové ovládání (Remote Enable) pro volbu mezi místním a dálkovým ovládáním

EOI – konec nebo identifikace (End or Identify) pro vyznačení konce dat nebo paralelní hlášení

SRQ – žádost o obsluhu (Service Request)

Korespondenční linky - třívodičová sběrnice pro řízení přenosu dat.

DAV – data platná (Data Valid) potvrzuje platnost dat na vodičích DIO

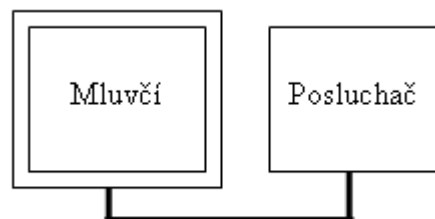
NRFD – nepřipraven pro data (Not Ready For Data) označuje, že styková jednotka není schopna přijímat a nastavovat nová data na DIO

NDAC – data nepřijata (No Data Accepted) označuje, že data nebyla stykovou jednotkou zpracována, musí na DIO zůstat

4.1 PRINCIP KOMUNIKACE V SYSTÉMU IEEE 488

Komunikace je založena na přenosu zpráv mezi řídicí jednotkou a měřicími přístroji (Message Based Device).

Vlastní komunikace probíhá mezi jednou vysílací jednotkou (mluvčí-talker) a jednou nebo více přijímacími jednotkami (posluchač-listener).



Obrázek 1: Typický měřicí systém (pouze pro daný okamžik)

Jedna systémová řídicí jednotka ovládá činnost systému, vysílá jednovodičové zprávy (IFC, REN), umožňuje vysílání jednovodičových příkazů (ATN, EOI), adres, vícevodičových příkazů, vysílání a přijímání přístrojových zpráv. Směr přenosu zpráv je řešen tak, že každá jednotka má přiřazeny dvě adresy – přijímací (MLA) a vysílací (MTA). Adresy se od sebe liší pouze v 6. a 7. bitu, prvních 5. bitů je shodných viz Tabulka 1.

Desítkový ekvivalent bytu	DIO7	DIO6	DIO5	DIO4	DIO3	DIO2	DIO1	Znak kódu ISO	Poznámka
0	0	0	0	0	0	0	0	NUL	Adresované příkazy
:	:	:	:	:	:	:	:	:	
15	0	0	0	1	1	1	1	SI	Univerzální příkazy
16	0	0	1	0	0	0	0	DLE	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	US
31	0	0	1	1	1	1	1	US	
32	0	1	0	0	0	0	0	SP	Adresy přijímačů
:	:	:	:	:	:	:	:	:	
62	0	1	1	1	1	1	0	:	odadresování př.
63	0	1	1	1	1	1	1	?	
64	1	0	0	0	0	0	0	:	Adresy vysílačů
:	:	:	:	:	:	:	:	:	
94	1	0	1	1	1	1	0	:	adadresování vys.
95	1	0	1	1	1	1	1	:	
96	1	1	0	0	0	0	0	:	Skupina sekundárních příkazů včetně sekund. adres
:	:	:	:	:	:	:	:	:	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	
127	1	1	1	1	1	1	1	DEL	

Tabulka 2: Druhy vícevodičových zpráv [8]

Na sběrnici jsou 2 druhy zpráv [8]:

1) *Interfaceové zprávy* (ATN – TRUE) – adresy funkčních jednotek, univerzální příkazy, sekundární příkazy, adresové příkazy.

2) *Přístrojové zprávy* (ATN – FALSE) - informační data, data, instrukce

Formát dat:

ASCII: 8bit binární

Numerické formáty: 123, -123, +1.255, atd.

Znakové formáty: R4-D2 – musí začínat písmenem

Řetězcové formáty: libovolný kód ASCII

Blokový formát: hlavička+vlastní blok

Zjišťování stavu:

Během měření se mohou stát neočekávané stavy (přetížení, překročení rozsahu, vnitřní chyby nebo nesprávný povel). Ke zjištění stavu je možné dojít dvojím způsobem – paralelním (PP) nebo sériovým (SP) hlášením.

Paralelní hlášení (aktivuje řidič) - umožňuje řídicí jednotce zjistit stav několika přístrojů připojených na sběrnici IEEE 488 současně.

Sériové hlášení (aktivuje přístroj i řidič) - umožňuje vyhledávání zařízení a získání specifických sedmibitových informací ze zařízení, která požadují obsluhu SRQ.

5. STANDARD SCPI

Je to souhrn příkazů a pravidel pro komunikaci mezi řídicí jednotkou a přístrojem v měřicím systému, nezávislý na technickém řešení ani na technickém protokolu přenosu dat.

Přehled příkazů SCPI by měl být uveden v dokumentaci k přístroji.

Příklad [8]:

Naměření SS napětí na rozsahu 10V, s rozlišením 0.003V:

`„:MEAS:VOLT:DC?10,0.003“`
 nový příkaz vrátit naměřenou hodnotu
 10...rozsah 10V
 0.003...rozlišení 0.003V

Naměření stejnosměrného napětí a čekání na trigger a čtení:

`„:MEAS:VOLT:DC?10,0.003“`
`„:TRIG:SOUR EXT`
`„:READ?`

Obecné přístrojové příkazy:

Jsou vysílané řídicí jednotkou a jsou určeny k ovládní přístrojů a identifikaci stavu. Příkaz vždy začíná hvězdičkou, má 3 znaky a pokud příkaz má odpověď, je na konci otazník.

Syntaxe: *XXX?

Kód příkazu	Význam
AUTOKONFI	
*AAD	Přidělení adresy
*DLF	Zrušení funkce posluchače
SYSTÉMOVÉ DATOVÉ PŘÍKAZY	
*IDN?	Dotaz na identifikaci přístroje
*DPT?	Dotaz na identifikaci příslušenství
VNITŘNÍ ŘÍDICÍ PŘÍKAZY	
*CAL?	Provedení kalibrace a dotaz na výsledek
*RST	Nulování přístroje

Tabulka 3: Obecné přístrojové příkazy [8]

6. LABVIEW

LabView je vývojové prostředí pro vytváření virtuálních aplikací (přístrojů), které jsou zaměřeny na měření, sběr, zpracování a prezentaci naměřených dat. Výhodou je podpora všech čtyř základních sběrů dat do počítače.

rozhraní RS232

rozhraní GPIB

zásuvné multifunkční karty

sběrnice VXI

Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk, který obsahuje všechny potřebné funkce, přičemž vše je v grafické podobě. Tento jazyk se nazývá **G** (Graphical language). Výsledný produkt vytvořen v tomto jazyce se nazývá virtuálním přístrojem (Virtual Instruments VI).

Uživatelské prostředí tvoří panel obsahující ovládací a indikační prvky. Ve Front Panel se navrhne čelní panel, který odpovídá panelu fyzického přístroje. Tento panel obsahuje prvky na ovládání aplikace (tlačítka, indikátory, atd.). Ovládání virtuálního přístroje můžeme dvěma způsoby - myší nebo klávesnicí. Tyto navržené komponenty jsou dále propojovány a upraveny v tzv. Blok Diagramu, kde se jim připojují další funkce (matematické funkce, filtry, atd.), které zpracovávají procházející data. Blokový diagram je zdrojovou podobou každé aplikace.

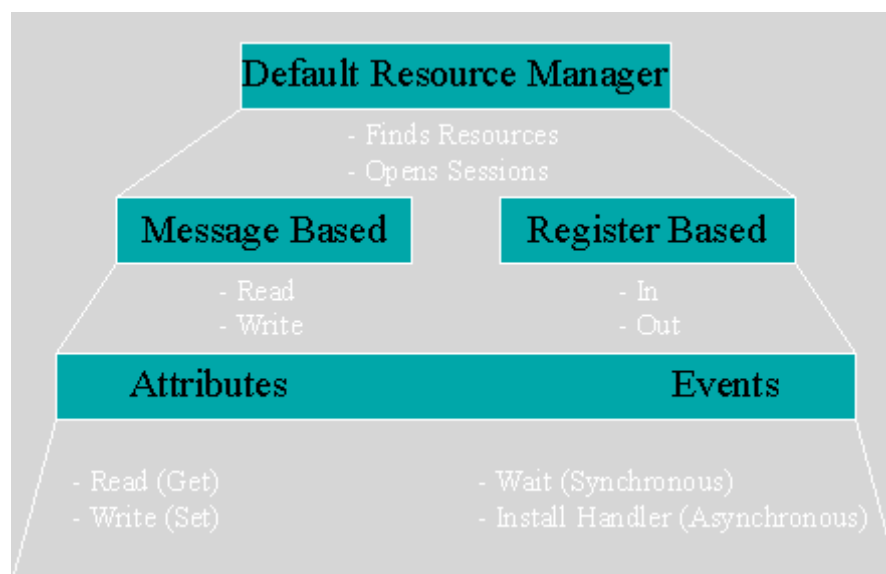
Aplikace má hierarchickou a modulární strukturu. Program lze používat jako celek nebo pouze jeho části - podprogramy (podVI, subVI). Z toho vyplývá, že vývojové prostředí můžeme řadit mezi modulární programování. Na závěr lze celou aplikaci přeložit do *.exe tvaru a provozovat nezávisle na vývojovém prostředí.

6.1 VISA

(The Virtual Instrument Software Architecture)

VISA je standard pro konfiguraci, programování a vyhledávání poruch nástrojových systémů zahrnující GPIB, VXI, PXI, SERIOVÉ, ETHERNET nebo USB rozhraní.

VISA je objektově orientovaný jazyk. Nejdůležitějšími objekty v jazyce jsou známy jako zdroje a funkce. Ty jsou spojeny s objektem a jsou nazvány jako operace. Stručný přehled vnitřní struktury VISA jazyka viz obrázek 2.



Obrázek 2: Hierarchie VISA [7]

Základem VISA hierarchie je standardní zdrojový manažer (dále DRM), který prohledává dostupné zdroje a spojení. Zdrojem může být GPIB, SERIÁL nebo VXI, založené na zprávě nebo registru (message based – register based).

Nejběžnější operace pro zprávu jsou write – read a pro registr in – out. Zdroje mají navíc různé druhy vlastností, které jsou známé jako atributy. Jednou z výhod je, že využívá mnoho operací ke komunikaci mezi přístroji, bez ohledu na typ rozhraní. Tímto se snadněji dělají změny rozhraní a také pomáhá uživateli programovat pouze v jednom jazyce. VISA je také navržena tak, aby programy vytvořené pro VISA

volaly funkční procedury, které jsou přenesené z jiných platforem. Pro zajištění VISA definuje vlastní datový typ tak, že problém jako velikost celočíselné proměnné z jiné platformy by neměl ovlivnit program vytvořený ve VISA.

Platforma	Prostředí
Macintosh	LabView, C
Windows 95/NT	C, CVI, LabView, VB

Tabulka 4: Ukázka kombinace platformy a prostředí [8]

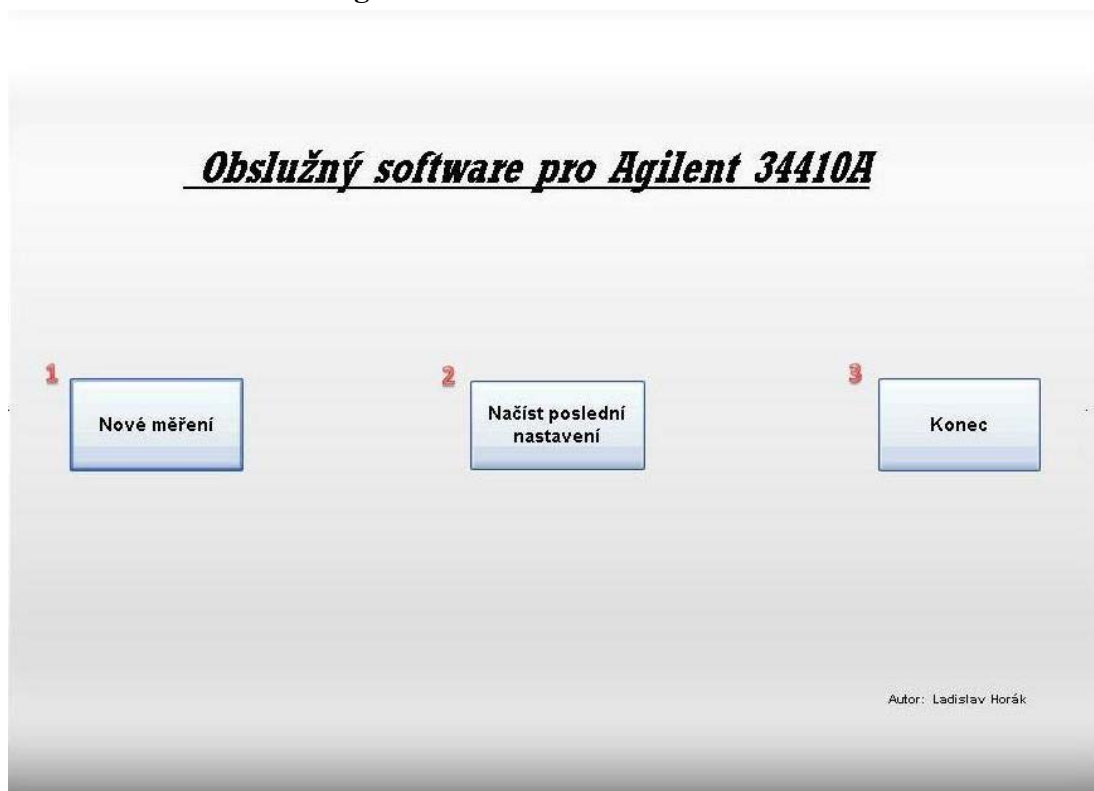
7. POPIS OBSUŽNÉHO PROGRAMU PRO 34410A

Obslužný program zvyšuje efektivitu využití multimetru 34410 A v měřících systémech. Zpracovává naměřená data a připravuje exporty do souborů, které jsou určeny k dalšímu použití.

Při spuštění programu se zobrazí dialogové okno s výběrem ze tří možností, které jsou popsány níže (Úvodní dialog). Po výběru varianty Nové měření nebo Načíst poslední nastavení se zobrazí dialogové okno s konfigurací programu. Konfigurace se skládá ze dvou záložek. Jedna je pro samotné nastavení měření a druhá pro zobrazení výsledků měření. Poslední dialogové okno se zobrazí po výběru Prohlížení měření. Detailnější rozbor funkcí bude popsán v další kapitole.

7.1 POPIS KONTROLEK PANELŮ A DIALOGOVÝCH OKEN

7.1.1 Úvodní dialog

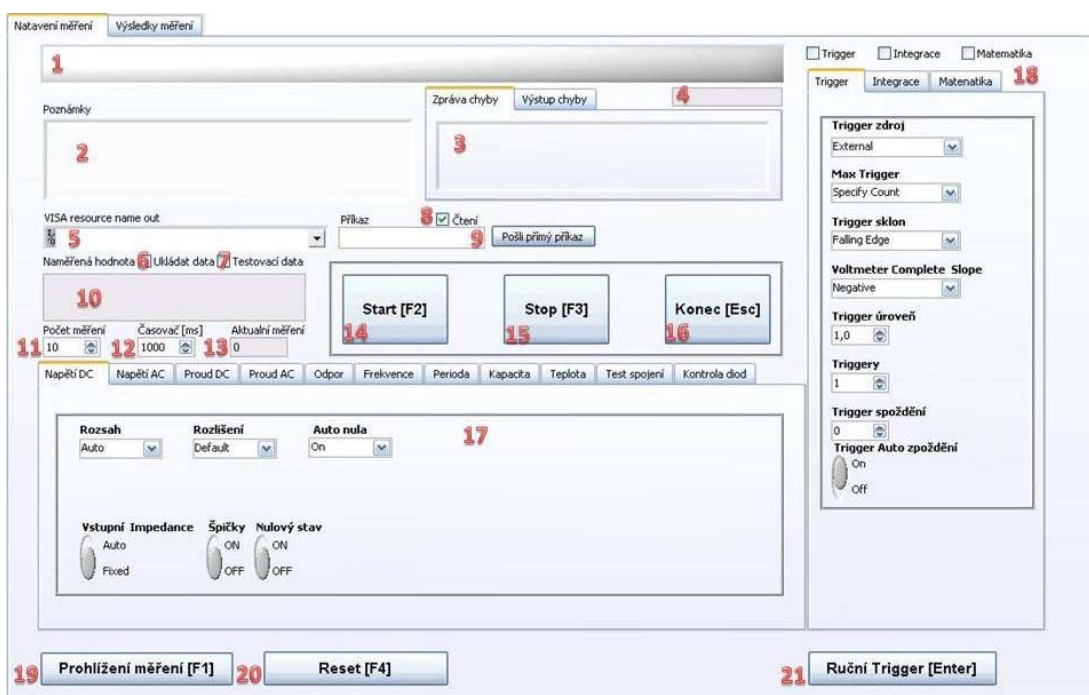


Obrázek 3: Popis úvodního dialogu

- 1) Nové měření – program bude přepnut do prostření nastavení měření se základní konfigurací.
- 2) Načtení posledního nastavení – program bude přepnut do nastavení měření, ale nastavení měření bude načteno s poslední známou konfigurací.
- 3) Konec - přímo ukončí program

7.1.2 Nastavení měření

Toto dialogové okno bylo sestaveno nejen z kontrolkek, ale je tam zařazeno velké množství indikátorů, tlačítek a přepínačů různých datových typů. Jednotlivé komponenty jsou popsány podle čísel označení na obrázku č.4.



Obrázek 4: Popis dialogu Nastavení měření

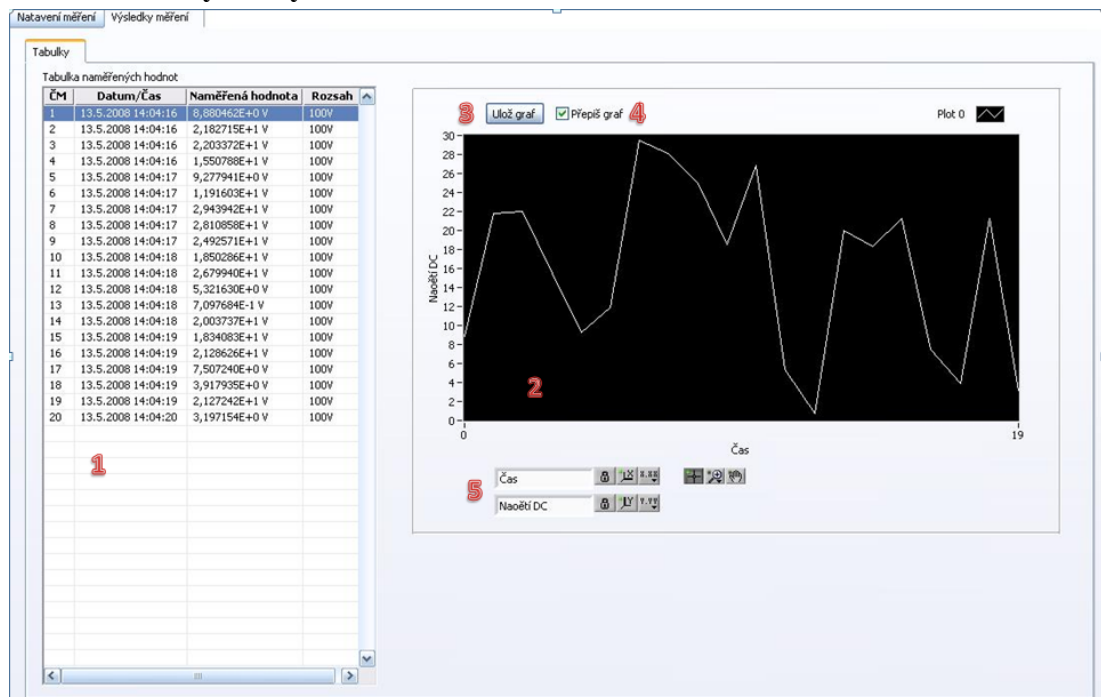
- 1) Start/Stop – pokud je indikátor aktivní (světle modrá barva) probíhá měření. Když je indikátor neaktivní (bílošedý) měření je skončeno.
- 2) Poznámky – ke každému měření je možné sem zapsat poznámku, která se uloží v souboru .txt.

- 3) Indikátor chyby – když se během měření vyskytne chyba, zobrazí se její zpráva a výstup.
- 4) Datum a čas – aktuální datum a čas měření.
- 5) Adresa rozhraní - nastavení rozhraní, na kterém je připojen přístroj (COM, USB, atd.).
- 6) Ukládat data – po zaškrtnutí bude program ukládat naměřené hodnoty .txt, konfiguraci nastavení programu .xml a poznámku měření .txt.
- 7) Testovací data – náhodné generování čísel v rozsahu 0 až 30. Softwarová simulace naměřených hodnot.
- 8) Čtení – po zaškrtnutí, program čte přímý příkaz ze sběrnice.
- 9) Pošli přímý příkaz – zaslání příkazu na sběrnici.
- 10) Naměřená hodnota – zobrazení aktuální naměřené hodnoty.
- 11) Počet měření – nastavení počtu měření.
- 12) Časovač – nastavení času mezi měřeními.
- 13) Aktuální měření – zobrazení aktuálního počtu měření.
- 14) Start – start měření.
- 15) Stop – stop měření.
- 16) Konec – konec programu.
- 17) Výběr měření – výběr možnosti měření (napětí AC, napětí DC, atd.).
- 18) Funkce – možnost nastavení rozšířeného nastavení měření (trigger, integrace, matematika)
- 19) Prohlížení měření – přepnutí do rozhraní prohlížení měření. Lze prohlížet naměřené hodnoty.

20) Reset – reset přístroje. Přímý příkaz na sběrnici *RST.

21) Ruční trigger – ruční spouštění. Přímý příkaz na sběrnici *TRG.

7.1.3 Výsledky měření

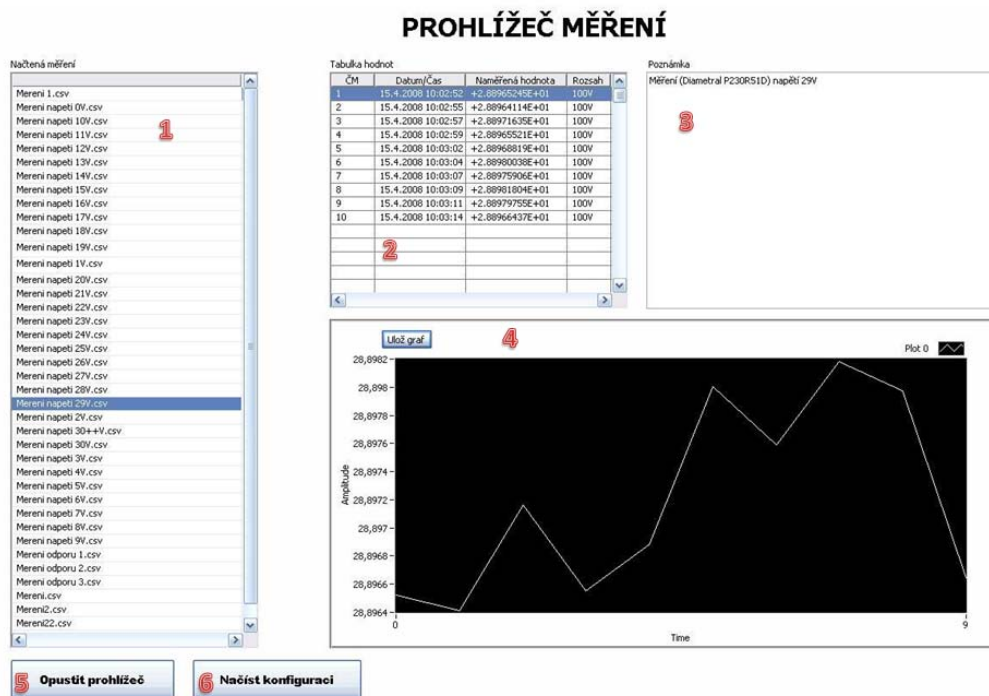


Obrázek 5: Popis dialogu Výsledky měření

- 1) Tabulka naměřených hodnot – zobrazení naměřených hodnot (čísla, data, času a rozsahu měření) v tabulce. Naměřené hodnoty jsou v exponenciálním tvaru zaokrouhleny na 3 desetinná místa.
- 2) Graf – zobrazení naměřených hodnot v závislosti na čase. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány v plném rozlišení přístroje.
- 3) Ulož graf – uložení grafu do souboru .jpg
- 4) Přepiš graf – po každé změně měření se graf vymaže.
- 5) Nástroje grafu – nástroje vytvořené k manipulaci s grafem (zoom, atd.)

7.1.4 Prohlížení měření

PROHLÍŽEČ MĚŘENÍ



Nahržená měření

- Měření 1.csv
- Měření napětí 0V.csv
- Měření napětí 10V.csv
- Měření napětí 11V.csv
- Měření napětí 12V.csv
- Měření napětí 13V.csv
- Měření napětí 14V.csv
- Měření napětí 15V.csv
- Měření napětí 16V.csv
- Měření napětí 17V.csv
- Měření napětí 18V.csv
- Měření napětí 19V.csv
- Měření napětí 1V.csv
- Měření napětí 20V.csv
- Měření napětí 21V.csv
- Měření napětí 22V.csv
- Měření napětí 23V.csv
- Měření napětí 24V.csv
- Měření napětí 25V.csv
- Měření napětí 26V.csv
- Měření napětí 27V.csv
- Měření napětí 28V.csv
- Měření napětí 29V.csv
- Měření napětí 2V.csv
- Měření napětí 30++V.csv
- Měření napětí 30V.csv
- Měření napětí 3V.csv
- Měření napětí 4V.csv
- Měření napětí 5V.csv
- Měření napětí 6V.csv
- Měření napětí 7V.csv
- Měření napětí 8V.csv
- Měření napětí 9V.csv
- Měření odporu 1.csv
- Měření odporu 2.csv
- Měření odporu 3.csv
- MěřeníI.csv
- MěřeníI2.csv
- MěřeníI22.csv

Tabulka hodnot

ČM	Datum/Čas	Naměřená hodnota	Rozsah
1	15.4.2008 10:02:52	+2.88965245E+01	100V
2	15.4.2008 10:02:55	+2.88964114E+01	100V
3	15.4.2008 10:02:57	+2.88971635E+01	100V
4	15.4.2008 10:02:59	+2.88965521E+01	100V
5	15.4.2008 10:03:02	+2.88966819E+01	100V
6	15.4.2008 10:03:04	+2.88968038E+01	100V
7	15.4.2008 10:03:07	+2.88975906E+01	100V
8	15.4.2008 10:03:09	+2.88981804E+01	100V
9	15.4.2008 10:03:11	+2.88979755E+01	100V
10	15.4.2008 10:03:14	+2.88966437E+01	100V

Poznámka
Měření (Diametrál P230R51D) napětí 29V

Amplituda

Time

Opustit prohlížeč Načíst konfiguraci

Obrázek 6: Popis dialogu Prohlížení měření

- 1) Načtená měření – zobrazí všechna měření uložená ve složce \DATA. Kliknutím se vybere měření a zobrazí se jeho detaily měření. Viz. další body.
- 2) Tabulka naměřených hodnot – zobrazí naměřené hodnoty k danému měření. Načtení souboru *názevměření.csv*
- 3) Poznámka – načtená poznámka k měření ze souboru *poznázevměření.txt*
- 4) Graf – rekonstrukce grafu z tabulky naměřených hodnot. Lze znovu uložit do souboru *.jpg.
- 5) Opustit prohlížeč – opuštění dialogového okna prohlížeč měření
- 6) Načtení konfigurace – načtení konfigurace vybraného měření a skok do dialogového okna Nastavení měření. Nastavení měření se načítá ze souboru *názevměření.xml*

8. NASTAVENÍ MĚŘENÍ

8.1 NAPĚTÍ DC

Při měření stejnosměrného napětí mohou být nastaveny následující funkce: INTEREGACE, ROZSAH, ZOBRAZENÍ, NULOVÝ STAV, AUTO NULA, ŠPIČKY, NULOVÁ HODNTA, VSTUPNÍ IMPEDANCE.

INTEGRACE - možnost nastavit dvěma způsoby, buď v počtu period napájecího napětí (NPLC) nebo v sekundách (APERTURE).

Po nastavení parametru NPLC se zadává počet period napájecího napětí, během nichž probíhá vzorkování vstupního signálu A/D převodníkem. Vyšší hodnota NPLC znamená vyšší rozlišení, ale na druhou stranu, když bude použita nižší hodnota, bude měření rychlejší. Aby byly potlačeny rušivé signály s kmitočtem napájecí sítě, musí být nastaveno NPLC na celistvý počet (1, 10, 100).

Po nastavení parametru APERTURA se zadává časový interval, měřený v sekundách, během něhož probíhá vzorkování vstupního signálu A/D převodníkem. Když bude nastaven delší interval, bude dosaženo vyššího rozlišení, naopak kratší interval znamená rychlejší měření. Pro potlačení rušivých signálů se používá režim NPLC, takže se režim APERTURA používá jenom v případě přesného nastavení doby integrace v sekundách. Funkce musí být nastavena na DC Volts.

ROZSAH - možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ZOBRAZENÍ – přístroj je schopen pro většinu měření zobrazit 6½ místný výsledek. Přípustné je překročení nastaveného rozsahu o 20 %.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se pro zvýšení přesnosti měření.

AUTO NULA – (automatické nulování). Pokud je nastavena hodnota ON, přístroj je po každém měření odpojen od vstupního signálu a provede měření nulové hodnoty. Metoda odstraňuje malé posuny napětí ve vstupních obvodech. Pokud je nastavena hodnota OFF, přístroj změří jednu nulovou hodnotu a odečítá ji od všech následujících měření. Pokud je nastaveno ONCE, přístroj změří jednu nulovou hodnotu a nastaví automatické nulování na OFF. Hodnota bude použita na všechny následující měření, dokud nebude změněna funkce nulování. Pokud je integrace nižší než 1PLC, nulová hodnota se změří na 1PLC, avšak všechna následující měření se budou provádět na nastavené integraci.

NULOVÁ HODNOTA – nastavená hodnota by se měla pohybovat mezi 0 a ± 120 % nejvyššího rozsahu aktuální funkce. Hodnota se zadává v základních jednotkách.

VSTUPNÍ IMPEDANCE – stejnosměrná vstupní impedance je pro všechny stejnosměrné rozsahy nastavena pevně na 10 M Ω , z důvodu minimalizace šumu. Tuto impedanci lze změnit na AUTO (>10 G Ω). Takové nastavení se používá při měření malých úrovní napětí na rozsahu 10 mV, 1 V a 10 V.

8.2 NAPĚTÍ AC

Při měření střídavého napětí mohou být nastaveny následující funkce:
ROZSAH, ŠÍŘKA PÁSMO, NULOVÝ STAV, NULOVÁ HODNOTA.

ROZSAH - možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky. Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ŠÍŘKA PÁSMA – umožňuje vyvážit šířku nízkofrekvenčního pásma a dobu ustálení. Multimetr poskytuje tři možnosti nastavení šířky pásma (Slow, Medium, Fast). V programu jsou volby prezentovány trochu jinak. Buď bude nastavena známá hodnota šířky pásma (3 Hz, 20 Hz, 200 Hz), nebo hodnoty (Minimum, Default, Maximum), viz tabulka 5.

Šířka pásma	Vstupní kmitočet	Doba ustálení ACV
Minimum	3 Hz až 300 kHz	2,5 s/měření
Default	20 Hz až 300 kHz	0,625 s/měření
Maximum	200 Hz až 300 kHz	0,025 s/měření

Tabulka 5: Doby ustálení ACV

NULOVÝ STAV - provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

NULOVÁ HODNOTA – nastavená hodnota by se měla pohybovat mezi 0 a ± 120 % nejvyššího rozsahu aktuální funkce. Hodnota se zadává v základních jednotkách.

8.3 PROUD DC

Při měření stejnosměrného proudu mohou být nastaveny následující funkce: INTEREGACE, ROZSAH, ZOBRAZENÍ, NULOVÝ STAV, AUTO NULA, ŠPIČKY, NULOVÁ HODNTA.

INTEGRACE - možnost nastavit dvěma způsoby, buď v počtu period napájecího napětí (NPLC) nebo v sekundách (APERTURE).

Po nastavení parametru NPLC se zadává počet period napájecího napětí během nichž probíhá vzorkování vstupního signálu A/D převodníkem. Vyšší hodnota NPLC znamená vyšší rozlišení, ale při použití nižší hodnoty bude měření rychlejší. Aby byly potlačeny rušivé signály s kmitočtem napájecí sítě musí být nastaveno NPLC na celistvý počet (1, 10, 100).

Po nastavení parametru APERTURA se zadává časový interval, měřený v sekundách, během něhož probíhá vzorkování vstupního signálu A/D převodníkem. Když bude nastaven delší interval, tak bude dosaženo vyššího rozlišení, naopak kratší interval znamená rychlejší měření. Pro potlačení rušivých signálů se používá režim NPLC, takže se režim APERTURA používá jenom v případě přesného nastavení doby integrace v sekundách. FUNKCE musí být nastavena na DC Current.

ROZSAH - možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ZOBRAZENÍ – přístroj je schopen pro většinu měření zobrazit $6\frac{1}{2}$ místný výsledek. Přípustné je překročení nastaveného rozsahu o 20 %.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

AUTO NULA – (automatické nulování). Pokud je nastavena hodnota ON, přístroj je po každém měření odpojen od vstupního signálu a provede měření nulové hodnoty. Metoda odstraňuje malé posuny napětí ve vstupních obvodech.

Pokud je nastavena hodnota OFF, tak přístroj změří jednu nulovou hodnotu a odečítá ji od všech následujících měření. Pokud je nastaveno ONCE, přístroj změří jednu nulovou hodnotu a nastaví automatické nulování na OFF. Hodnota bude použita na všechny následující měření, dokud nebude změněna funkce nulování. Pokud je integrace nižší než 1PLC, tak se nulová hodnota změří na 1PLC, avšak všechna následující měření se budou provádět na nastavené integraci.

NULOVÁ HODNOTA – nastavená hodnota by se měla pohybovat mezi 0 a ± 120 % nejvyššího rozsahu aktuální funkce. Hodnota se zadává v základních jednotkách.

8.4 PROUD AC

Při měření střídavého proud mohou být nastaveny následující funkce:
 ROZSAH, ŠÍŘKA PÁSMA, NULOVÝ STAV, NULOVÁ HODNOTA.

ROZSAH - možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah mám být přístroj nastaven.

ŠÍŘKA PÁSMA – umožňuje vyvážit šířku nízkofrekvenčního pásma a dobu ustálení. Multimetr poskytuje tři možnosti nastavení šířky pásma (Slow, Medium, Fast). V programu jsou volby prezentovány trochu jinak. Buď bude nastavena známá hodnota šířky pásma (3 Hz, 20 Hz, 200 Hz) nebo hodnoty (Minimum, Default, Maximum) viz tabulka 6.

Šířka pásma	Vstupní kmitočet	Doba ustálení ACI
Minimum	3 Hz až 300 kHz	1,66 s/měření
Default	20 Hz až 300 kHz	0,25 s/měření
Maximum	200 Hz až 300 kHz	0,025 s/měření

Tabulka 6: Doby ustálení ACI

NULOVÝ STAV - provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

NULOVÁ HODNOTA – nastavená hodnota by se měla pohybovat mezi 0 a ± 120 % nejvyššího rozsahu aktuální funkce. Hodnota se zadává v základních jednotkách.

8.5 ODPOR

Při měření odporu v zapojení 2vodičovém nebo 4vodičovém mohou být nastaveny následující funkce:

INTEGRACE, ROZSAH, ZOBRAZENÍ AUTO NULA, NULOVÁ HODNOTA, NULOVÝ STAV, KOMPENZACE OFSETU.

INTEGRACE – možnost nastavit dvěma způsoby, buď v počtu period napájecího napětí (NPLC) nebo v sekundách (APERTURE). Je nutné vybrat, jestli je to 2vodičové nebo 4vodičové zapojení: (FUNKCE) 4-Wire Resistance nebo 2-Wire Resistance.

ROZSAH - možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky. Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ZOBRAZENÍ – přístroj je schopen pro většinu měření zobrazit $6\frac{1}{2}$ místný výsledek. Přípustné je překročení nastaveného rozsahu o 20 %.

AUTO NULA – umožňuje nastavit funkci automatického nulování pro všechny měřené hodnoty (ON), pro jednu měřenou hodnotu (ONCE) nebo funkci vypnout (OFF). Tato funkce odečítá od každé naměřené hodnoty hodnotu získanou nulováním. Při 4vodičovém zapojení se funkce provádí automaticky.

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

KOMPENZACE OFSETU – pokud je funkce zapnutá (ON), provede multimetr nejprve normální měření odporu, po kterém následuje druhé měření. Tato měření se porovnají a určí se, jestli nedošlo v měřeném obvodu k posuvu napětí. Hodnota, která je zobrazena, obsahuje kompenzaci ofsetu. Nevýhodou je, že kompenzace prodlužuje měření.

8.6 FREKVENCE

Při měření frekvence mohou být nastaveny následující funkce:

ROZSAH, ŠÍŘKA PÁSMA, APERTURA, NULOVÁ HODNOTA, NULOVÝ STAV.

ROZSAH – možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ŠÍŘKA PÁSMA – umožňuje vyvážit šířku nízkofrekvenčního pásma a dobu ustálení. Multimetr poskytuje tři možnosti nastavení šířky pásma. Buď bude nastavena známá hodnota šířky pásma (3 Hz, 20 Hz, 200 Hz) nebo hodnoty (Minimum = 3 Hz, Maximum = 200 Hz).

APERTURA – umožňuje nastavit čtyři možnosti doby otevření hradla. Doba otevření hradla ovlivňuje rozlišení (viz tabulka 7).

Doba otevření hradla	Rozlišení
1 ms	100 ppm × Rozsah
10 ms	10 ppm × Rozsah
100 ms	1 ppm × Rozsah
1 s	0,1 ppm × Rozsah

Tabulka 7: Vliv doby otevření hradla na rozlišení

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

8.7 PERIODA

Při měření periody mohou být nastaveny následující funkce:

ROZSAH, ŠÍŘKA PÁSMA, APERTURA, NULOVÁ HODNOTA, NULOVÝ STAV.

ROZSAH – možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

ŠÍŘKA PÁSMA – umožňuje vyvážit šířku nízkofrekvenčního pásma a dobu ustálení. Multimetr poskytuje tři možnosti nastavení šířky pásma. Buď bude nastavena známá hodnota šířky pásma (3 Hz, 20 Hz, 200 Hz) nebo hodnoty (Minimum = 3 Hz, Maximum = 200 Hz).

APERTURA – umožňuje nastavit čtyři možnosti doby otevření hradla. Doba otevření hradla ovlivňuje rozlišení (viz tabulka 7).

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

8.8 KAPACITA

Při měření kapacity mohou být nastaveny následující funkce:

ROZSAH, NULOVÁ HODNOTA, NULOVÝ STAV.

ROZSAH – možnost nastavit rozsah manuálně nebo automaticky.

Automatický rozsah je praktický, protože se sám nastaví na potřebnou hodnotu. Manuální nastavení přináší lepší výkonnost při měření, protože není nutné před každým měřením zjišťovat, na jaký rozsah má být přístroj nastaven.

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

8.9 TEPLOTA

Při měření teploty mohou být nastaveny následující funkce:

INTEGRACE, TYP SNÍMÁNÍ, SNÍMACÍ JEDNOTKA, ODPOR SNÍMAČE, AUTO NULA, NULOVÁ HODNOTA, NULOVÝ STAV, KOMPENZACE OFSETU.

INTEGRACE – možnost nastavit dvěma způsoby, buď v počtu period napájecího napětí (NPLC) nebo v sekundách (APERTURE). Musí být nastavena (FUNKCE) Temperature.

TYP SNÍMÁNÍ – umožňuje nastavit typ snímání na 4-Wire RTD, RTD, 4-Wire Thermistor nebo Thermistor. „4“ označuje 4vodičové měření.

SNÍMACÍ JEDNOTKA – umožňuje nastavit jednotky stupnice teploty na Celsius, Fahrenheit, Kelvin.

ODPOR SNÍMAČE – umožňuje ručně nastavit hodnotu odporu snímače. Nastavená hodnota je v Ω . Lze nastavit v rozsahu 49 Ω až 2100 Ω .

AUTO NULA – umožňuje nastavit funkci automatické nulování pro všechny měřené hodnoty (ON), pro jednu měřenou hodnotu (ONCE) nebo funkci vypnout (OFF). Tato funkce odečítá od každé naměřené hodnoty hodnotu získanou nulováním. Při 4vodičovém zapojení se funkce provádí automaticky.

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

NULOVÝ STAV – provádí-li se nulový stav (relativní měření), je každý zobrazený údaj rozdílem mezi uloženou hodnotou a vstupní hodnotou. Používá se ke zvýšení přesnosti měření.

KOMPENZACE OFSETU – (lze nastavit pouze pro snímače RDT). Pokud je funkce zapnutá (ON), provede multimetr nejprve normální měření odporu, po kterém následuje druhé měření. Tato měření se porovnají a určí se, jestli nedošlo v měřeném obvodu k posuvu napětí. Hodnota, která je zobrazena, obsahuje kompenzaci ofsetu. Nevýhodou je, že kompenzace prodlužuje měření.

8.10 TEST SPOJENÍ

Pro tuto zkoušku je pevně nastavený rozsah a rozlišení.

- Rozsah je 1 K Ω (2vodičové měření odporu)
- V případě, že naměřená hodnota je menší nebo rovna prahové hodnotě pro zkoušku spojení (10 Ω), se ozve akustický signál (pokud je zapnut) a na displeji se objeví skutečná naměřená hodnota.
- Pokud je naměřená hodnota v rozsahu 10 Ω až 1,2 k Ω , zobrazí přístroj skutečnou naměřenou hodnotu bez akustického signálu. Pokud naměřená hodnota překročí hodnotu 1,2 k Ω , zobrazí se na displeji "OPEN" (rozpojeno), aniž by se ozval akustický signál.

8.11 KONTROLA DIOD

Pro tuto zkoušku je pevně nastavený rozsah a rozlišení.

- Rozsah je 1 Vss s výstupním proudem 1 mA.
- Pokud je naměřená hodnota v rozsahu 0 V až 1,2 V, zobrazí se na displeji. Akustický signál se ozve v případě, že je naměřená hodnota v rozsahu 0,3 V až 0,8 V (pokud není vypnut). Pokud je naměřená hodnota vyšší než 1,2 V, zobrazí se na displeji "OPEN" (rozpojeno).

9. DALŠÍ NASTAVENÍ

V této kapitole budou popsány další možnosti nastavení přístroje, které mohou zvýšit přesnost měření.

9.1 TRIGGER

Přístroj umožňuje generovat spouštěcí signál, díky kterému je možné získat více měřených hodnot při jednom spuštění nebo před každé měření vložit zpoždění. Generování je možno spouštět automaticky nebo manuálně.

Při použití triggeru mohou být nastaveny následující funkce:

ZDROJ SPOUŠTĚNÍ, HRANA EXT., HRANA VM., AUTO ZPOŽDĚNÍ,
ZPOŽDĚNÍ

ZDROJ SPOUŠTĚNÍ – nastavení zdroje, který bude přístroj považovat za spouštěcí. Ve výchozím nastavení je přístroj nastaven na automatické spuštění ovládané z předního panelu.

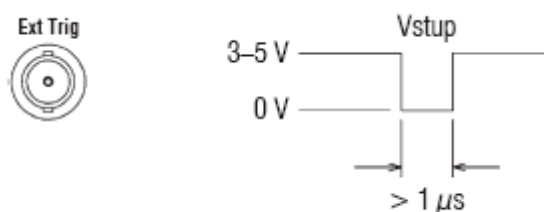
Následující zdroje spuštění jsou dostupné pouze v režimu dálkového ovládání. Je možnost vybrat ze tří možností: IMMEDIATE, EXTERNAL, BUS.

IMMEDIATE v režimu okamžitého spuštění je neustále aktivní spouštěcí signál. Pokud je nastaven přístroj na stav čekání, spuštění se provede okamžitě. Výchozí stav v dálkovém ovládání.

EXTERNAL spuštění provede jedno nebo zadaný počet měření vždy, když se na konektoru Ext Trig objeví spouštěcí impuls. Je možno nastavit na jakou hranu bude přístroj reagovat (nastavení HRANA EXT.).

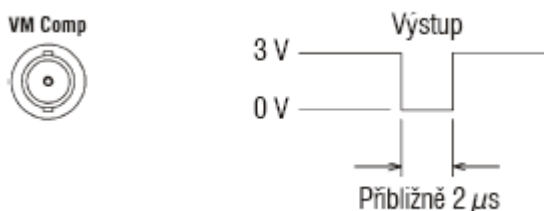
BUS spuštění využívá sběrnice. Spouštěcí obvod reaguje na přijatý příkaz (*TRG) ze sběrnice.

HRANA EXT. – nastavení konektoru Ext Trig. Při nastavení POS reakce na vzestupnou hranu a při nastavení NEG reakce na hranu sestupnou.



Obrázek 7: Časování záporného impulsu na konektoru Ext Trig [4]

HRANA VM. – nastavení hrany na výstupu konektoru VM Comp, který generuje po každém provedeném měření impuls. Tento impuls v doplnění spouštěcího impulsu vytvářejí standardní hardwarovou synchronizaci (handshake) mezi měřicím a spouštěcím zařízením. Hranu signálu můžeme nastavit na POS vzestupnou hranu nebo NEG na hranu sestupnou.



Obrázek 8: Časování záporného impulsu na konektoru VM Comp [4]

AUTO ZPOŽDĚNÍ – (ON) automatické zpoždění zaručuje, že budou získány ustálené a přesné naměřené hodnoty. Zpoždění závisí na nastavení měření, rozsahu, integraci a šířce pásma.

ZPOŽDĚNÍ – (musí být AUTO ZPOŽDĚNÍ na OFF). Nastavení zpoždění mezi spouštěcím signálem a prvním následujícím vzorkem. Funkce se používá při

nutnosti před měřením prvního vzorku vyčkat na ustálení vstupního signálu nebo umožňuje časování série měření. Zpoždění lze nastavit v rozsahu 0 až 3600 s.

RUČNÍ TRIGGER – stisknutím tlačítka se na sběrnici pošle příkaz *TRG.

9.2 MATEMATIKA

Multimetr poskytuje tyto matematické funkce: měření dB, měření dBm, statické výpočty a testování překročení mezí LIMITS. V daném okamžiku lze zvolit pouze jednu matematickou funkci (k nulovému měření), která zůstává aktivní, dokud není vypnuta nebo změněna.

Při použití triggeru mohou být nastaveny následující funkce:

ZAPNOUT, FUNKCE, FUNCTION, REFERENČNÍ HODNOTA, RELATIVNÍ HODNOTA, LIMIT, VYBRAT HODNOTU, HODNOTA, NULOVÁ HODNOTA

ZAPNOUT – nastavením ON jsou matematické funkce zapnuty, nastavením OFF jsou vypnuty.

FUNKCE – vybrání druhu matematické funkce. Nastavením (dB) se hodnota určuje jako rozdíl mezi vstupním signálem a uloženou hodnotou, když jsou obě hodnoty převedeny na dBm. Funkce dBm je logaritmická a je založena na výpočtu výkonu dodaného do referenční zátěže vzhledem k referenční hodnotě 1 mW. Zvolením AVERAGE je možno zobrazit statické údaje: střední nebo průměrnou hodnotu, maximální hodnotu, minimální hodnotu, standardní odchylku a počet údajů v souboru. LIMITS je funkce která testuje překročení mezí (vyhovuje, nevyhovuje) vzhledem k horní nebo dolní mezní hodnotě, kterou lze vybrat (VYBRAT HODNOTU). Poslední funkcí je (NULL, nulový stav), který lze nastavit na přesnou hodnotu v nastavení NULOVÁ HODNOTA.

FUNCTION – pokročilé nastavení pro volby (dB a dBm). Zvolením (dB) je možné nastavit RELATIVNÍ HODNOTU, zvolením (dBm) je možné nastavit REFERENČNÍ HODNOTU. Lze použít pouze pro měření stejnosměrného a střídavého napětí.

REFERENČNÍ HODNOTA – toto nastavení má definované hodnoty, které jsou v rozsahu $50 \div 8000 \Omega$. Základní nastavená hodnota je 600Ω .

RELATIVNÍ HODNOTA – hodnota, která může nabývat libovolné úrovně v rozsahu 0 dBm a $\pm 200,0$ dBm. Výchozí hodnota je nastavena na 0.

LIMIT – funkci je možno použít pro všechna měření, s výjimkou testu propojení a kontroly diod. Typ omezení se nastavuje ve VYBRAT HODNOTU.

VYBRAT HODNOTU – možnost výběru typu omezení. Když je nastavena funkce SELECT, tak je možné nastavit v HODNOTA přesné číslo omezení. Další možností je omezení minimální (NIM) a maximální (MAX).

HODNOTA – horní a dolní mezní hodnotu je možno nastavit v rozsahu 0 až ± 120 % nejvyššího rozsahu jednotlivých měřicích funkcí. Horní hodnota musí být vyšší než dolní hodnota.

NULOVÁ HODNOTA – umožňuje změnit hodnotu získanou při nulování, musí být povolen NULOVÝ STAV.

10. VALIDAČNÍ MĚŘENÍ

Validační měření bylo provedeno na laboratorním zdroji Diametral P230R51D $2 \times 0 \div 30\text{V}/4\text{A}$. Zdroj byl proměřen v celém rozsahu s krokem 1V. Každý krok byl změřen $10 \times$ za sebou.

U každého kroku byla vypočítána nejistoty typu A, B a celková kombinovaná nejistota. Všechny hodnoty jsou zapsány do tabulek a grafů.

Pro názornou ukázkou si zde ukážeme jeden krok měření s hodnotou 1V a výsledky všech nejistot.

10.1 MĚŘENÍ ZDROJE NA 1V

Přístroj byl nastaven na rozsah 10V.

Číslo měření	Datum/ Čas měření	Naměřená hodnota [V]	\hat{S}
1	15.4.2008 9:38	9,34430366E-01	4,44723E-06
2	15.4.2008 9:38	9,33615503E-01	1,67439E-06
3	15.4.2008 9:38	9,33382730E-01	1,12617E-06
4	15.4.2008 9:38	9,32419514E-01	9,6028E-09
5	15.4.2008 9:38	9,32146827E-01	3,05177E-08
6	15.4.2008 9:38	9,32000185E-01	1,03256E-07
7	15.4.2008 9:38	9,31702980E-01	3,82592E-07
8	15.4.2008 9:38	9,31379900E-01	8,86648E-07
9	15.4.2008 9:38	9,31163197E-01	1,34171E-06
10	15.4.2008 9:38	9,30973999E-01	1,81581E-06

Tabulka 8: Tabulka naměřených hodnot pro 1V

Rovnice 4: Výpočet nejistoty typu A

$$u_A(x) = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Pro zjednodušení byla vytvořena substituce $\hat{S} = (x_i - \bar{x})^2$ representován v tabulce jako \hat{S} .

Výpočet nejistoty typu A podle rovnice 4.

Rovnice 5: Nejistota typu A

$$u_A = \left[\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^n \widehat{S} \right]^{\frac{1}{2}} = \underline{\underline{3,62367704E-04V}} \quad (5)$$

Výpočet horní (+) a dolní (-) meze nejistoty aritmetického průměru naměřených hodnot.

Rovnice 6: Nejistota +, horní hranice nejistoty

$$Nejistota+ = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right) + u_A = \underline{\underline{9,32683888E-01V}} \quad (6)$$

Rovnice 7: Nejistota -, dolní hranice nejistoty

$$Nejistota- = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right) - u_A = \underline{\underline{9,31959152-01V}} \quad (7)$$

Pro výpočet nejistoty typu B byla zvolena nejistota měření voltmetru, která se získala z manuálu multimetru 34410 A $\pm(0,0020\%$ údaj + $0,0005\%$ rozsah).

Rovnice 8: Nejistota měření voltmetru

$$a = (0,0020 * 10^{-2} * 5 + 0,0005 * 10^{-2} * 10)V = \underline{\underline{0,00015V = 150\mu V}} \quad (8)$$

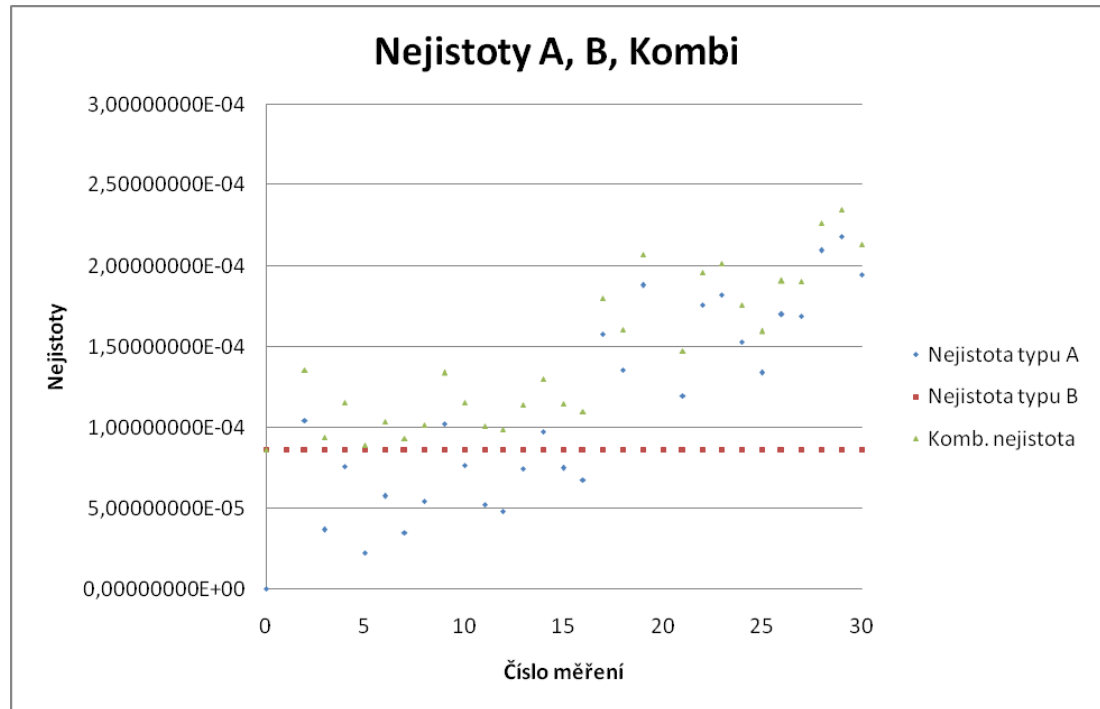
Rovnice 9: Standardní nejistota (rovnoměrné rozložení)

$$u_R = \frac{a}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{0,0000866025V = 86,6025\mu V}} \quad (9)$$

Rovnice 10: Kombinovaná nejistota

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_R^2} = \underline{\underline{0,000372572605V = 372,572605\mu V}} \quad (10)$$

Pro představu nejistot všech 30 měření je zobrazen graf, obrázek 9.



Obrázek 9: Graf nejistoty A, B, Kombi. všech měření

Rozsah	Nejistota typu A	Kombi.nejistota	Nejistota typu B
0	3,18326053E-07	8,66030850E-05	8,66025000E-05
1	3,62367704E-04	3,72572605E-04	8,66025000E-05
2	1,04660626E-04	1,35844910E-04	8,66025000E-05
3	3,65735012E-05	9,40085847E-05	8,66025000E-05
4	7,62406713E-05	1,15380384E-04	8,66025000E-05
5	2,26641467E-05	8,95190290E-05	8,66025000E-05
6	5,72887992E-05	1,03836407E-04	8,66025000E-05
7	3,47116801E-05	9,33000200E-05	8,66025000E-05
8	5,40581867E-05	1,02089571E-04	8,66025000E-05
9	1,02253053E-04	1,33998805E-04	8,66025000E-05
10	7,68918567E-05	1,15811703E-04	8,66025000E-05
11	5,18404844E-05	1,00932794E-04	8,66025000E-05
12	4,81263154E-05	9,90764111E-05	8,66025000E-05
13	7,49957896E-05	1,14561606E-04	8,66025000E-05
14	9,74915372E-05	1,30401660E-04	8,66025000E-05
15	7,52893093E-05	1,14753968E-04	8,66025000E-05
16	6,81109883E-05	1,10177583E-04	8,66025000E-05
17	1,57820516E-04	1,80020299E-04	8,66025000E-05
18	1,35563323E-04	1,60864563E-04	8,66025000E-05
19	1,87896854E-04	2,06894226E-04	8,66025000E-05
20	4,72210031E-04	4,80085728E-04	8,66025000E-05
21	1,19574108E-04	1,47641323E-04	8,66025000E-05
22	1,75943709E-04	1,96102478E-04	8,66025000E-05
23	1,81754921E-04	2,01332670E-04	8,66025000E-05
24	1,53177937E-04	1,75964409E-04	8,66025000E-05
25	1,33963332E-04	1,59518548E-04	8,66025000E-05
26	1,69873232E-04	1,90674875E-04	8,66025000E-05
27	1,69139208E-04	1,90021221E-04	8,66025000E-05
28	2,09245048E-04	2,26458568E-04	8,66025000E-05
29	2,17834655E-04	2,34418279E-04	8,66025000E-05
30	1,94690434E-04	2,13082984E-04	8,66025000E-05

Tabulka 9: Tabulka všech vypočítaných nejistot

Tabulky všech naměřených kroků s hodnotami jsou přiloženy na CD. Obsahem CD je i další validační měření odporu, které obsahuje všechny vypočtené nejistoty, tabulky a grafy.

11. ZÁVĚR

Cíle stanovené v pokynech pro vypracování bakalářské práce byly naplněny. Byl popsán princip funkce multimetru Agilant 34410A a byl vytvořen obslužný software pro práci s tímto přístrojem, včetně uživatelského manuálu.

Pro zajištění komunikace mezi řídicí jednotkou a měřicím přístrojem bylo v praxi místo GPIB použito rozhraní USB, které umožňuje vyšší rychlost přenosu dat i celého měřicího systému. Komunikace v měřicím systému byla řešena pomocí standardu SCPI, což je souhrn příkazů (Command Quick reference), které jsou posílány na sběrnici.

Obslužný software byl vytvořen ve vývojovém prostředí LabView 7.1 firmy National Instruments, založeném na hierarchické a modulární struktuře.

Obslužný program je řízen tokem dat. Z toho vyplývá, že každý blok, který žádá o obsluhu, má na svém vstupu přivedena platná data.

Nastavení obslužného programu umožňuje ukládat naměřená data do tří souborů, s kterými lze dále pracovat. V jednom souboru jsou uložena vlastní naměřená data *.csv (možnost editace v MS Excel), ve druhém je uložena poznámka k měření *.txt a ve třetím je uložena konfigurace měření *.xml.

Funkce přístroje a obslužného programu byla ověřena validačním měřením zdroje DIAMETRAL P230R51D $2 \times 0 \div 30V/4A$.

Díky vytvořenému obslužnému programu je možné pracovat s naměřenými daty – ukládat je nebo dále zpracovávat dle vlastních požadavků editací v Excelu. Další výhodou softwaru je možnost jednoduše ukládat a znovu načítat nastavení přístroje.

12. LITERATURA

- [1] ČEJKA, M.: Elektronické měřicí systémy. VUT Brno, 2002
- [2] ŽÍDEK, J.: Grafické programování ve vývojovém prostředí LabView. VŠB Ostrava, 2002
- [3] ŠTĚTINA, J., JAROŠ, M., RAMÍK, P.: Virtuální laboratoř – Experimentální metody. VUT Brno, 2003
- [4] AGILENT TECHNOLOGIES.: User's Guide. 34410-90001, 2007
- [5] AGILENT TECHNOLOGIES.: Command Reference. 04156-90055, 2004
- [6] ELECTRONICS GROUP.: Gpib programming tutorial. University Amsterdam, 2000. Dostupné na URL <<http://www.few.vu.nl/~elec>>
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS.: LabView VISA Tutoriál. Dostupné z URL <<http://www.ni.com/support/visa/vintro.pdf>>
- [8] Programování GPIB. Dostupné z URL <http://www.rss.tul.cz/download/cms/04_%20gpib_%20sw.pdf>.