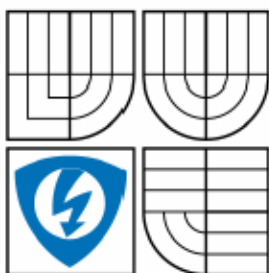


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ SENZORŮ

SYSTEM FOR MEASURING PROPERTIES OF ELECTRONIC TRANSFORMERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ NĚMEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV KLUSÁČEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Ondřej Němec
Ročník: 2

ID: 83405
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

System pro ověření vlastností senzorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem funkce elektronických měřicích transformátorů napětí a proudu. Vypracujte návrh měřicího systému pro stanovení přesnosti elektronických měřicích transformátorů při klimatické zkoušce a prakticky ho zrealizujte. Ovládání měřicího systému a vyhodnocení měření realizujte pomocí měřicí ústředny Agilent 34970A, vhodného měřiče fáze a s využitím programového prostředí LabVIEW 8.2. Diskutujte chyby měření. Dbejte pokynů vedoucího a konzultantů práce. Práce bude realizována ve spolupráci s měřicí laboratoří ABB PPMV s.r.o. v Brně.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Klusáček

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTRONIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

System pro ověření vlastností senzorů

Práce

Specializace studia: Automatizace a měření
Student: Bc. Ondřej Němec
Vedoucí práce: Ing. Stanislav Klusáček

Abstrakt :

Tato práce se zabývá rozbořem typů elektronických transformátorů proudu a napětí, zvolením vhodné metodiky a vývojem měřicího softwaru pro zkoušku přesnosti při teplotních cyklech. Měřicí software je realizován v programovém prostředí LabVIEW verze 8.2.

První část je určena pro seznámení se s tématem.

Ve druhé části jsou uvedeny druhy senzorů, popis jejich funkce a jejich vlastnosti.

Třetí část je zaměřena na seznámení se s programovým prostředím LabVIEW.

Čtvrtá část se zabývá zapojením napájecí a měřicí části obvodu.

V páté části jsou uvedeny použité přístroje a přípravky

V šesté části je popsána metodika měření.

Sedmá část popisuje funkce programu a jeho ovládání.

V osmé části jsou stanoveny nejistoty měření.

V poslední deváté části jsou uvedeny příklady použití programu.

Klíčová slova:

Elektronický transformátor, senzor, teplotní cyklus, LabVIEW

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL, MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION

System for measuring properties of electronic transformers

Thesis

Specialisation of study: Automation and Measurements

Student: Bc. Ondřej Němec

Supervisor: Ing. Stanislav Klusáček

Abstract :

The purpose of this thesis was to study the properties of electronic current and voltage transformers, choose the method for temperature cycle accuracy test and the development of the measuring software. Measuring software was realized in LabVIEW version 8.2.

The first part describe the topic of this thesis.

The second part describes various kinds of sensors and description of functions and specifications.

The third part describe programming system LabVIEW.

The fourth describe design of connection supply and measurement part of circuit.

The fifth part describes used instruments.

The sixth part is about used methods measuring.

In the seven part is the description of the functions of this program and its control.

In eight part is evaluated measurement uncertainty.

In the last part are shown examples of the application program.

Keywords:

Electronic transformers, sensor, temperature cycle, LabVIEW, calibration

NĚMEC, O. *Systém pro ověření vlastností senzorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 77 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Klusáček.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Systém pro ověření vlastností senzorů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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: **25. května 2009**

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Klusáčkovi za odbornou pomoc, cenné rady, návrhy a připomínky při realizaci této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimilu Křápkovi a Ing. Zdeňku Otríasalovi z technické laboratoře ABB s.r.o. PPMV Brno za jejich odborné rady a dobrou spolupráci.

V Brně dne: **25. května 2009**

.....

podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	9
1.1 Cíl práce	9
1.2 Rozbor.....	9
2. MĚŘENÉ SENZORY	10
2.1 Proudové	10
2.1.1 Rogowského cívka.....	10
2.1.2 Rozdíly mezi senzory proudu a přístrojovými transformátory.....	11
2.2 Napěťové.....	13
2.2.1 Napěťové senzory na principu odporového děliče	14
2.2.2 Napěťové senzory na principu kapacitního děliče.....	14
2.3 Kombinované	16
3. PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW.....	17
3.1 LabVIEW	17
3.2 Využití.....	17
3.3 Přednosti	17
3.4 Virtuální přístroj.....	17
3.5 Grafické rozhraní	18
3.6 Datové typy	18
3.7 Práce s měřicí ústřednou a čítačem	19
4. ZAPOJENÍ.....	20
4.1 Zapojení napájecí části.....	20
4.1.1 Proudová měření	20
4.1.2 Napěťová měření	21
4.2 Zapojení měřicí části.....	22
5. POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A PŘÍPRAVKY	24
5.1 Převodník USB – GPIB	24
5.1.1 Propojovací GPIB kabel	24
5.2 Měřicí ústředna Agilent 34970A.....	25
5.2.1 Zásuvný modul 34901A	25

5.3	Čítač Pendulum CNT-90.....	26
5.4	Termočlánky	27
5.5	Konektorový box	27
5.5.1	Propojovací vodiče	28
6.	METODIKA MĚŘENÍ.....	31
6.1	Teplotní cyklus.....	31
6.2	Nastavení proudu / napětí	32
7.	PROGRAM.....	33
7.1	Blokový diagram.....	33
7.1.1	Blok měření	34
7.1.2	Blok načítání, ukládání, filtrace a protokol	40
7.1.3	Blok uživatelské rozhraní, ovládání programu	47
8.	STANOVENÍ NEJISTOT MĚŘENÍ.....	56
8.1	Chyby měřicích přístrojů	56
8.1.1	Příklad výpočtu chyby přístroje.....	56
8.2	Nejistoty měření.....	57
8.2.1	Teorie nejistot měření	57
8.2.2	Vypočtené nejistoty měření	60
9.	PROVEDENÁ MĚŘENÍ.....	65
9.1	Stanovení napěťové a fázové chyby při teplotních cyklech	65
9.2	Průběh teploty při vytvrzování epoxidu.....	68
10.	ZÁVĚR	71
11.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
12.	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
13.	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	76
14.	PŘÍLOHA.....	77

1. ÚVOD

Tato práce se zabývá zvolením vhodné metodiky měření a vývojem měřicího softwaru pro zkoušku přesnosti při teplotních cyklech napět'ových nebo proudových elektronických transformátorů, dále jen senzorů.

Měřicí software byl realizován v měřicí laboratoři ABB PPMV Brno s.r.o., tato laboratoř je také zadavatelem práce.

Senzory, hlavně díky jejich malé velikosti, spolehlivosti a přesnosti jsou v dnešní době stále více nasazovány ve vysokonapět'ových sítích pro převod velmi vysokého proudu a napětí na úroveň vhodnou pro ochranu a měření. Vytlačují tak konvenční přístrojové transformátory.

1.1 CÍL PRÁCE

Seznámit se s principem použitých vývojových senzorů napětí a proudu. Navrhnout a realizovat měřicí automatizovaný systém pomocí měřicí ústředny Agilent 34970A a měřiče fáze Pendulum CN-T90, řízený z programového prostředí LabVIEW verze 8.2.1.

1.2 ROZBOR

Zkouška teplotními cykly bude provedena v klimatické komoře Wötsch, ve které budou umístěny měřené senzory. Hodnoty napětí senzorů z klimatické komory budou porovnávány se senzorem referenčním, který je umístěn mimo komoru. Pro sestavení měřicího okruhu bude použita měřicí ústředna Agilent 34970A, měřič fáze napětí Pendulum CNT-90, zdroj proudu nebo napětí a PC s měřicím programem v LabVIEW, kterým bude měření řízeno a zpracováno.

2. MĚŘENÉ SENZORY

Jedná se o nové řešení pro měření proudů, nebo napětí pro jištění a monitorování v energetických systémech.

Senzory spočívající na alternativních principech byly zavedeny jako následovníci klasických induktivních přístrojových transformátorů pro dosažení snížení velikosti, zlepšení provozních vlastností a z důvodu lepší standardizace. Tyto principy jsou známé již dlouhou dobu, ale až nyní, se zavedením univerzálních elektronických relé, je možné využít výhodných vlastností senzorů založených na těchto principech cit. z [4].

V této práci, z důvodu ochrany dat, nemohou být přímo uvedeny vývojové typy, pro které tato aplikace vzniká. Proto zde jsou uvedeny senzory podobné, které jsou již na trhu. Principiálně jsou ale vyvíjené senzory shodné se zde uvedenými.

2.1 PROUDOVÉ

Proudové senzory jsou založeny na principu Rogowského cívky. Jde o cívku ve tvaru toroidu bez železného jádra, která je umístěna stejným způsobem jako je sekundární vinutí v proudovém transformátoru. Výstupem z Rogowského cívky však není proud, ale střídavé napětí. Vztah pro výpočet tohoto napětí je následující:

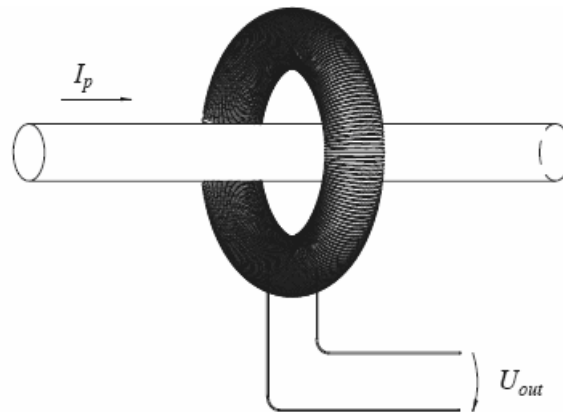
$$u_{out} = M \frac{di_p}{dt} \quad [V] \quad (2.1)$$

Výstupní napětí těchto senzorů se pohybuje v rozmezí 7,5 – 3000 mV. Ztráty na sekundáru oproti proudovým transformátorům jsou zanedbatelně malé. Díky nízkému výstupnímu napětí se také zvýší bezpečnost systému – oproti proudovým transformátorům, které mají na sekundárním vinutí proud 0,25 – 100A.

2.1.1 Rogowského cívka

Rogowského cívky mají větší stabilitu a přesnost než klasické cívky. Jsou mimořádně odolné vůči rušení způsobeným vnějšími magnetickými poli. Cívky jsou navinuty na tvárný prut z křemičité gummy. Velká pozornost je věnována výrobě

rovnoměrně stejných vinutí, které zajistí vysoký stupeň odolnosti oproti rušení ze sousedních vodičů.



Obrázek 1 Rogowského cívka [4]



Obrázek 2 Různé druhy provedení proudových senzorů fy. ABB s.r.o. [4]

2.1.2 Rozdíly mezi senzory proudu a přístrojovými transformátory

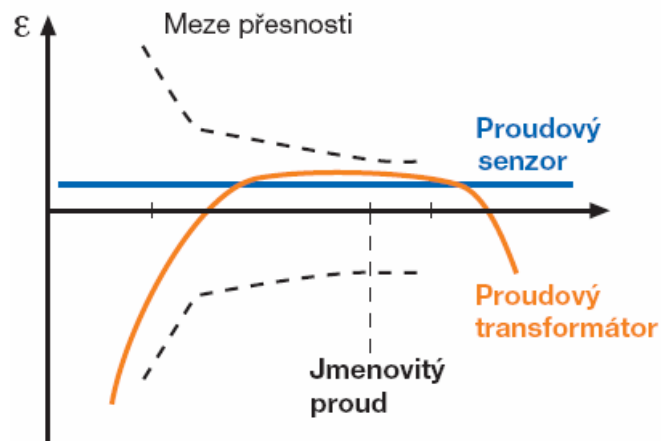
Hlavní výhody proudových (napět'ových i kombinovaných) senzorů oproti proudovým (napět'ovým) transformátorům jsou: vysoká linearita, nesaturovatelnost, malé rozměry, nízká hmotnost a jednodušší inženýring a logistika.

2.1.2.1 Velikost

Díky tomu, že jsou snímací prvky relativně malé a dají se použít pro měřicí i jistící účely, mohou být proudové senzory mnohem menší než konvenční proudové transformátory. Z toho plyne další výhoda, že tyto senzory lze zakomponovat i do jiných zařízení, čímž celé seskupení bude více kompaktní.

2.1.2.2 Linearita

Jelikož senzory nemají feromagnetické jádro, tak nedochází k nasycení magnetického obvodu a tím pádem jsou lineární do nejvyšších hodnot proudů.

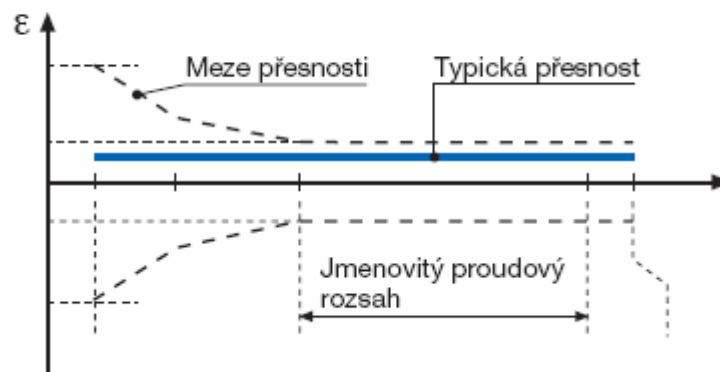


Obrázek 3 Srovnání linearity proudových senzorů s konvenčním proudovým transformátorem [4]

2.1.2.3 Jmenovitý rozsah

Díky své linearitě v širokém proudovém rozsahu, může být tentýž senzor použit pro různé jmenovité hodnoty proudů rozváděče, čili místo jedné hodnoty jmenovitého proudu je stanoven jmenovitý proudový rozsah.

*Příklad: Jmenovitý proudový rozsah: 180-1250 A, třída přesnosti 1
Meze přesnosti jsou podle obr.*



Obrázek 4 Jmenovitý proudový rozsah [4]

2.1.2.4 Ostatní, neméně důležité vlastnosti

Korekční činitel

Protože amplitudová chyba proudového senzoru je konstantní a závislá na primárním proudu, můžeme bez problémů stanovit korekční činitel. Korekční činitel se stanovuje pro každý senzor zvlášť při kusových zkouškách. Samozřejmě, že toto platí při určité pracovní teplotě okolí.

Kabel

Ačkoliv se to na první pohled nezdá, druh a délka kabelu má velký vliv na celkovou přesnost senzoru. Proto, z tohoto důvodu, musí být přesnost každého senzoru zkoušena i s daným kabelem. Tedy výsledná chyba senzoru, jako celku, je určena chybou senzoru a chybou kabelu – to platí i pro napěťové (kombinované) senzory.

2.2 NAPĚŤOVÉ

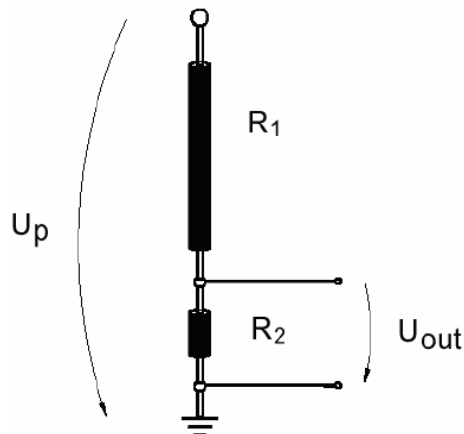
Měření napětí u napěťových senzorů je založeno na principu odporového nebo kapacitního napěťového děliče. Výstupní napětí je přímo úměrné vstupnímu napětí a to v poměru 1:10 000. Několik možných provedení napěťových senzorů je uvedeno na obrázku 5, jedná se o produkty, které jsou aktuálně na trhu. Výstupní napětí těchto senzorů se pohybuje v rozmezí 11 – 1100 mV a ztráty na sekundáru oproti napěťovým transformátorům jsou zanedbatelně malé. Díky nízkému výstupnímu napětí se také zvýší bezpečnost systému oproti napěťovým transformátorům, které mají na sekundárním vinutí napětí 1,2 – 110V.



Obrázek 5 Různé druhy provedení napěťových senzorů [4]

2.2.1 Napět'ové senzory na principu odporového děliče

Tyto senzory patří do třídy přesnosti 1. Využívá se zde klasický odporový dělič, jeho princip je naznačen na obrázku níže.



Obrázek 6 Princip odporového děliče [4]

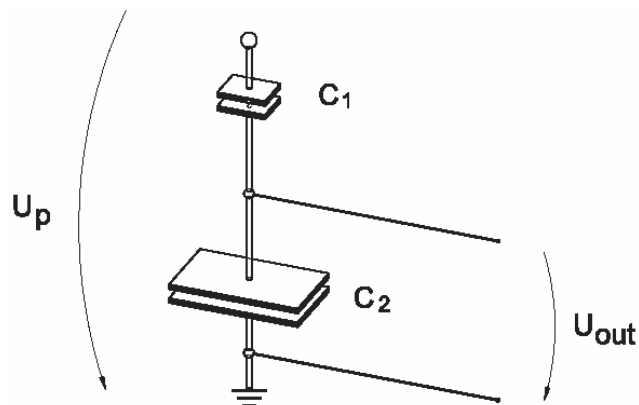
Vztah pro výpočet výstupního napětí je následující:

$$u_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_p \quad [V] \quad (2.2)$$

Pro zajištění dělicího poměru 1:10000 se volí hodnoty $R_1 = 250M\Omega$ a $R_2 = 25k\Omega$.

2.2.2 Napět'ové senzory na principu kapacitního děliče

Tyto senzory se řadí do třídy přesnosti 3. Jsou založeny na principu kapacitního děliče napětí, který je uveden na obrázku 7.



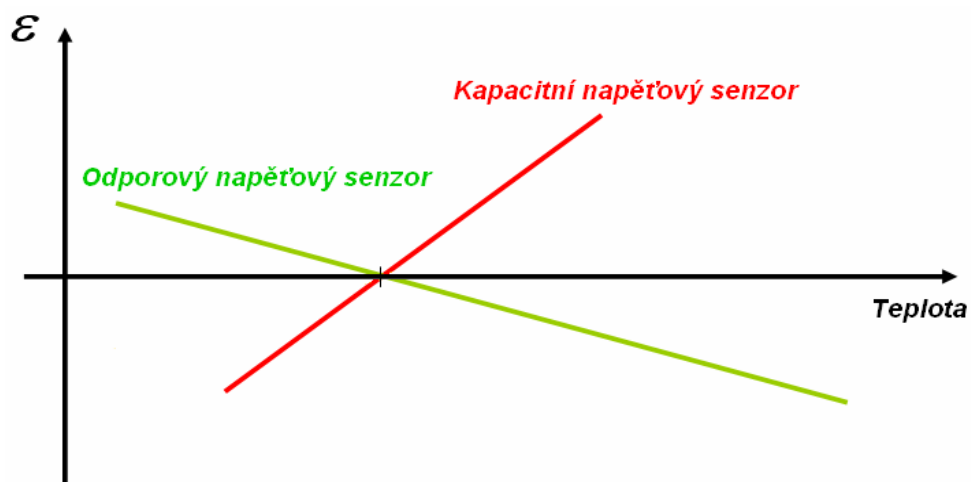
Obrázek 7 Princip kapacitního děliče [4]

Pro výstupní napětí děliče platí vztah:

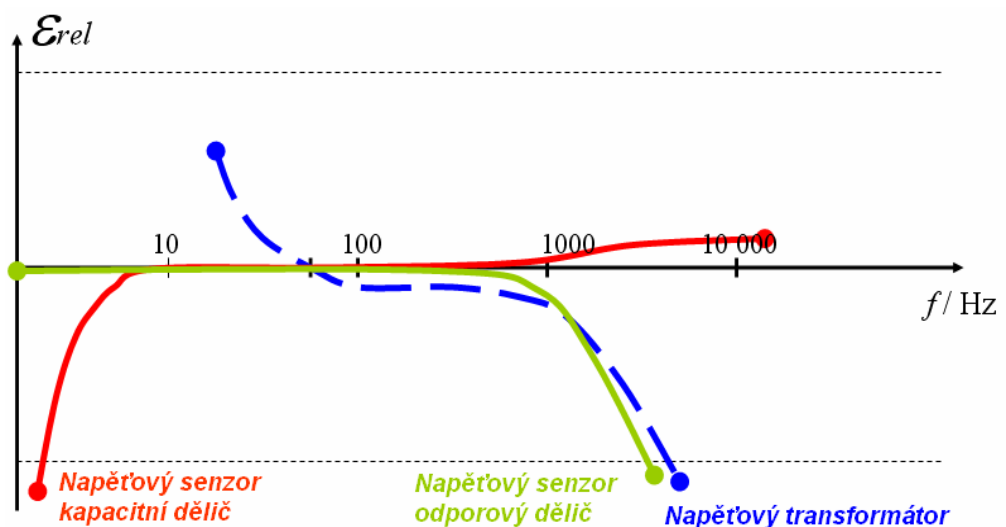
$$u_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} u_p \quad [V] \quad (2.3)$$

Pro zajištění dělicího poměru 1:10000 se volí hodnoty $C_1 = 15 \text{ pF}$ a $C_2 = 150 \text{ nF}$.

Velice důležitou vlastností senzoru, je závislost chyby měření na teplotě. Ideální by bylo, kdyby senzory byly teplotně a frekvenčně nezávislé, ale bohužel tomu tak zdaleka není, což je vidět na následujících obrázcích.



Obrázek 8 Závislost chyby napěťového senzoru na teplotě okolí



Obrázek 9 Závislost relativní chyby napěťového senzoru na frekvenci napětí

2.3 KOMBINOVANÉ

Kombinované senzory mají v sobě zakomponovány proudový senzor i napěťový senzor. Oba principy měření proudu i napětí jsou uvedeny v předchozích kapitolách. Různé druhy provedení kombinovaných senzorů jsou uvedeny na obrázku 10.



Obrázek 10 Různé druhy provedení kombinovaných senzorů [4]

3. PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW

3.1 LABVIEW

LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench) jedná se o vývojové prostředí používající grafický programovací jazyk G od výrobce National Instruments. Toto prostředí je zaměřeno na vývoj aplikací, zajišťujících řízení celého procesu sběru měřených dat, jejich analýzy a prezentace. Původně uvolněno pro Apple Macintosh v roce 1986, nyní je k dispozici pro Microsoft Windows a ostatní systémy Unix, Linux a Mac OS. Nejnovější verze je LabVIEW 8.6. Tato práce je realizována ve verzi 8.2.1.

3.2 VYUŽITÍ

LabVIEW je určeno především pro získávání dat a ovládání přístrojů, proto obsahuje knihovny funkcí a vývojové nástroje navržené speciálně k tomuto účelu. V jazyce G se vytvářejí programy formou blokových diagramů. Obsahuje knihovny pro získávání, analýzu, zpracování dat, ovladače GPIB, sériového rozhraní a mnoho dalšího. Obsahuje i klasické programovací nástroje, kterými lze nastavit místa přerušení běhu programu, animovat chod sledu příkazů a krokovat program. Aplikace tvořené v LabVIEW jsou nazývány Virtual Instruments (VIs) (virtuální přístroje), neboť jejich vzhled a činnost připomínají skutečné přístroje.

3.3 PŘEDNOSTI

Podle výrobce je LabVIEW jediným grafickým programovým prostředím, které obsahuje kompilátor generující optimalizovaný kód, jehož rychlost vykonání je srovnatelná s rychlostí kompilovaných programů v jazyce C. Programátorovi odpadají starosti s řadou syntaktických chyb.

3.4 VIRTUÁLNÍ PŘÍSTROJ

Hotová aplikace VI simuluje vzhled skutečného přístroje, na jehož předním panelu jsou soustředěny všechny potřebné prvky. Výsledná aplikace, pro větší přehlednost, může obsahovat i několik předních panelů a zobrazovat je podle

předvoleb uživatele. Ovládací a kontrolní prvky VI mohou být spojeny s periferiemi PC, např. numerické klávesnice, upravené klávesnice, přímé zapisovače grafu, atd..

3.5 GRAFICKÉ ROZHRANÍ

Při vytváření aplikace virtuálního přístroje se pracuje ve dvou základních oknech, označovaných jako Front panel a Block diagram. V prvním zmiňovaném, se vytváří vnější vzhled přístroje, tj. rozmístění prvků, jejich vzhled atd.. V druhém okně modelujeme blokové schéma algoritmu aplikace. Schéma algoritmu se vytváří z několika typů objektů:

- terminály - zajišťují komunikaci s předním panelem
- funkce - výkonný aparát pro zpracování dat
- interface - umožňuje přímý přístup k podporovanému hardwaru
- ovladače - ovládání podporovaných periférií počítače
- vodiče - zajišťují tok dat mezi ostatními objekty

Vytváření jednoduchých aplikací je díky této struktuře a řadě předpřipravených objektů jednoduché a intuitivní. Problémy se vyskytují až při vytváření složitějších aplikací.

3.6 DATOVÉ TYPY

Jako je běžné v textově orientovaných programovacích jazycích, existují i v jazyce G datové typy. Datový typ je vlastnost určitého objektu – terminálu, nebo vlastnost rozhraní – hrany diagramu. Kompletní a přehledný seznam všech datových typů lze nalézt v nápovědě LabVIEW.

Datový typ hrany je určen v blokovém diagramu typem čáry, která hranu reprezentuje. Datový typ terminálu, který přísluší nějakému objektu čelního panelu je určen ikonou, která terminál reprezentuje. Datový typ terminálu obecného uzlu blokového diagramu není explicitně graficky vyjádřen.

3.7 PRÁCE S MĚŘICÍ ÚSTŘEDNOU A ČÍTAČEM

Při práci s měřicí ústřednou a čítačem (měřičem fáze) bude využito paralelní rozhraní GPIB. Pro komunikaci s přístroji bude využita VISA – **V**irtual **I**nstrument **S**oftware **A**rchitecture. VISA, mimo jiné, umožňuje komunikaci i přes sběrnice USB, PXI, VXI a sériový port. Je nutné, aby na PC byl nainstalován aktuální ovladač k danému zařízení. Pro oba přístroje jsou na webu National Instrument k dispozici již připravené knihovny. Tyto knihovny se musí nahrát do adresáře s knihovnami LabVIEW, standardně : ...\\National Instruments\\LabVIEW 8.2\\instr.lib\ .

4. ZAPOJENÍ

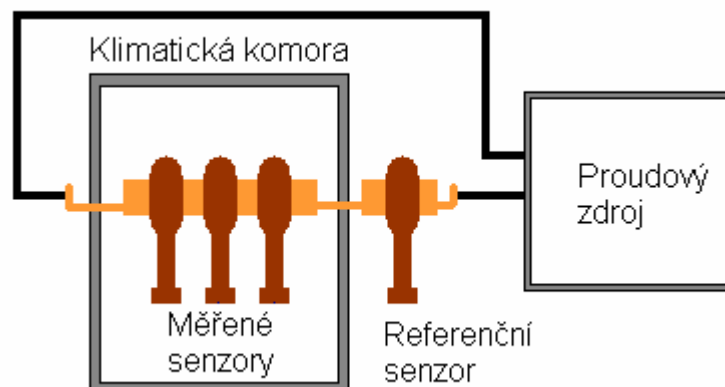
Zapojení bylo rozděleno do dvou kapitol. První kapitola popisuje zapojení silové napájecí části a druhá popisuje podrobně zapojení měřící části.

4.1 ZAPOJENÍ NAPÁJECÍ ČÁSTI

Z důvodu testování proudových, napěťových nebo kombinovaných senzorů budou použita dvě různá zapojení napájecí části. Pro stanovení proudové chyby bude použito zapojení s proudovým zdrojem a pro stanovení napěťové chyby bude použit vysokonapěťový zdroj. Obě zapojení jsou popsána v následujících dvou kapitolách.

4.1.1 Proudová měření

Schéma proudového obvodu je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 11 Zapojení proudového měření

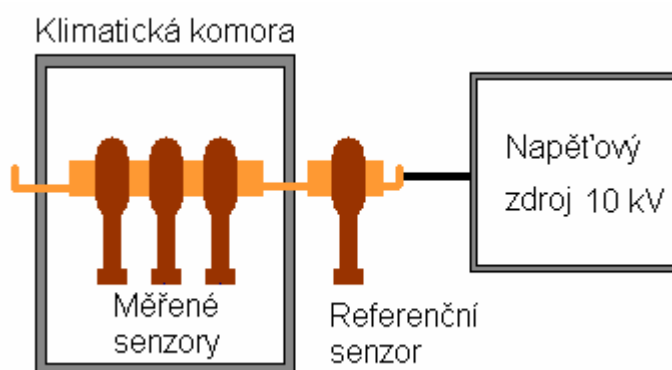
Amplituda proudu je regulována pomocí autotransformátoru a proudového transformátoru. Napájení autotransformátoru je standardně ze sítě, pokud by byl požadavek měřit při jiném, než síťovém kmitočtu, může být autotransformátor napájen z motorgenerátoru. Na výstup autotransformátoru je připojen proudový transformátor. U transformátoru lze pomocí výhybek nastavit maximální výstupní proud. Přesnost nastavené amplitudy lze v laboratoři dodatečně měřit pomocí přesného měřicího proudového transformátoru a měřicího systému Zera.

Proudová měření v sobě zahrnují hned tři úskalí, se kterými je potřeba dopředu počítat. Prvním z nich je samo zapojení. Problém je v tom, že při měření s vyššími proudy než 250A je nutné použít dostatečně silné vodiče (s větším průměrem), se kterými se špatně manipuluje a svou váhou by mohly poškodit klimatickou komoru. Druhý problém je také spojen s velkým proudem, je-li požadavek měřit při proudu 1250A, není možné v daných podmínkách kontinuálně měřit, protože dochází k velkému zahřívání vodičů, především spojů. Poslední a třetí problém spočívá v elektromagnetickém rušení, které proudový obvod vytváří.

Avšak proudová měření mají velkou výhodu oproti napěťovým, že je zde minimální riziko úrazu elektrickým proudem.

4.1.2 Napěťová měření

Schéma zapojení napěťového obvodu je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12 Zapojení napěťového měření

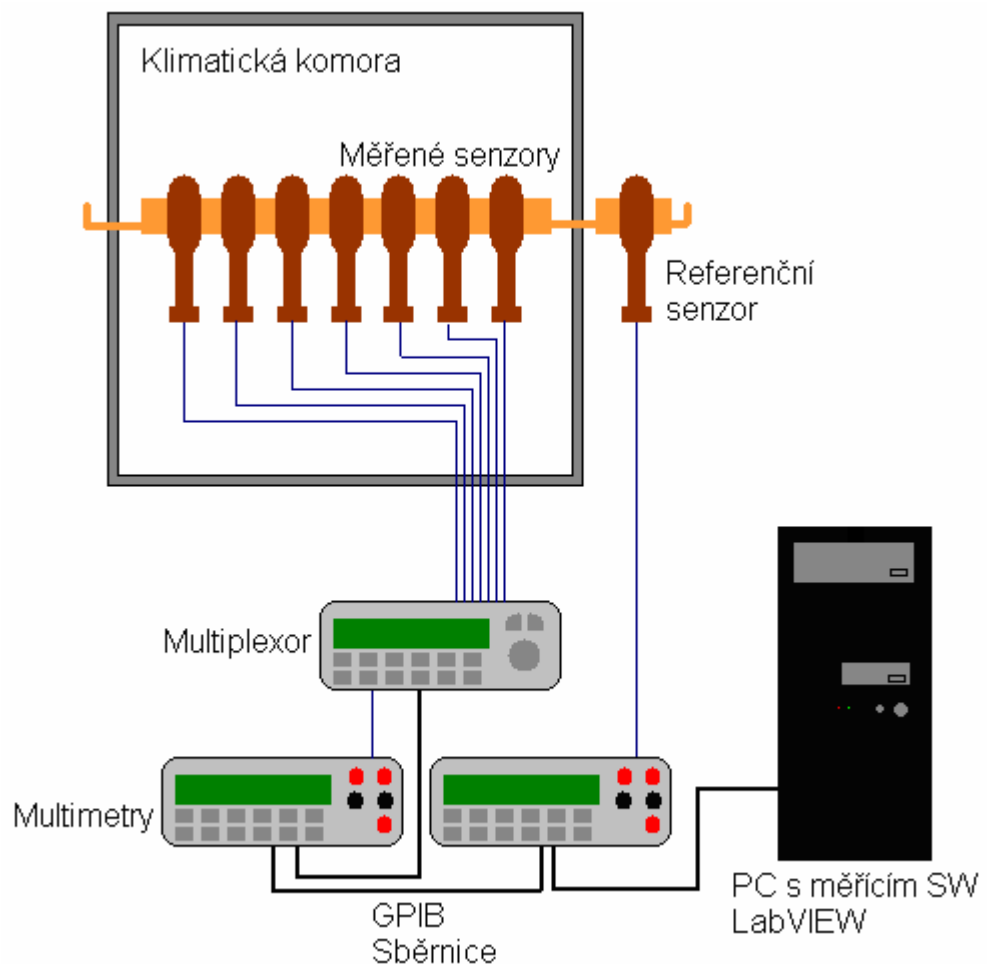
Jako zdroj vysokého napětí je použit vysokonapěťový transformátor od výrobce HIGHVOLT GmbH, typ T100. Amplituda výstupního napětí je regulována opět pomocí autotransformátoru, nebo lze zvolit ovládací operátorský panel BG5 od téhož výrobce.

Napěťový obvod lze proti proudovému sestavit bez větších problémů. Nemusí se tvořit proudová smyčka a místo silových vodičů je použit tenký vysokonapěťový vodič. Elektromagnetické rušení je zde minimální.

Největší nevýhoda oproti proudovému zapojení je v tom, že je měření při vysokém napětí životu nebezpečné. Použité napětí dosahuje řádově 10kV, proto se musí před započítím měření zhotovit zábrany a všechny části pod napětím buď označit výstražnými tabulkami, nebo lépe zamezit přímému dotyku izolací.

4.2 ZAPOJENÍ MĚŘICÍ ČÁSTI

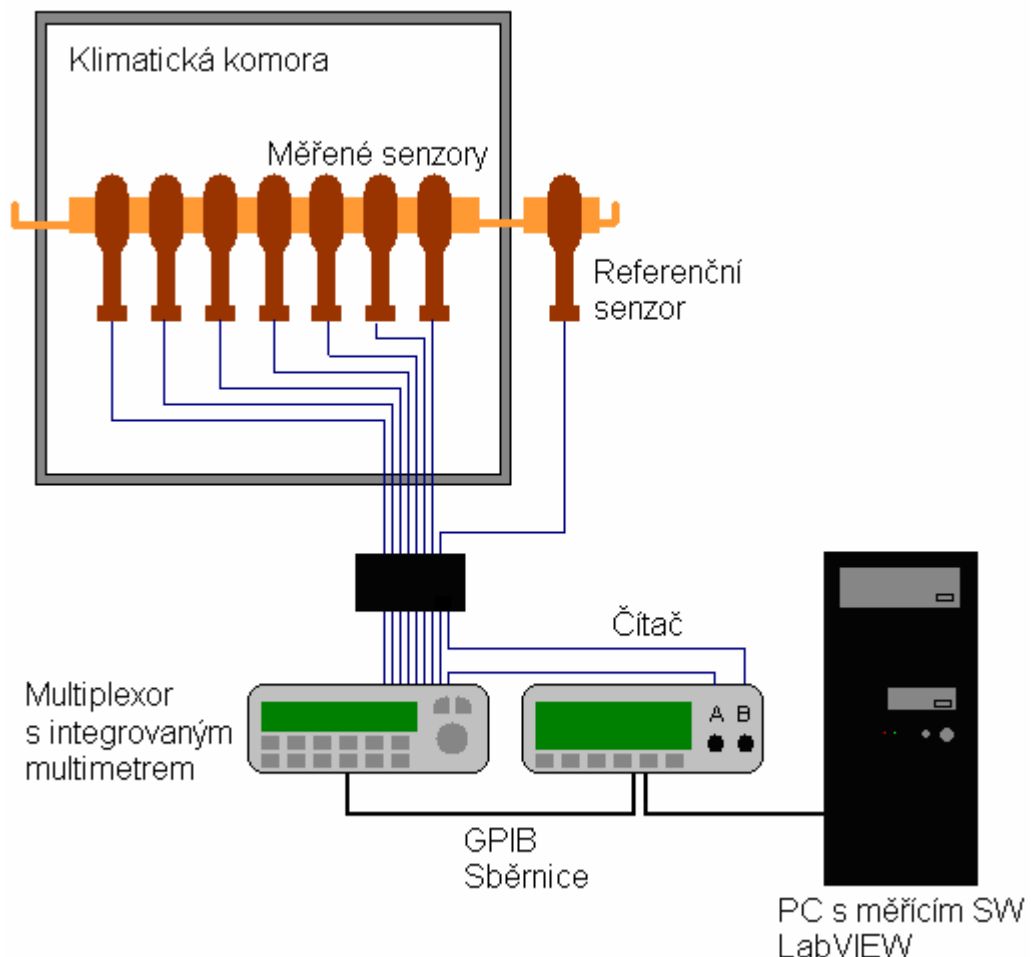
Původní návrh zapojení měřicí části počítal s využitím samostatného multiplexoru a dvou digitálních multimetrů. V době návrhu této varianty se nepočítalo s měřením fáze, proto muselo být zapojení modifikováno.



Obrázek 13 Původní návrh zapojení měřicí části

Modifikace spočívá v použití měřicí ústředny s vestavěným digitálním multimetrem, čítače pro měření fáze a propojovacím boxem. Modifikované zapojení

je uvedeno na obrázku 14. Řízení přístrojů a sběr dat je realizován pomocí sběrnice GPIB. Popis jednotlivých prvků měřicího řetězce je uveden v následující kapitole.



Obrázek 14 Schéma zapojení měřicí části

Kvůli eliminaci všech potenciálně rušivých signálů, jsou všechny použité vodiče kroucené, stíněné a vhodně uzemněné. S uzemněním souvisí možný vznik zemních smyček, proto jsou jednotlivé segmenty připojeny k referenčnímu potenciálu pouze na jednom místě. Těmito úpravami lze účinně potlačit různé typy interferenčního šumu. Jako další krok, pro zlepšení přesnosti měření může, být celá měřicí a napájecí aparatura připojena do elektrické sítě přes síťový filtr – dolní propust. Tento filtr odstraní především špičky vzniklé spínanými zdroji, CNC stroji a další technikou.

5. POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A PŘÍPRAVKY

5.1 PŘEVODNÍK USB – GPIB

Bude použit od firmy National Instruments, typ GPIB-USB-HS. Umožňuje softwarové řízení přístrojů vybavených GPIB rozhraním pomocí PC s USB portem. Maximální přenosová rychlost 7.2 MB/s. Pro správnou funkci je potřeba software NI488.2.



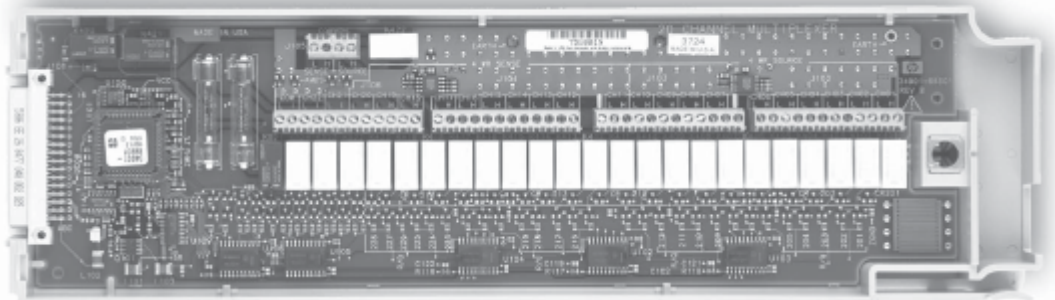
Obrázek 15 National Instruments GPIB Controller [1]

5.1.1 Propojovací GPIB kabel

Pro vzájemné propojení měřicí ústředny Agilent 34970A a čítače Pendulum CNT-90 bude použit tento propojovací kabel. Kabel je dvojitě stíněný a odpovídá normě IEEE 488.1



Obrázek 16 GPIB kabel Agilent 10833A [2]



Obrázek 18 Zásuvný modul 34901A pro měřicí ústřednu 34970A [2]

5.3 ČÍTAČ PENDULUM CNT-90

Pro měření fáze byl zvolen čítač firmy Pendulum typ CNT-90. Jde o přesný čítač pro měření, analýzu, kalibraci časových intervalů, kmitočtu a fáze. Fázi měří v rozlišení na $0,001^\circ$, což je pro tuto aplikaci dostačující. Pro propojení s PC je vybaven GPIB a USB rozhraním.

Základní parametry:

- Frekvenční rozsah 300 MHz.
- 250k měření za sekundu.
- Vstupní analogový RC filtr 100 kHz a nastavitelný digitální filtr.
- Rozlišení displeje 14 digitů.
- Rozhraní USB, GPIB/SCPI.



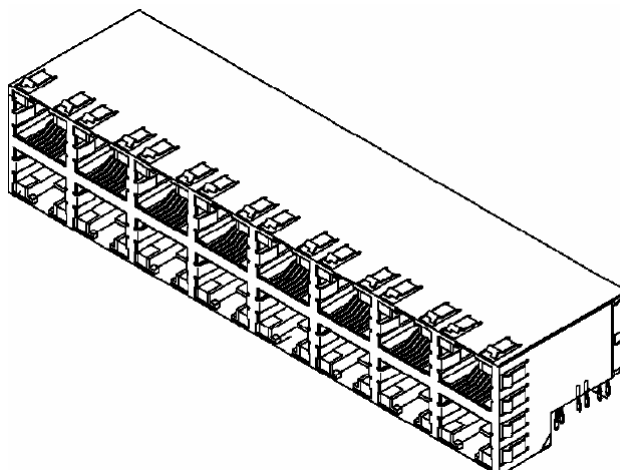
Obrázek 19 Čítač Pendulum CNT-90 [5]

5.4 TERMOČLÁNKY

Pokud senzor v sobě nemá pro měření teploty zabudován termistor, přistoupí se k měření teploty pomocí termočlánků. Budou využity kroucené termočlánky typu J, nebo L připevněné k tělu senzoru.

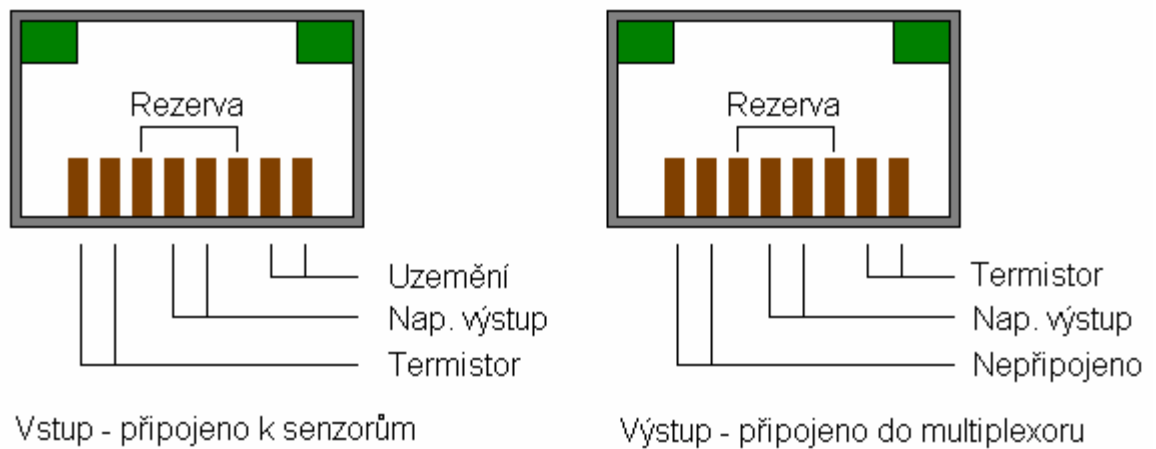
5.5 KONEKTOROVÝ BOX

Pro propojení senzorů s různými typy konektorů se vstupy multiplexoru měřící ústředny a čítače byl zkonstruován propojovací box. Box má rozměry 46 x 152 x 86 mm a je vyroben z 1 mm železného plechu. Uvnitř boxu jsou umístěny dvě dvouřadé ethernetové patice od firmy Tyco P/N 1116317-4 velikosti 2 x 8, tj. celkem 16 ethernetových zástrček na jednu patici. Stačila by velikost 2 x 6, ale ta bohužel v době realizace nebyla k dostání.



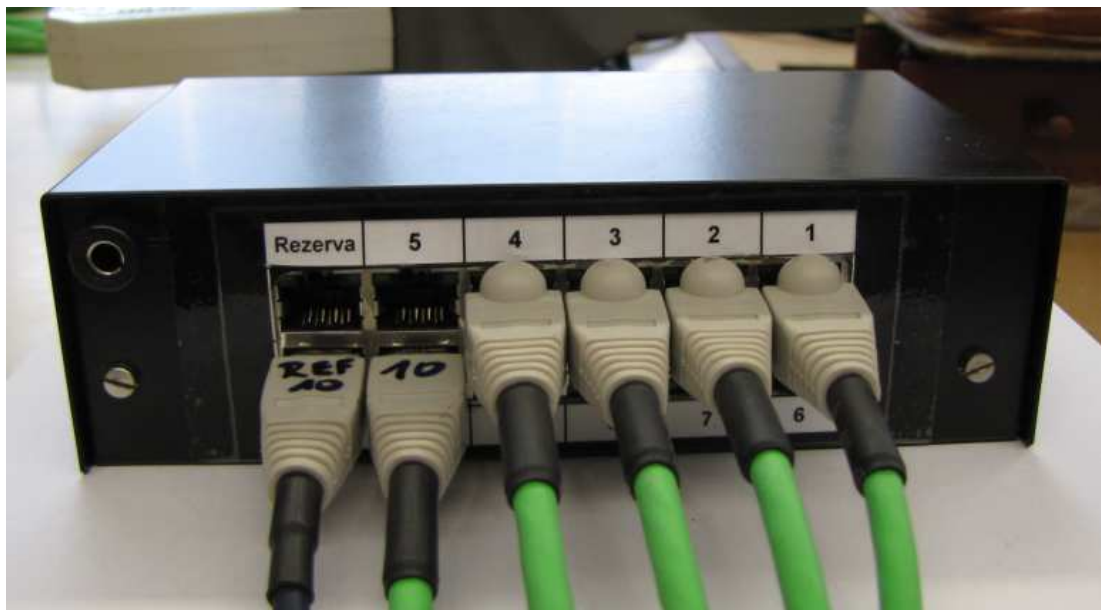
Obrázek 20 Ethernetová patice Tyco 2 x 8 [7]

Propojení jednotlivých konektorů (pinů konektoru) je uvedeno na obrázku 21. Jak je vidět, do boxu je připojen šesti žilový vodič a na výstup se připojuje pouze čtyř žilový vodič. Popis propojovacích vodičů je uveden v následující kapitole.



Obrázek 21 Zapojení jednotlivých pinů na propojovacím boxu

Na následujícím obrázku je fotografie zhotoveného konektorového boxu s popisky a připojenými vodiči – výstupní strana (propojení s multiplexorem). Je zde uvedena situace pro měření závislosti chyby na teplotě čtyř senzorů.



Obrázek 22 Propojovací box

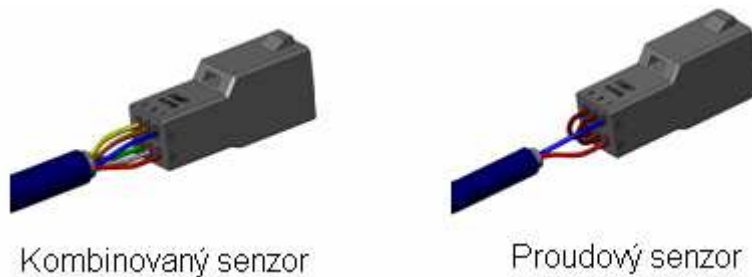
5.5.1 Propojovací vodiče

Prozatím byly vytvořeny čtyři sady propojovacích vodičů. Z toho dvě sady (proudové senzory, nebo napěťové senzory) pro propojení měřených senzorů s boxem, jedna sada pro propojení boxu s multiplexorem měřicí ústředny

a jedna sada pro měření fáze. Všechny použité vodiče jsou stíněné hliníkovou fólií a s kovovým opletením.

5.5.1.1 Propojovací vodiče senzor – box

Použité vyvíjené senzory mají dva druhy konektorů. První z typů je stíněný konektor RJ45 spolu s dvoužilovým kabelem, který se přímo připojí do propojovacího boxu. Druhý typ již používá speciální „dynamic“ konektor, pro který se musí vyrobit propojovací kabel. Je-li senzor pouze proudový (platí i pro pouze napěťové), je použit dvoužilový kabel (tyto senzory v sobě z pravidla nemají zabudovaný termistor). Pokud je senzor kombinovaný je využit šesti žilový kabel. Zapojení vodičů a tvar konektoru je vidět na obrázku 23.



Obrázek 23 Dynamic konektor a zapojení vodičů

Jak již bylo napsáno, byly vytvořeny dvě sady propojovacích vodičů, jedna pro proudové měření a druhá pro napěťové měření. Tyto propojovací vodiče se mezi sebou liší různým připojením vodičů v dynamic konektoru. Je to z toho důvodu, že pokud je měřen proud je potřeba, aby výstup z kapacitního děliče (pro měření napětí) byl uzemněn. Při měření napětí je naopak uzemněn výstup z rogovského cívk. Pro přehlednost, jak je uvedeno na obrázku 24, mají propojovací vodiče pro proudové měření červenou krytku konektoru RJ45 a pro napěťové měření mají modrou krytku konektoru RJ 45.



Obrázek 24 Propojovací vodiče senzor – box

5.5.1.2 Propojovací vodiče box – multiplexor

Pro propojení multiplexoru měřicí ústředny s propojovacím boxem jsou použity čtyř žilové (dva kroucené páry) vodiče zelené barvy. Dvě žíly jsou použity pro měření výstupního napětí a dvě pro případné měření odporu termistoru.

5.5.1.3 Propojovací vodiče pro měření fáze

Pro měření fáze byly zhotoveny dva dvou žilové propojovací vodiče. Jeden je připojen přímo do propojovacího boxu pomocí ethernetového konektoru (výstup z referenčního senzoru, jak je vidět na obrázku 22, krytka s nápisem Ref10) a druhý je připojen na výstupní svorku multiplexoru a to pomocí šroubovací svorkovnice. Oba konce těchto vodičů jsou připojeny na BNC vstupy čítače Pendulum CNT-90.

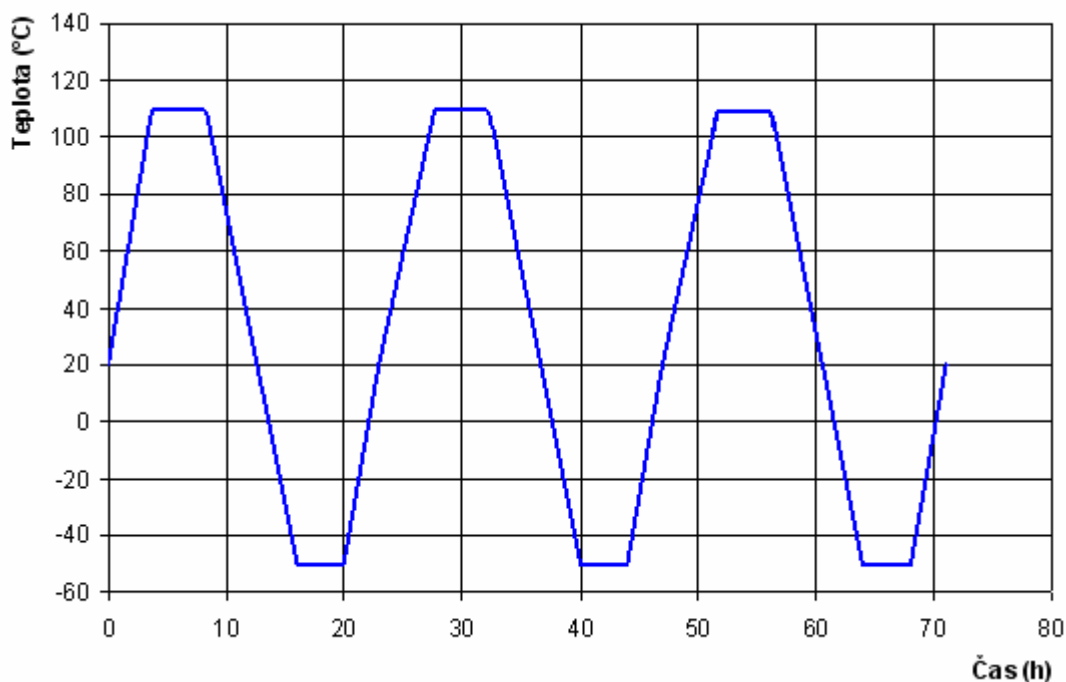
6. METODIKA MĚŘENÍ

Cílem měření je zhotovení průběhu relativní chyby (napěťové a fázové) senzoru v závislosti na teplotě. Požadavky, které jsou kladeny při této zkoušce, jsou uvedeny v českých technických normách a to ČSN EN 60044-7 pro napěťové senzory a ČSN EN 60044-8 pro proudové senzory. Pro kombinované senzory zatím v této době nebyla vydána samostatná norma. Samozřejmě, že celá zkouška není řízena jen podle uvedených norem, ale uplatňují se zde i další normy a tj. IEC 60055-1, IEC 60255-5, IEC 60044-3 a další.

Jelikož se prozatím jedná o vývojové zkoušky, tedy zkoušky prototypů senzorů, tak výsledný průběh zkoušky závisí na aktuálních požadavcích konstruktérů senzorů.

6.1 TEPLOTNÍ CYKLUS

Pro většinu měření bude použit teplotní cyklus (tři teplotní cykly) znázorněný na následujícím obrázku.



Obrázek 25 Teplotní cyklus

Hlavní parametry teplotního cyklu:

- Minimální teplota – většinou - 50°C.
- Maximální teplota – většinou + 115°C.
- Minimální rychlost teplotní změny – většinou 5K/h.
- Počet cyklů – většinou 3.
- Délka jednoho cyklu – většinou 25 hodin, z toho plyne celková délka měření 75 hodin. Obvykle je délka měření delší, a to z toho důvodu, je-li požadavek aby teplota v klimatické komoře byla na začátku a konci měření určitou dobu na úrovni pokojové teploty (tzv. výchozí a koncová ustálená teplota).

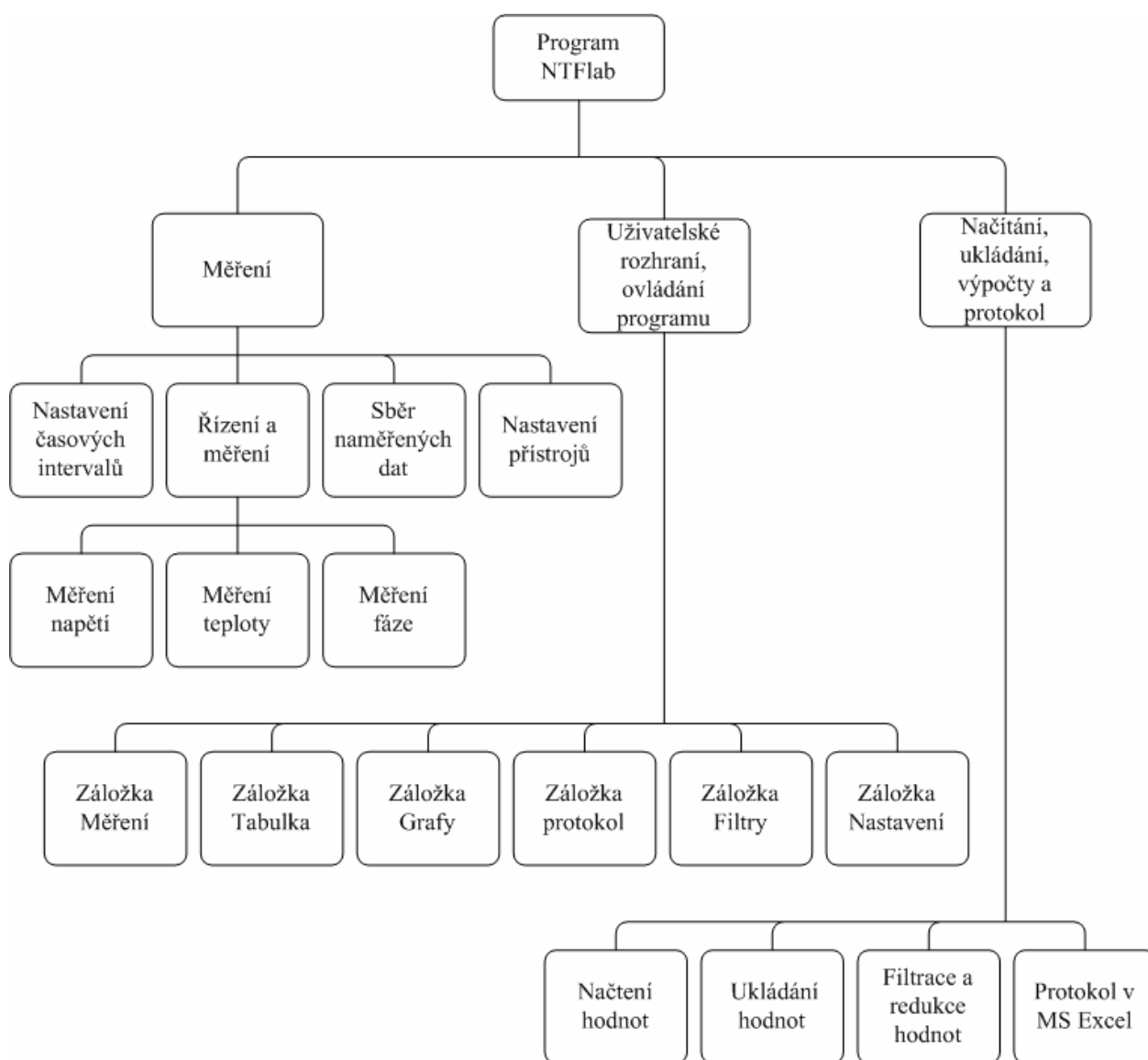
6.2 NASTAVENÍ PROUDU / NAPĚTÍ

Pro standardní zkoušku přesnosti při teplotních cyklech se vychází z již zmiňovaných technických norem. Pro vývojové zkoušky se vychází především z požadavků konstruktérů. Měření se většinou provádí při jmenovitém proudu, nebo jmenovitém napětí senzoru, popř. při jejich násobcích.

7. PROGRAM

7.1 BLOKOVÝ DIAGRAM

Program lze rozdělit do třech hlavních bloků, uvedených níže v blokovém diagramu. Mezi hlavní bloky patří blok obstarávající měření, blok pro ukládání, načítání hodnot, výpočty, tvorbu protokolu a blok uživatelského rozhraní k ovládání a práci s programem. Program nese jméno NTFlab (Napětí Teplota Fáze laboratoř).



Obrázek 26 Blokový digram programu NTFlab

7.1.1 Blok měření

Blok měření v sobě zahrnuje další tři bloky tj. nastavení časových intervalů, řízení měření a sběr naměřených dat. Nejdůležitější blok je blok pro řízení a měření.

7.1.1.1 Řízení a měření

Tento blok zabezpečuje samotné měření žádaných veličin. Nejvýznamnější je zde měření střídavého výstupního napětí ze senzorů, poté následuje měření teploty a nakonec měření průběhu fáze. Měření se provádí v samostatné paralelní smyčce, čímž zamezíme prodlevám v měření, popřípadě nechtěnému pádu programu. Řízení měření a vyčítání hodnot je realizováno pomocí front. Fronty jsou použity celkem dvě a to pro řízení měření a pro naměřená data. Ve frontě řízení proudí řídicí příkazy do měřicí smyčky, ve které jsou čteny a tím řídí postup měření. Hlavní řídicí příkazy jsou: Wait, Init, Mer, Stop, Konec. Ve stavu "Wait" program jednoduše vyčkává na zásah obsluhy, nebo na příkazy od časovače. Stav "Init" slouží pro inicializaci (adresaci) měřicí ústředny a čítače. Přejde-li příkaz "Mer", spustí se měření. Po skončení měření jednoho cyklu se data pomocí fronty, pro přenos naměřených hodnot, odešlou do druhé smyčky programu a automaticky nastává stav "Stop". Měření se pozastaví a přepne se do stavu vyčkávání tedy do "Wait". Ve "Wait" čeká, dokud nepříjde další příkaz k měření od časovače. Posloupnost měření při kompletním měření, tj. měření napětí, teploty a fáze je následující: nejdříve se změří napětí na určitém kanále, poté se změří teplota na kanále s pořadovým číslem o 10 větší než napětí, toto se opakuje pro všechny senzory a nakonec se postupně měří fáze. Měření při maximálním obsazení, tj. připojeno 10 senzorů, trvá zhruba jednu a půl minuty. Během procesu měření se zobrazují na displeji ústředny hlášky, ve kterém kroku měření se ústředna nachází. Pro příklad, při měření napětí na kanále 101 se na displeji zobrazí: NAPETI : 101.

Pro měření napětí slouží prvních deset vstupů na svorkovnici multiplexoru měřicí ústředny, tj. adresy 101 – 110. Jak je patrné z čísla kanálu, musí být zásuvný multiplexorový modul zasunut ve slotu číslo 1. Kolik vstupů bude použito a na jaký kanál budou připojeny, závisí pouze na obsluze programu. Výjimku tvoří referenční senzor, který musí být vždy připojen na kanál 110. Lze tedy měřit jeden až devět

testovaných senzorů uvnitř klimatické komory a jeden referenční vně klimatické komory. Rozsah integrovaného multimetru při kterém má být měření prováděno, může být obsluhou zvolen před započítím měření a to v záložce Nastavení. Pro potlačení chyb odečtu napětí a parazitního rušení je změřeno 20 vzorků napětí, které jsou následně zprůměrovány. Tato zprůměrovaná hodnota je brána jako správná a je přiřazena k danému měřenému kanálu.

Teplotu lze měřit dvěma způsoby. První způsob je založen na měření odporu termistoru, který je zabudován uvnitř senzoru. Druhý způsob měření teploty je pomocí termočlánku. Druhý způsob bude použit tehdy, je-li měřen senzor bez zabudovaného termistoru, nebo vyžádá-li si to situace. Typ termočlánku lze samozřejmě také zvolit. Implicitně je zvolen typ J. Pro přepočítání odporu na teplotu u termistoru bylo využito programu MS EXCEL, kde byl vypočten polynom třetího řádu z tabulky závislosti odporu na teplotě daného termistoru, pomocí regresní funkce. Proměnnou v tomto polynomu je tedy změřený odpor termistoru a výsledkem je vypočtená teplota. Tento polynom je automaticky při startu programu vyplněn, lze ho samozřejmě před začátkem měření změnit, jak je vidět na následujícím obrázku.

Přepočítání odporu na teplotu

Konstanty polynomu třetího řádu:

x^3	x^2	x	konstanta
<input type="text" value="9E-8"/>	<input type="text" value="-0,0003"/>	<input type="text" value="0,4892"/>	<input type="text" value="-180,64"/>

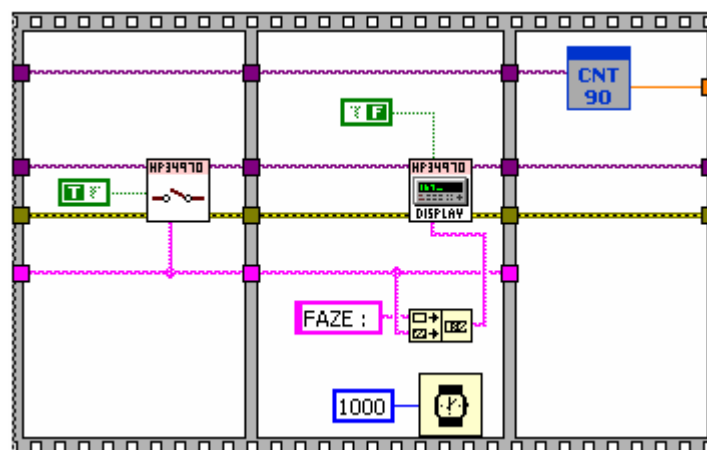
Přepočítání odporu na teplotu u termistorů dle polynomu Měřit pouze teplotu (tj. neměřit napětí ani fázi)

Obrázek 27 Přepočítání odporu na teplotu

Na obrázku 27 jsou také vidět dvě tlačítka. První z nich slouží pro povolení přepočítání odporu na teplotu. Byl totiž požadavek, aby program měřil pouze odpor a nepřepočítával ho na teplotu. Implicitně po startu programu je nastaveno

na hodnotu přepočítávat. Druhé tlačítko s názvem “Pouze teplota“ vzniklo z toho samého důvodu jako předchozí, ale s tím rozdílem, že program měří pouze teplotu, čili neměří napětí a fázi. Díky tomuto tlačítku lze program v kombinaci s měřicí ústřednou používat jako univerzální přenosný datalogger pro měření 10 hodnot teplot, nebo odporů.

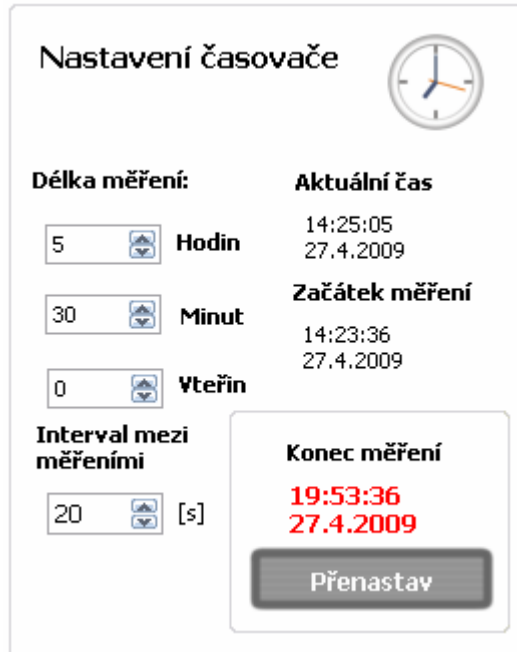
Pro měření fáze slouží kombinace měřicí ústředny a čítače. Referenční senzor je připojen na vstup A čítače a ostatní měřené senzory jsou měřicí ústřednou multiplexovány na vstup B. Část programu pro měření fáze je znázorněn na obrázku 28. Nejdříve je vybrán kanál, který bude multiplexován (přepnut) na výstupní svorky multiplexoru, poté se zobrazí informace o měřeném kanálu na displeji měřicí ústředny, 1 vteřinu se počká (zjištěno experimentálně, pomáhá při zlepšení přesnosti měření) a poté jsou již na obou vstupech čítače přivedeny signály, tím pádem je možné měřit fázi. Toto se cyklicky opakuje, dokud nejsou změřeny fáze všech měřených senzorů. Jelikož je i napět'ový výstup z referenčního senzoru přiveden na svorky multiplexoru, tak je měřena fáze tohoto průběhu napětí oproti napětí referenčního senzoru vyvedeného přímo z propojovacího boxu. Tím lze změřit jak měřicí ústředna spolu s multiplexorem ovlivňuje měření fáze. V naprosté většině provedených měření byla fáze těchto dvou napětí nulová, v ostatních případech se pohybovala kolem hodnoty $0,0001^\circ$.



Obrázek 28 Postup při měření fáze

7.1.1.2 Nastavení časových intervalů

Nejlépe si lze vysvětlit funkce časovačů pomocí následujícího obrázku.



Nastavení časovače

Délka měření:

5 Hodin

30 Minut

0 Vteřin

Interval mezi měřeními

20 [s]

Aktuální čas

14:25:05
27.4.2009

Začátek měření

14:23:36
27.4.2009

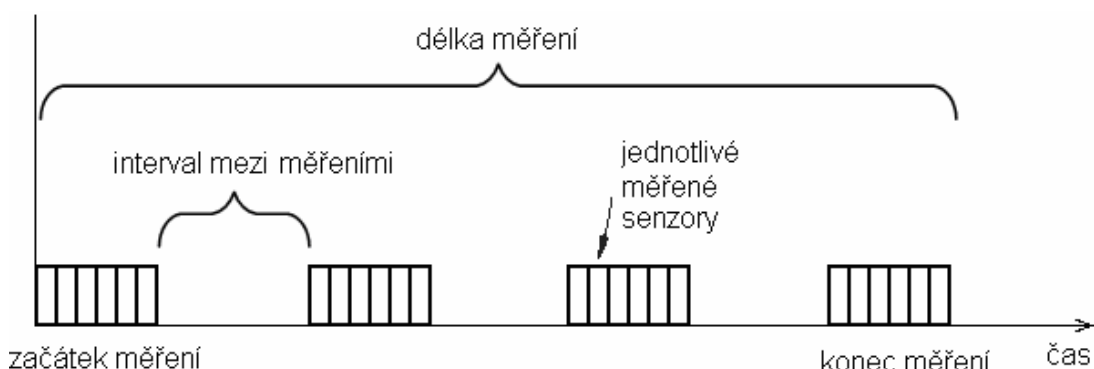
Konec měření

19:53:36
27.4.2009

Přenastav

Obrázek 29 Nastavení časovače

Jak je vidět, časovač se skládá ze dvou hlavních částí a to z nastavení délky celého měření a z nastavení intervalu mezi jednotlivými měřeními. V prvním zmiňovaném lze nastavit délku celého měření ve tvaru hodiny : minuty : vteřiny. Program má zabudovanou funkci, že během měření lze délku měření prodloužit nebo zkrátit. Slouží pro to tlačítko "Přenastav". Před stiskem tlačítka je potřeba nejdříve změnit délku měření v bloku "Délka měření". Funkci nastavení intervalu mezi měřeními a rozdíl oproti délce měření vystihuje obrázek 30.



Obrázek 30 Interval měření a délka měření

Chybně zadané časové intervaly, jako je například malý interval mezi měřeními, jsou programem rozpoznány a opraveny na nejbližší vhodnou správnou hodnotu. Dále jsou na obrázku 29 vidět tři indikátory času. První z nich zobrazuje aktuální čas, druhý čas při kterém bylo započato měření a třetí ukazuje kdy měření bude ukončeno.

7.1.1.3 Sběr naměřených dat

Jak již bylo uvedeno, pro předání hodnot z měřícího subvi, byla použita fronta. Data z fronty jsou vyčtena v bloku "VyctiData". Následně se vypočítají relativní chyby senzorů a aktuální proud při měření proudových, nebo aktuální napětí při měření napěťových senzorů. Po provedení všech potřebných výpočtů se data zobrazí do tabulky a grafů a provede se průběžné uložení naměřených hodnot do txt souboru.

7.1.1.4 Nastavení přístrojů

Nastavení přístrojů je z větší části řízeno programově, bez potřeby zásahu uživatele. Ručně lze nastavit pouze tři parametry měřící ústředny Agilent 34970A, jsou to: napěťový rozsah multimetru, odporový rozsah multimetru a typ termočlátku. Dále je k dispozici tlačítko s názvem DMM OFF / ON, které slouží pro odpojení (rozpojení kontaktu relé) multimetru od vstupních svorek při měření fáze. Implicitně je nastaven na hodnotu odpojeno, čili DMM OFF a je doporučeno měřit fázi s odpojeným multimetrem. Toto tlačítko vzniklo ve fázi vývoje a testování funkčnosti programu a prozatím bylo ponecháno. Dále bylo do programu

implementováno automatické přiřazení GPIB adres přístrojům, jinak řečeno není potřeba ručně zadávat čísla GPIB adres obou připojených přístrojů. Nenažde-li program při spuštění měření aktivní přístroje, nebo dojde-li ke konfliktu adres, program na to upozorní uživatele chybovou hláškou. Chybová hláška se skládá z hlášení o chybě a tlačítek “Vyřešeno“ a “Stop“. Je-li problém odstraněn, tak je možné pokračovat v měření stiskem tlačítka “Vyřešeno“, po kterém opět proběhne vyhledání přístrojů. Pokud opětovně vyhledání přístrojů proběhne úspěšně, znovu se nastaví časovač (nový začátek měření) a spustí se měření. Po stisku tlačítka “Stop“ se měření ukončí.

Měření pomocí termistorů je provedeno tak, že se měří dvousvorkově odpor termistoru a následně je přepočten pomocí polynomu 3. řádu na teplotu. Je to z toho důvodu, že měřicí ústředna umí měřit pouze tři určité typy termistorů. Jedná se o termistory s odporem : $2,2k\Omega, 5k\Omega, 10k\Omega$. Ty však nejsou v senzorech používány. Tvorba tohoto polynomu byla popsána v kapitole 7.1.1.1.

Pro přehlednost budou dále uvedena všechna použitá nastavení (volitelná i pevná) obou přístrojů.

Měření napětí Agilent 34970A:

- Vstupní AC filtr: nastaven na hodnotu 200Hz.
- Zpoždění odečtu mezi kanály: automatické.
- Trigger: manuální – měření dvaceti vzorků po sobě s následným průměrováním.
- Rozsah volt-metru: manuálně, implicitně nastaven na 10V střídavého napětí.

Měření teploty pomocí termočlánků Agilent 34970A:

- Typ termočlánku: manuálně, implicitně nastaven typ J, další možné varianty B, E, K, N, R, S, T.

Měření teploty pomocí termistorů Agilent 34970A:

- Rozsah multimetru: manuálně, implicitně $10k\Omega$.
- Rozlišení multimetru: nastaveno na $6\frac{1}{2}$ digitu.

Měření fáze pomocí čítače Pendulum CNT-90:

- Vstupy: implicitně měření fáze mezi vstupy A – B, channel 1 –A, channel 2 –B.
- Vstupní impedance: $10M\Omega$.
- Vstupní vazba na vstupech: střídavá.
- Vstupní analogové filtry: zapnuty.
- Horní hranice analogového vstupního AC filtru: $100kHz$.
- Vstupní digitální filtry: zapnuty.
- Horní hranice digitálních vstupních filtru: $51 Hz$.
- Hranice triggeru: $0V$.
- Počet odečtených vzorků: 100 a následné aritmetické průměrování.

7.1.2 Blok načítání, ukládání, filtrace a protokol

Další důležitý blok programu v sobě zahrnuje práci s naměřenými daty a tvorbu protokolů. Program automaticky ukládá data do souborů, dokáže data ze souborů opětovně načíst a z naměřených nebo načtených dat vytvořit protokol v MS EXCEL. Je zde taky zakomponována redukce a korekce (filtrace) naměřených dat.

7.1.2.1 Ukládání hodnot

Ukládání hodnot je rozděleno do dvou samostatných souborů.

První soubor je typu XML a do něho se ukládají všechny potřebné informace o měření např. : Název měření, typ obvodu, začátek a konec měření, perioda měření, jména senzorů atd.. Jméno souboru je automaticky generováno a to ve tvaru InfoDD.MM.RRRR_HH.MM.xml, příklad: Info20.4.2009_14.07.xml. Soubor se ukládá do složky Data v kořenovém adresáři programu. Uložení hodnot se provádí hned v několika případech. V prvním případě se uloží při spuštění měření, ve druhém pokud se změní během měření parametry časovače, ve třetím je-li měření přerušeno tlačítkem Stop a poslední případ je, když měření skončí (po doběhnutí časovače). Tímto způsobem se tedy eliminovala možnost ztráty informací například při „zatuhnutí“ PC, výpadku elektřiny a jiných nechtěných událostech, které ukončí

předčasně běh programu. Další výhodou je, že lze během měření upravovat poznámku, která se na konci měření uloží.

Druhý soubor je typu TXT – textový soubor. Do tohoto souboru jsou ukládány naměřené a vypočtené hodnoty. Jméno souboru je vytvářeno obdobným způsobem jako u info souboru, ale s tou změnou, že jméno souboru je ve tvaru HodnotyDD.MM.RRRR_HH.MM.txt, příklad Hodnoty20.4.2009_14.07.txt. Soubor je opět automaticky uložen do adresáře Data. Po startu měření se na začátku souboru vytvoří hlavička pro identifikaci a přehlednost uložených dat. Data se ukládají do sloupců. Ukázka uložených dat pro jeden senzor je uvedena na následujícím obrázku.

Cas	Napeti Kanal	Chyba	Faze	Teplota TC
[s]	101	[%]	[°]	111
0,0	0,5421	10,2768	0,0017	20,5388
60,0	0,5431	10,5540	0,0016	20,5882
120,0	0,5415	10,2559	0,0017	20,6534
180,0	0,5413	10,3747	0,0020	20,7273
240,0	0,5391	10,4364	0,0018	20,8026

Obrázek 31 Hlavička textového souboru.

Data se do souboru ukládají cyklicky, tj. vždy po každém měřicím cyklu a to jen poslední naměřené hodnoty. Nepřepisuje se tedy celý soubor od začátku. Tím lze opět zamezit ztrátě naměřených hodnot při pádu programu, nebo nějaké jiné chybě.

7.1.2.2 Načtení změřených hodnot

Načtení hodnot je možné ze záložky Protokol. Pro přehlednost práce s uloženými měřeními, byl vytvořen výpis adresáře Data, viz. obrázek 32. Dvojklikem na vybraný soubor v tabulce se hodnoty načtou do paměti a lze s nimi dále pracovat. Lze také otevřít soubory uložené i mimo defaultní adresář Data, kliknutím na ikonu složky se zeleným plus. Dále byla vytvořena vedle tabulky dvě tlačítka. První z nich je tlačítko Smazat soubor. Jak napovídá jeho název slouží pro mazání jednotlivých souborů označených v tabulce. Před smazáním se program zeptá, jestli má soubor opravdu smazat. Druhé tlačítko slouží pro refrešování seznamu naměřených dat. Jeho hlavní využití je ve chvíli, kdy obsluha během chodu

programu nahraje do adresáře Data již uložená měření z jiného umístění. Dalším prvkem pro zlepšení orientace v naměřených datech, je výpis hlavních informací o právě načtených měřeních. Příklad výpisu je uveden na obrázku 33 a zobrazuje se vedle tabulky výpisu změřených dat.

Načtení již změřených dat

Datum	Čas	Název měření	Měřil
20.4.2009	14.07	Test 2	Ondra
21.4.2009	13.10	Senzor 1	Nezadano
6.4.2009	10.01	Senzor 2	Nezadano
6.4.2009	10.02	Test	Nezadano
6.4.2009	10.18	Ochlazovani	Ondra

Použijte dvojklik pro načtení


 Smazat Soubor

 Refreš seznamu

Cesta k uloženým hodnotám :

D:\+++VUT+++Diplomka\DP\ProgramEXE\NTFlab4.0\Data\Info6.4.2009_15.21.xml



 Lze zvolit i jiné umístění souborů, pro načtení hodnot je nutné otevření příslušného XML souboru

Obrázek 32 Načtení uložených hodnot

Informace o načteném měření

Název měření : Ochlazovani
 Typ obvodu : Proudový obvod
 Jméno : Ondra
 Začátek měření : 6.4.2009 10:18
 Konec měření : 6.4.2009 10:48
 Délka měření : 0:30:00 [h:m:s]
 Perioda měření : 5 [s]
 Počet cyklů : 355
 Jména Senzorů : Senzor 1

Poznámka : zastaveno v pulce tj po 30 minutach- zmenou casovace

Obrázek 33 Informace o načteném měření

7.1.2.3 Filtrace, redukce naměřených hodnot

Ze strany zadavatele byl vznesen požadavek, aby aplikace umožňovala filtrovat již naměřená data. Proto pro korekci chyb způsobených různými elektrickými a elektromagnetickými rušeními je možnost data filtrovat pomocí třech druhů filtrů : Mediánem, Polynomickým filtrem a Savitzkyho filtrem. Parametry jednotlivých filtrů a položky, které se mají filtrovat lze samozřejmě volit viz. následující obrázek.

Aplikace filtrů na **načtená / naměřená** data Co přesně filtrovat a parametry filtrů

Filtrovat hodnoty

Mediánem

<input checked="" type="checkbox"/>	Napětí	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="v"/>	řád
<input checked="" type="checkbox"/>	Chyba	<input type="text" value="10"/>	<input type="button" value="v"/>	řád
<input checked="" type="checkbox"/>	Fáze	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="v"/>	řád
<input checked="" type="checkbox"/>	Teplota	<input type="text" value="10"/>	<input type="button" value="v"/>	řád

Obrázek 34 Filtrace hodnot

Pro obsluhu je vytvořena malá nápověda, k vidění je na obrázku 45, co který filtr nejlépe filtruje a jeho optimální nastavení. Práce s filtry je jednoduchá a nehrozí ztráta originálních naměřených hodnot. Filtrace se provede vždy po stisku tlačítka “Aplikuj filtry“ a kdykoliv se jde vrátit do výchozího stavu pomocí tlačítka “Zruš filtry“.

Dalším požadavkem bylo, aby se prováděla filtrace během měření. Byla tedy tato funkce vytvořena, ale postupem času se zjistilo, že to není tak výhodné. Sice se ukládají hodnoty nefiltrované, ale program pracuje a zobrazuje hodnoty filtrované, což při velkém počtu cyklů měření, tj. velkém počtu naměřených hodnot, a malém intervalu měření velice zatěžuje PC a může dojít k nekorektnímu běhu programu. Proto je doporučeno tuto možnost nevyužívat.

Pro datově (objemově) náročná měření lze načtená data redukovat. Velikost kroku redukce se nastavuje v políčku u tlačítka redukce, viz obrázek 35.

Redukce počtu naměřených hodnot

Urychlí práci s naměřenými / načtenými daty.

Vyberte krok redukce. Projeví se v tabulce i ve grafech.

Krok

Redukuj

Původní počet měření

355

Zpět

Redukovaný počet měření

71

Obrázek 35 Redukce počtu naměřených hodnot

Zadá-li se krok redukce 10, bude vybrána každá desátá naměřená hodnota. Samozřejmostí je, že z takto redukovaných dat lze vytvořit protokol. Po stisku tlačítka “Zpět“, se redukovaný počet dat zruší a data budou v původním tvaru.

Všechny funkce filtrů jsou dostupné ze záložky “Filtry“.

7.1.2.4 Protokol v MS EXCEL

Požadavkem bylo, aby výstupem z každého měření byl protokol vytvořený v MS EXCEL

Protokol lze vytvořit vždy po dokončení měření, nebo po načtení již změřených hodnot. Uživatel si může vždy zvolit jméno protokolu, pokud této možnosti nevyužije, jméno bude stejné jako jméno měření. Opět pro zlepšenou orientaci a zefektivnění práce uživatele, je zde uveden výpis adresáře “Protokoly“, do kterého se vytvořené protokoly ukládají. Protokoly lze samozřejmě z tohoto výpisu otvírat, jako tomu bylo u souborů s naměřenými daty.

Vytvoření a uložení protokolu v MS EXCEL

Jméno protokolu

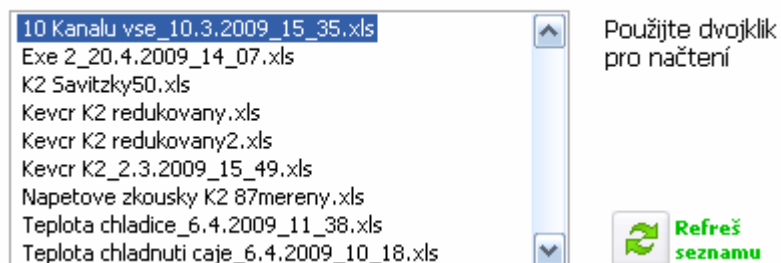
Defaultní

Vlastní



Obrázek 36 Vytvoření – volba jména protokolu

Seznam dříve zhotovených protokolů v MS EXCEL



Obrázek 37 Seznam vytvořených protokolů

Vytvoření protokolu je obslouženo v bloku “Ulož“, v němž je voláno subvi “UlozExcelHlavni.vi“. Pro formátování objektů v protokolu byla využita makra. Spouštění maker je ale implicitně MS EXCEL zakázáno, proto se musí v PC na kterém se má protokol vytvořit změnit úroveň zabezpečení na “Nízké“ a zaškrtnout políčko v záložce “Důvěryhodný vydavatel“ položku “Důvěřovat všem přístupům k projektu v jazyce Visual Basic“. Konečná forma protokolu je uvedena na následujícím obrázku. Protokol obsahuje sedm následujících záložek (listů): Hodnoty, přední stranu protokolu, tabulky hodnot ke konkrétním sensorům (kanálům), grafy průběhů napětí, chyb, fází a teplot(odporů). Na obrázku 38 je uvedena současná podoba přední strany protokolu. Jak je vidět, jsou zde uvedeny všechny klíčové informace o provedeném měření.

ABB Měření vlivu teploty na chyby senzorů

Název Měření	:	10 Kanálů NTF
Typ obvodu	:	Proudový obvod
Jméno	:	Ondřej Němec
Začátek měření	:	10.3.2009 15:35
Konec měření	:	10.3.2009 15:50
Délka měření	:	0:15:00 [h:m:s]
Perioda měření	:	115 [s]
Počet senzorů	:	10 [-]
Počet měření	:	10 [-]
Jméno referenčního senzoru	:	Měření Ref 10

Názvy a umístění senzorů

Výstupní napětí		Měřená teplota	
Kanál	Jméno senzoru	Kanál	Typ
101	Měření1	111	Termistor
102	Měření2	112	Termistor
103	Měření3	113	Termistor
104	Měření4	114	Termistor
105	Měření5	115	Termistor
106	Měření6	116	Termistor
107	Měření7	117	Termoclanek
108	Měření8	118	Termistor
109	Měření9	119	Termistor
110	Měření Ref 10	120	Termistor

Poznámka

Testovací měření

Obrázek 38 Titulní strana protokolu

Dále byla implementována funkce zamezující přepsání již vytvořeného protokolu novým protokolem se stejným jménem. Toto může především nastat při tvorbě několika různých protokolů ze stejných zdrojových dat při volbě implicitního jména protokolu. Nastane-li shoda jmen program se zeptá uživatele jestli má již existující protokol přepsat, nebo vytvořit nový s jiným jménem. Pokud uživatel zvolí volbu s novým jménem, tak se zobrazí zadávací textové pole pro nové jméno protokolu.

7.1.3 Blok uživatelské rozhraní, ovládání programu

Ovládací rozhraní programu (Frontpanel) se skládá ze šesti záložek. Jsou to : Měření, Tabulka, Grafy, Protokol, Filtry a Nastavení. Defaultní záložka po spuštění programu je záložka Měření. Pro rychlé přepínání mezi panely byly definovány klávesové zkratky využívající kombinaci kláves Shift + F1 až F6.

Mimo záložky jsou umístěny tři indikátory a tlačítko pro ukončení programu. První z indikátorů zobrazuje informace o aktuálním stavu programu tj. například: Vyčkávám neměřím, Inicializuji, Refrešuji seznamy, Vytvářím protokol a jiné. Druhý z indikátorů zobrazuje čas zbývající do ukončení měření. Poslední z indikátorů je umístěn pod logem ABB a ukazuje nastavené rozlišení monitoru. Program je vytvořen pro rozlišení 1024 x 768 pixelů a vyšší. Je-li nastavena hodnota nižší, obsluha je na to upozorněna, program běží dál, ale s tím rozdílem, že jsou aktivovány horizontální a vertikální posuvníky (croll bar), které se standardně nezobrazují. Tlačítko pro ukončení programu se nachází v pravém horním rohu. Je k němu přidružena klávesová zkratka a to stisk Esc. Program lze tímto tlačítkem ukončit pouze pokud měření neběží.

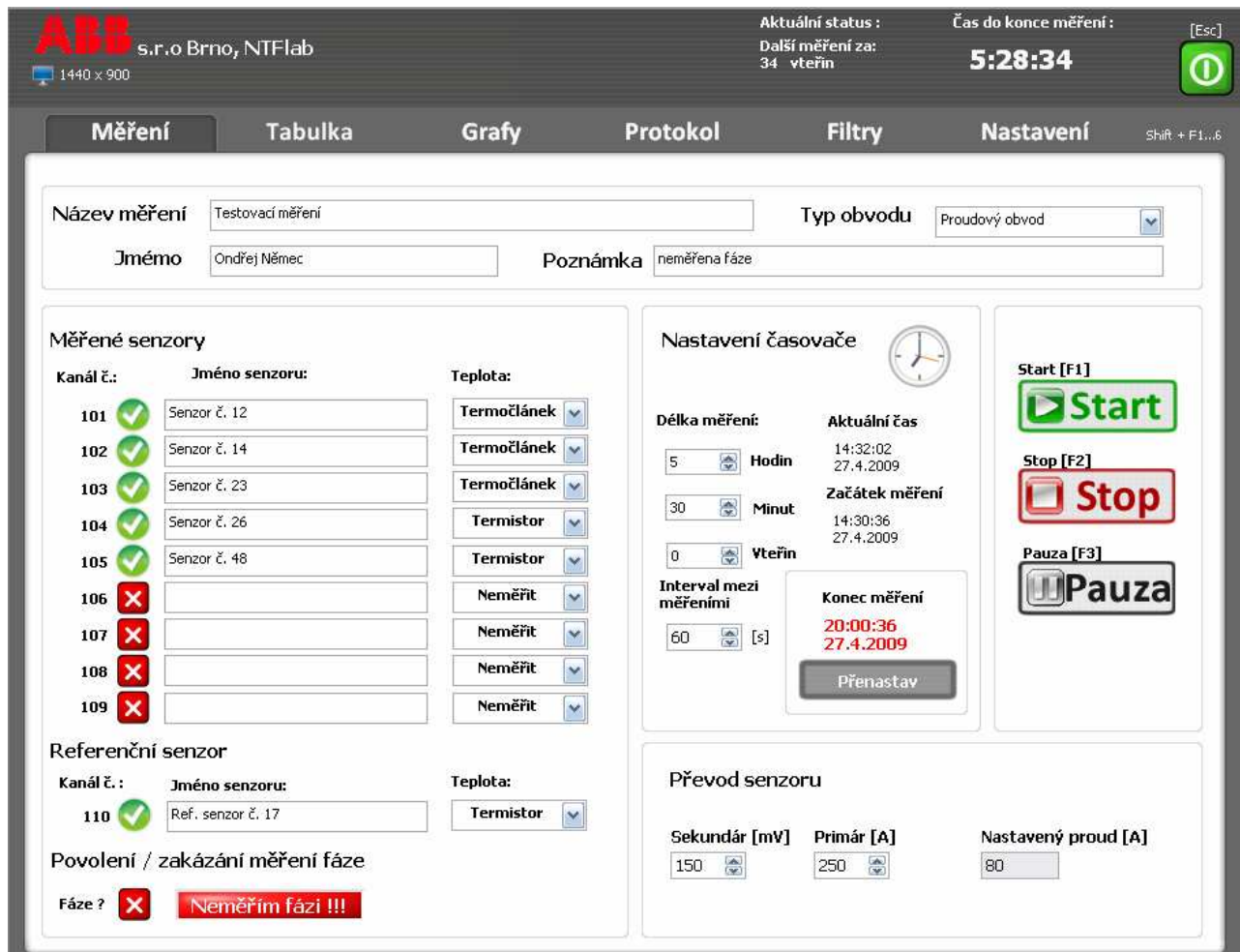
V programu byla zakomponována pravidla, která zamezují neoprávněnému stisku některých tlačítek. Tato pravidla budou popsána v následujících kapitolách.

Při režimu programování aplikace, tj. když je aplikace spuštěna přes LabVIEW jsou na hlavním panelu k dispozici další čtyři pomocné záložky P1 až P4. Slouží především pro práci s pomocnými objekty. Implicitně jsou po startu programu nepřístupné a nezobrazují se.

Celkový pohled na přední panel programu je uveden v následující kapitole.

7.1.3.1 Záložka Měření

Jde o nejdůležitější záložku v programu. Její podoba je uvedena na obrázku 39. Dále budou specifikovány funkce jednotlivých objektů. Pro všechna textová zadávací pole v této záložce platí následující. Vyplnění je nepovinné, pokud tedy obsluha na začátku měření nic nevyplní, generují se všechny názvy automaticky a to na hodnotu Nezadáno. Tuto hodnotu ale lze během měření kdykoliv přepsat a tyto nové hodnoty se na konci měření uloží.

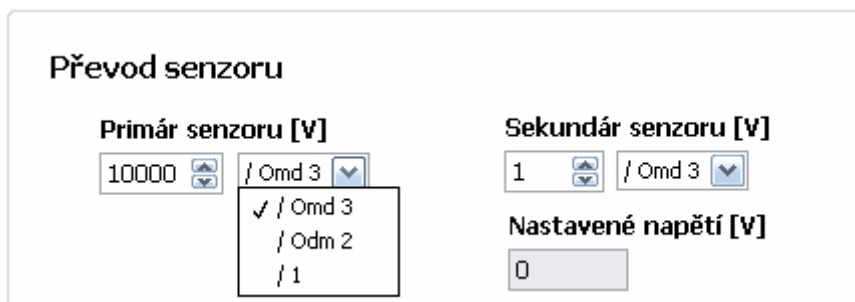


Obrázek 39 Přední panel měřicího programu

Název měření: Jak napovídá nadpis, zde si uživatel může pojmenovat své měření.

Typ odvodu: Zde se specifikuje, jaký je použit typ zapojení napájecího okruhu. Pro proudová měření se volí “Proudový obvod“ a pro napěťová měření se volí “Napěťový obvod“. Výběr typu obvodu má také vliv na zobrazení položky Převod senzoru viz. následující odstavce.

Převod senzoru: Slouží pro odečet aktuálně nastaveného proudu / napětí v měřícím obvodu. Na obrázku 40 je vidět nastavení a zobrazení amplitudy pro napěťový senzor.



Převod senzoru

Primár senzoru [V]
 / Omd 3
 / Omd 3
 / Odm 2
 / 1

Sekundár senzoru [V]
 / Omd 3

Nastavené napětí [V]

Obrázek 40 Převod napět'ového senzoru

Jméno: Zde se vkládá jméno uživatele, který prováděl měření.

Poznámka: Toto pole slouží pro vkládání poznámek, vytvořeno bylo především proto, vzniknou-li během měření nějaké nečekané události, tak si lze informace o těchto událostech takto zaznamenat např. otevření klimatické komory, vypnutí napájení atd..

Měřené senzory: Zde se volí počet měřených senzorů, volitelně zadávají jejich jména a volí druh měření teploty. U každé položky je uvedeno číslo kanálu multiplexoru, na kterém je senzor připojen. Pro povolení měření na určitém kanálu, je zapotřebí kliknout na ikonu červeného křížku tak, aby se změnila jeho podoba na zelené kolečko s potvrzením - toto platí i u následujících tlačítek stejného tvaru. Zadat jména a typ měření teplot lze vždy až po povolení měření na určitém kanálu.

Referenční senzor: Zde se povoluje / zakazuje měření výstupního napětí referenčního senzoru na kanále 110, popřípadě teploty (odporu) na kanále 120.

Povolení / zakázání měření fáze: Fázi lze měřit pouze za dvou předpokladů. První je, že musí být měřen referenční senzor a alespoň jeden měřený senzor. Druhý předpoklad je, že musí být připojen a zapnut čítač Pendulum CNT-90. Pokud tyto požadavky nejsou splněny, program neumožní spuštění měření a informuje uživatele chybovou hláškou.

Nastavení časovače: Slouží pro nastavení délky měření a intervalu mezi měřeními, což bylo již detailně popsáno v kapitole 7.1.1.2.

Ovládací tlačítka: Celkem jsou k dispozici tři tlačítka: Start, Stop a Pauza. Po stisku tlačítka "Start", nebo "F1" se spustí měření. Zároveň se programově zamezí opětovnému stisku následujících tlačítek: Start, Konec programu,

výběr kanálu měřených senzorů, povolení měření fáze. Naopak se aktivuje možnost stisku tlačítek “Stop“ a “Pauza“. Obdobné chování má tlačítko “Stop“ – “F2“. Po jeho stisku se zakáže použití “Pauza“ a povolí se stisk “Start“ a “Konec programu“. Při stisku tlačítka “Pauza“ se pozastaví měření, zamezí se stisku “Start“, “Stop“ a “Konec programu“. Měření se opětovně uvede do chodu dalším stiskem tlačítka “Pauza“. Program lze ukončit pouze když neprobíhá měření.

7.1.3.2 Tabulka

V záložce Tabulka se nachází přehledná tabulka naměřených / načtených hodnot. Tabulka umožňuje zobrazit hodnoty ze všech měřených senzorů najednou, nebo jen jednoho určitého senzoru (kanálu).

Zobrazit tabulku z kanálu :

Čas	Relat. čas	Název senzoru	Kanál	Napětí [V]	Chyba [%]	Fáze [°]	Teplota [°C]	Typ měření	Kanál
15:49	0:00:00	Testovací 1	101	0.5421	10.2768	0.0017	20.5388	Termistor	111
15:49	0:00:00	referreencni	110	0.4915	0.0000	0.0000	20.6544	Termistor	120
15:50	0:01:00	Testovací 1	101	0.5431	10.5540	0.0052	20.5882	Termistor	111
15:50	0:01:00	referreencni	110	0.4912	0.0000	0.0018	20.6563	Termistor	120
15:51	0:02:00	Testovací 1	101	0.5415	10.2559	0.0071	20.6534	Termistor	111
15:51	0:02:00	referreencni	110	0.4912	0.0000	0.0017	20.6587	Termistor	120
15:52	0:03:00	Testovací 1	101	0.5413	10.3747	0.0047	20.7273	Termistor	111
15:52	0:03:00	referreencni	110	0.4904	0.0000	0.0028	20.6608	Termistor	120
15:53	0:04:00	Testovací 1	101	0.5391	10.4364	0.0010	20.8026	Termistor	111
15:53	0:04:00	referreencni	110	0.4882	0.0000	0.0020	20.6630	Termistor	120
15:54	0:05:00	Testovací 1	101	0.5392	10.5491	0.0041	20.8790	Termistor	111
15:54	0:05:00	referreencni	110	0.4877	0.0000	0.0010	20.6651	Termistor	120
15:55	0:06:00	Testovací 1	101	0.5381	10.5004	0.0026	20.9493	Termistor	111
15:55	0:06:00	referreencni	110	0.4870	0.0000	0.0006	20.6670	Termistor	120
15:56	0:07:00	Testovací 1	101	0.5411	10.5332	0.0035	20.9949	Termistor	111
15:56	0:07:00	referreencni	110	0.4895	0.0000	0.0034	20.6691	Termistor	120
15:57	0:08:00	Testovací 1	101	0.5414	10.5400	0.0055	21.0469	Termistor	111
15:57	0:08:00	referreencni	110	0.4898	0.0000	0.0011	20.6710	Termistor	120
15:58	0:09:00	Testovací 1	101	0.5418	10.6631	0.0048	21.1002	Termistor	111
15:58	0:09:00	referreencni	110	0.4896	0.0000	0.0047	20.6727	Termistor	120
15:59	0:10:01	Testovací 1	101	0.5397	10.4330	0.0018	21.1507	Termistor	111
15:59	0:10:01	referreencni	110	0.4887	0.0000	0.0000	20.6747	Termistor	120
16:00	0:11:01	Testovací 1	101	0.5392	10.5446	0.0042	21.1959	Termistor	111
16:00	0:11:01	referreencni	110	0.4878	0.0000	0.0012	20.6769	Termistor	120
16:01	0:12:01	Testovací 1	101	0.5401	10.5572	0.0022	21.2355	Termistor	111
16:01	0:12:01	referreencni	110	0.4886	0.0000	0.0000	20.6782	Termistor	120
16:02	0:13:01	Testovací 1	101	0.5405	10.5085	0.0040	21.2778	Termistor	111
16:02	0:13:01	referreencni	110	0.4891	0.0000	0.0018	20.6800	Termistor	120
16:03	0:14:01	Testovací 1	101	0.5479	10.4729	0.0008	21.3257	Termistor	111
16:03	0:14:01	referreencni	110	0.4960	0.0000	0.0000	20.6819	Termistor	120
16:04	0:15:01	Testovací 1	101	0.5469	10.5041	0.0011	21.3705	Termistor	111
16:04	0:15:01	referreencni	110	0.4949	0.0000	0.0029	20.6841	Termistor	120

Obrázek 41 Tabulka naměřených / načtených hodnot

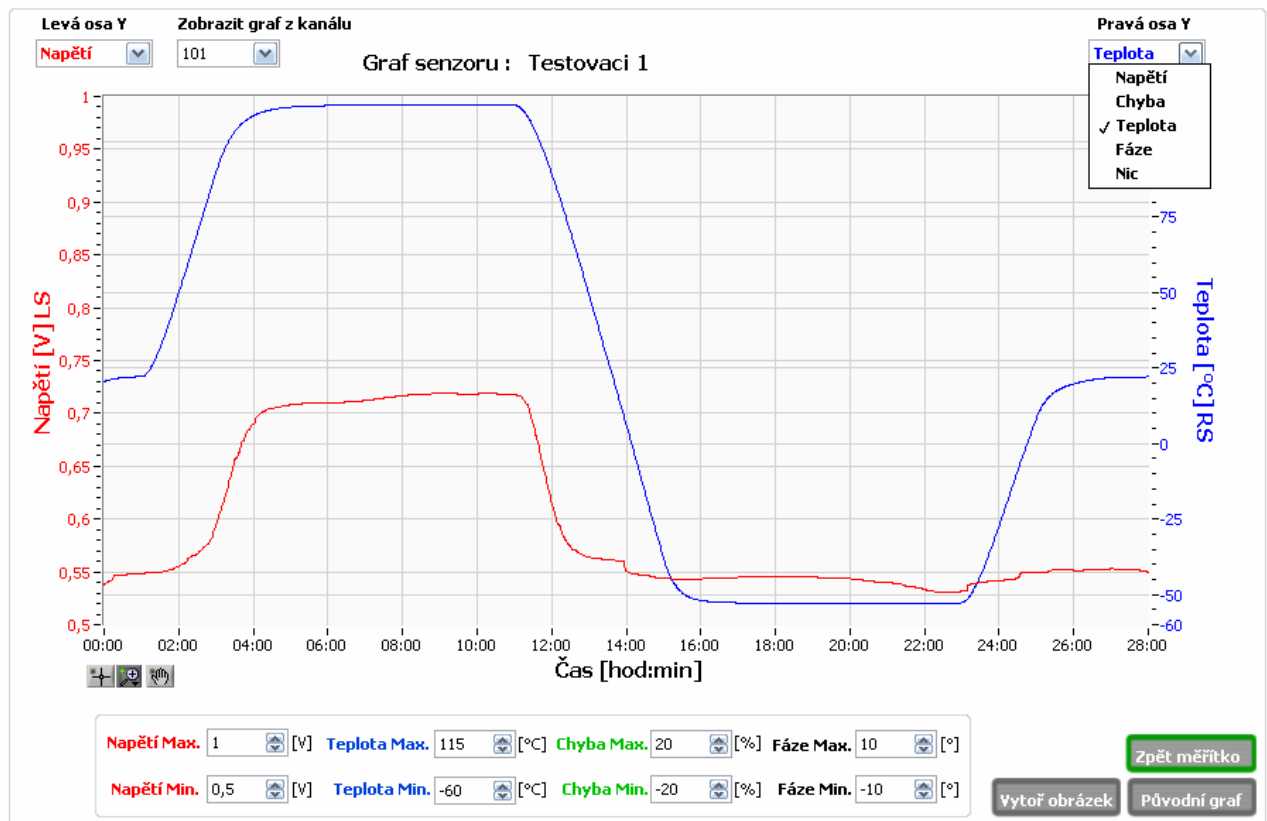
7.1.3.3 Grafy

Záložka Grafy obsahuje jeden multifunkční graf a několik ovládacích prvků. Jak je vidět z obrázku 42, graf umožňuje používat dvě (vertikální) osy Y.

Na ose Y mohou být zobrazeny průběhy napětí, chyb, teploty, fáze. Pro přehlednost při použití dvou os Y jsou průběhy barevně rozlišeny. Na ose X je vynesena relativní čas měření. Měřítka všech os se mění automaticky, nebo lze po stisku tlačítka “Ruční měřítka” zadat parametry grafu ručně. Ukázka grafu s ručními měřítka je uvedena na obrázku 43 . Graf umožňuje přiblížení (zoom) určité části průběhu. Pro návrat k původním měřítkům grafu slouží tlačítka “Původní graf”. Pomocí rolovacího menu s názvem “Zobrazit graf” z kanálu lze zobrazovat průběhy z jednotlivých kanálů (senzorů). Dále zde byla vytvořena možnost si graf uložit do obrázku. Po stisku tlačítka “Vytvoř” se zobrazí malé okno podprogramu a zeptá se na jméno obrázku a typ souboru. K dispozici je uložení do třech různých formátů a to : BMP, JPEG a BMP. Obrázek se uloží do složky “Grafy” v kořenovém adresáři programu.



Obrázek 42 Ukázka zobrazení grafu



Obrázek 43 Graf s ručním měřítkem

7.1.3.4 Protokol

Záložka protokol je zobrazena na následujícím obrázku. Všechny objekty, které se na ní vyskytují byly již popsány v kapitolách 7.1.2.2 a 7.1.2.4, proto zde nebudou znovu popisovány.

Načtení již změřených dat

Datum	Čas	Název měření	Měřil
20.4.2009	14.07	Test 2	Ondra
21.4.2009	13.10	Senzor 1	Nezadano
6.4.2009	10.01	Senzor 2	Nezadano
6.4.2009	10.02	Test	Nezadano
6.4.2009	10.18	Ochlazovani	Ondra

Použijte dvojklik pro načtení

✖ Smazat Soubor
↻ Refreš seznamu

Cesta k uloženým hodnotám :

D:\++++VUT+++Diplomka\DP\ProgramEXE\NTFlab4_EXE\Data\Info6.4.2009_10.18.xml

XML

ℹ Lze zvolit i jiné umístění souborů, pro načtení hodnot je nutné otevření příslušného XML souboru

Informace o načteném měření

Název měření : Ochlazovani
 Typ obvodu : Proudový obvod
 Jméno : Ondra
 Začátek měření : 6.4.2009 10:18
 Konec měření : 6.4.2009 10:48
 Délka měření : 0:30:00 [h:m:s]
 Perioda měření : 5 [s]
 Počet cyklů : 355
 Jména Senzorů : Senzor 1

Poznámka : zastaveno v pulce tj po 30 minutach- zmenou casovace

Protokol

Protokol bude vytvořen z naměřených, nebo načtených hodnot

Vytvoření a uložení protokolu v MS EXCEL

Jméno protokolu

Defaultní

Vlastní

X Protokol

ℹ Vytvoření protokolu může trvat delší dobu, záleží na počtu naměřených / načtených hodnot

Seznam dříve zhotovených protokolů v MS EXCEL

10 Kanalu vse_10.3.2009_15_35.xls
 Exe_2_20.4.2009_14_07.xls
 K2 Savitzky50.xls
 Kevcr K2 redukovany.xls
 Kevcr K2 redukovany2.xls
 Kevcr K2_2.3.2009_15_49.xls
 Napetove zkousky K2 87mereny.xls
 Teplota chladice_6.4.2009_11_38.xls

Použijte dvojklik pro načtení

↻ Refreš seznamu

Obrázek 44 Záložka Protokol

7.1.3.5 Filtry

Funkce objektů z této záložky byly již popsány v kapitole 7.1.2.3. Na následujícím obrázku je uveden vzhled této záložky.

Filtrace naměřených / načtených hodnot

Aplikace filtrů v **reálném** čase

Vypnuta

Filtraci v reálném čase se doporučuje nechat vypnutou, může vlivem velkého počtu změřených hodnot ohrozit stabilitu programu.

Aplikace filtrů na **načtená / naměřená** data

Co přesně filtrovat a parametry filtrů

Filtrovat hodnoty
Mediánem

- Napětí** 10 řád
- Chyba** 1 řád
- Fáze** 1 řád
- Teplota** 5 řád

Polynomický filtr, 1. řád se chová jako lineární filtr
Median slouží pro filtraci spickek
Savitzky-Golay - dop. hodnota 50

Redukce počtu naměřených hodnot

Urychlí práci s naměřenými / načtenými daty.
Vyberte krok redukce. Projeví se v tabulce i ve grafech.

Krok 3

Původní počet měření	PuvPocMer
Redukovaný počet měření	RedPocMer
	355
	118

Obrázek 45 Záložka Filtry

7.1.3.6 Nastavení

V této záložce se před začátkem měření nastavují parametry měřicí ústředny Agilent 34970A a parametry převodu odporu na teplotu při měření s termistory. Tato problematika byla již popsána v kapitole 7.1.1.4. Dále je zde uveden výpis počtu sepnutí jednotlivých relé instalovaných na zásuvné kartě – multiplexoru. Výrobce udává životnost relé minimálně milion sepnutí. Celková podoba této záložky je uvedena na následujícím obrázku.

Nastavení měřicí ústředny Agilent 34970

Napěťový rozsah: 10 V

Odporový rozsah: 10 kOhm

Typ termočláčku: J

DMM OFF

Integrovaný multimetr je při měření fáze odpojen

Přepočítání odporu na teplotu

Konstanty polynomu třetího řádu:

x^3 : 9E-8 x^2 : -0,0003 x : 0,4892 konstanta: -180,64

Přepočítání odporu na teplotu u termistrů dle polynomu

Měřit pouze teplotu (tj. neměřit napětí ani fázi)

Přepočítávat **Vše**

Počet cyklů sepnutí relé na jednotlivých kanálech

(Životnost relé cca 1 000 000 sepnutí)

Kanál č. 101	21658
Kanál č. 102	21114
Kanál č. 103	21252
Kanál č. 104	11271
Kanál č. 105	1330
Kanál č. 106	1581
Kanál č. 107	1488
Kanál č. 108	1231
Kanál č. 109	1109
Kanál č. 110	19157
Kanál č. 111	9872
Kanál č. 112	9868
Kanál č. 113	9925
Kanál č. 114	11710
Kanál č. 115	496
Kanál č. 116	1063
Kanál č. 117	4109
Kanál č. 118	1053
Kanál č. 119	501
Kanál č. 120	6887

Obrázek 46 Záložka Nastavení

8. STANOVENÍ NEJISTOT MĚŘENÍ

Tento systém byl především vyvíjen pro sledování závislostí chyb senzorů na teplotě a ne pro přesné stanovování chyb testovaných senzorů. Pro přesné stanovení chyby senzoru, jak napěťové, tak fázové je k dispozici velice přesný měřicí systém Zera. Proto požadavky kladené na přesnost měření nejsou tedy tak vysoké jako při stanovování chyb senzorů.

8.1 CHYBY MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ

V následující tabulce jsou uvedeny katalogové chyby přístrojů při nejpoužívanějších rozsazích. Chyba přístroje (pro měření napětí a odporu) je vyjádřena vztahem $\pm (\% \text{ čtení} + \% \text{ rozsahu})$.

Tabulka 1: Chyby měření měřicí ústředny Agilent 34970A

Typ měření	Rozsah	Přesnost
Měření střídavého napětí	100mV – 100V	0,05 + 0,04
Měření odporu	1 kΩ	0,008 + 0,001
Měření odporu	10 kΩ	0,008 + 0,001
Měření teploty termočlánkem typu J	-150°C – 1200°C	1°C

Výrobce čítače Pendulum CMT-90 neuvádí přesnost měření fáze. Udává pouze rozlišení a to 0,001° do 10 kHz.

8.1.1 Příklad výpočtu chyby přístroje

Pro výstupní napětí ze senzoru o hodnotě 1V na rozsahu 10 V je celková chyba přístroje:

$$\text{Chyba čtení: } 0,05 \times 1V = 50mV \quad (8.1)$$

$$\text{Chyba rozsahu: } 0,04 \times 10V = 400mV \quad (8.2)$$

$$\text{Celková chyba je tedy } 50mV + 400mV = 450mV \quad (8.3)$$

Zde je vidět, jak velkou roli hraje vhodná volba rozsahu multimetru. Bohužel tento rozsah musí být použit u měření napěťových senzorů při jejich jmenovitém napětí během klimatické zkoušky. Vlivem velké závislosti výstupního napětí senzoru na teplotě amplituda napětí překoná hodnotu 1V (nelze tedy použít nižší rozsah 1V).

Při měření odporu termistoru o hodnotě 550Ω na rozsahu $10k\Omega$ je celková chyba odečtu přístroje:

$$\text{Chyba čtení: } 0,008 \times 550\Omega = 4,4\Omega \quad (8.4)$$

$$\text{Chyba rozsahu: } 0,001 \times 10k\Omega = 10\Omega \quad (8.5)$$

$$\text{Celková chyba je tedy } 4,4\Omega + 10\Omega = 14,4\Omega \quad (8.6)$$

Zde je opět vidět nevhodně zvolený rozsah multimetru. Tento rozsah ale musí být použit, měří-li se při teplotách kolem 115°C , protože hodnota použitého termistoru v senzoru překročí $1k\Omega$.

Z těchto výpočtů plyne, že pro zajištění dostatečné přesnosti měření je potřeba si dopředu zjistit, jakých amplitud budou dosahovat měřené veličiny a tomu přizpůsobit nastavení přístroje.

Tyto údaje však neříkají nic o tom, jak jsou případné chyby měřícího přístroje rozloženy, proto je nutné vypočítat nejistoty měření.

8.2 NEJISTOTY MĚŘENÍ

Výsledkem procesu měření je naměřená hodnota, která nemusí vždy odpovídat skutečné hodnotě. Měřením tak získáváme jen odhad skutečné hodnoty, protože měření je ovlivněno například měřidlem, nestálými podmínkami měření, nedokonalostí metod měření, atd. Výsledné hodnoty tedy změříme s určitou nejistotou.

8.2.1 Teorie nejistot měření

Vyjádření výsledku měření včetně nejistoty měření umožňuje srovnání s jinými laboratořemi či podniky. Je uznáván mezinárodně a umožňuje jednotnou interpretaci výsledků. Dále umožňuje srovnání výsledků zkoušek nových výrobků. Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření – střední hodnotě. Charakterizuje rozptyl hodnot, které jsou přisuzovány naměřené veličině s určitou pravděpodobností. Každé měření je zatíženo chybami měření a tak hovoříme o nejistotě měření. Nejistotu měření způsobuje: Měřidlo, etalon, pracovník, prostředí, metoda měření atd.[8].

8.2.1.1 Standardní nejistoty typu A

Jedná se o základní kvantitativní charakteristiku nejistoty měření. Označuje se symbolem “ u “ z anglického “uncertainty“ – označení u_A . Odpovídá v podstatě náhodným chybám dle klasického přístupu. Jejich příčiny se považují za neznámé a hodnota nejistoty typu A klesá s počtem měření. Proto se požaduje v krajním případě 5, optimálně 10 a více měření. Je vyhodnocena pomocí statistických metod zpracování naměřených hodnot a je charakterizována výběrovou směrodatnou odchylkou výběrového průměru [8].

Pokud není možné provést nejméně 10 měření, je nutné provést doplňkovou korekci, která má za úkol zohlednit malý počet měření. Standardní nejistotu typu A lze určit ze vztahu[9]:

$$u_A = k_s s_x \quad (8.7)$$

Kde velikost koeficientu k_s závisí právě na počtu měření. Závislost popisuje následující tabulka.

Tabulka 2: Závislost velikosti koeficientu k_s na počtu měření.

Počet měření	2	3	4	5	6	7	8	9	10 a více
k_s	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Vztah pro výpočet nejistoty typu A:

$$u_a = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8.8)$$

kde \bar{x} se vypočte jako:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.9)$$

8.2.1.2 Standardní nejistoty typu B

Nejistoty určované tímto způsobem jsou takové, které se zjišťují jinými než statistickými metodami z opakovaných měření. Jejich nejčastějšími zdroji jsou nedokonalosti techniky, metod, prostředí, použité konstanty, zjednodušení apod. Pro měření přímá se jedná především o hodnoty známých korekcí použitého

přístroje, chyby metody, vlivy okolního prostředí a jejich změny, vlivy operátora atd., zatímco při nepřímém měření budou dominantní především různé linearizace a zjednodušující úpravy výpočtových vzorců a vztahů k určení hledané výsledné veličiny a zaokrouhlování použitých konstant.

8.2.1.2.1 Postup při určování nejistot typu B dle [9]

- Vytipují se možné zdroje nejistot $Z_1, Z_2 \dots Z_n$.
- Určí se standardní nejistoty typu B u_{Bz_j} každého zdroje nejistot buď z dokumentace, nebo na základě zkušenosti odhadem. Možný postup odhadu:
 - Z měřené hodnoty se odhadne maximální rozsah změn $\pm D_{zmax}$ a to tak aby překročení velikosti rozsahu D_{zmax} bylo co nejméně pravděpodobné.
 - Vybere se rozdělení pravděpodobností, které nejlépe vystihuje výskyt hodnot v intervalu $\pm D_{zmax}$ a z tabulky dané pravděpodobnosti se vybere konstanta $K (\chi)$.

Obvykle se vybírá ze dvou typů rozdělení pravděpodobnosti a to normálního rozdělení a rovnoměrného rozdělení. Normální je použito pro případ, kdy pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu je vyšší než výskyt hodnot v krajích intervalu. Rovnoměrné rozdělení je použito v případě, že rozdělení pravděpodobností odchylek v intervalu $\pm D_{zmax}$ je přibližně stejné nebo jej není možné spolehlivě posoudit.

- Určí se nejistoty typu B z jednotlivých zdrojů Z_j ze vztahu:

$$u_{Bz} = \frac{\Delta_{zmax}}{\chi} \quad (8.10)$$

- Celková nejistota typu B je tedy dána geometrickým součtem nejistot jednotlivých zdrojů:

$$u_B = \sqrt{\sum_{z=1}^n u_{Bz}^2} \quad (8.11)$$

8.2.1.3 Kombinovaná - celková standardní nejistota

Kombinovaná, nebo-li celková nejistota, se obvykle značí u_c nebo pouze u . Vzniká geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B.

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (8.12)$$

8.2.1.4 Rozšířená standardní nejistota

Rozšířená standardní nejistota U se vypočte podle vztahu níže[9]:

$$U = K_r \cdot u \quad (8.13)$$

kde se provede vynásobení koeficientu rozšíření K_r a kombinované nejistoty měření u . Při výpočtu standardní kombinované nejistoty bylo použito koeficientu rozšíření 1, z čehož plyne, že nejistota u byla určena s pravděpodobností 68% (za předpokladu normálního rozložení). V praxi požadujeme pravděpodobnost vyšší, proto použijeme nejčastěji $K_r = 2$, tj. pravděpodobnost 95 %. Hodnoty koeficientů rozšíření a k nim přiřazených pravděpodobností určuje tabulka 3.

Tabulka 3: Stanovení velikosti pravděpodobnosti P v závislosti na koeficientu rozšíření K_r .

Koeficient rozšíření K_r	Pravděpodobnost P
1	68 %
2	95 %
2,58	99 %
3	99,7 %

8.2.2 Vypočtené nejistoty měření

Celkem byly stanoveny nejistoty měření pro všechny měřené veličiny.

8.2.2.1 Postup měření

Pro správné statistické vyhodnocení standardních nejistot typu A bylo každé měření desetkrát opakováno. Měření hodnot odporu termistorů probíhalo při pokojové teplotě a byly zvoleny dva nejpoužívanější rozsahy, jak je vidět v tabulce 4. Pro měření napětí byl využit kombinovaný senzor a to jak jeho napěťová část tak proudová část. Měřilo se při pracovních hodnotách proudu a napětí, tj. 250A a 17,5kV. Opět byly zvoleny dva nejpoužívanější rozsahy, jak je vidět v tabulce 5. Při měření teploty pomocí termočlánku byl termočlánek vložen v nádobě s olejem a měřilo se při pokojové teplotě. Naměřené a vypočtené hodnoty nejistot jsou uvedeny v tabulce 6. Pro měření fáze bylo opět využito kombinovaných senzorů

s tím rozdílem, že jeden ze senzorů byl umístěn v klimatické komoře a druhý vně klimatické komory. V klimatické komoře byla nastavena teplota 115°C a to z toho důvodu, že při pokojové teplotě je fáze napětí mezi dvěma senzory nulová. Měření probíhalo při ustálené teplotě (prohřátí) uvnitř senzoru. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Podmínky měření:

Teplota okolí: $22,8^{\circ}\text{C}$

Relativní vlhkost: $28,3\%$

Atmosférický tlak: 1012hPa

8.2.2.2 Naměřené a vypočtené hodnoty

Tabulka 4: Stanovení nejistoty měření odporu termistoru

Termistor	I. měření	II. měření	III. měření	IV. měření	V. měření	VI. měření	VII. měření	VIII. měření	IX. měření	X. měření
Rozsah	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
1 k Ω	591,504	591,502	591,504	591,503	591,505	591,502	591,508	591,506	591,503	591,502
10 k Ω	589,521	589,522	589,518	589,524	589,522	589,524	589,521	589,526	589,525	589,522

Termistor	Průměr	Nejistota A	Nejistota B	Kombinovaná nejistota.	Rozšířená nejistota.	Výsledný odpor		
Rozsah	[Ω]	[m Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]		
1 k Ω	591,504	0,623	3,309	3,309	6,619	591,504	±	6,619
10 k Ω	589,523	0,734	8,496	8,496	16,993	589,523	±	16,993

Tabulka 5: Stanovení nejistoty měření střídavého napětí

Napětí	I. měření	II. měření	III. měření	IV. měření	V. měření	VI. měření	VII. měření	VIII. měření	IX. měření	X. měření
Rozsah	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
1 V	0,15022	0,15022	0,15021	0,15020	0,15024	0,15023	0,15020	0,15021	0,15020	0,15023
10 V	1,10023	1,10027	1,10039	1,10018	1,10032	1,10029	1,10025	1,10035	1,10018	1,10027

Napětí	Průměr	Nejistota A	Nejistota B	Kombinovaná nejistota.	Rozšířená nejistota.	Výsledné napětí		
Rozsah	[V]	[mV]	[V]	[V]	[V]	[V]		
1 V	0,15022	0,00452	0,02743	0,02743	0,05486	0,15022	±	0,05486
10 V	1,10027	0,02155	0,26270	0,26270	0,52540	1,10027	±	0,52540

Tabulka 6: Stanovení nejistoty měření teploty pomocí termočlásku

Teplota	I. měření	II. měření	III. měření	IV. měření	V. měření	VI. měření	VII. měření	VIII. měření	IX. měření	X. měření
Typ TC	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
J	22,837	22,832	22,832	22,830	22,819	22,828	22,828	22,823	22,832	22,830

Teplota	Průměr	Nejistota A	Nejistota B	Kombinovaná nejistota.	Rozšířená nejistota.	Výsledná teplota		
Typ TC	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]		
J	22,829	0,002	0,577	0,577	1,155	22,829	±	1,155

Tabulka 7: Stanovení nejistoty měření fáze dvou průběhů střídavého napětí

Fáze	I. měření	II. měření	III. měření	IV. měření	V. měření	VI. měření	VII. měření	VIII. měření	IX. měření	X. měření
Směr	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
A - B	2,9524	2,8925	2,8656	2,9817	2,8408	2,9154	2,8053	2,8247	2,8775	2,8889

Fáze	Průměr	Nejistota A	Nejistota B	Kombinovaná nejistota.	Rozšířená nejistota.	Výsledná fáze		
Směr	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]		
A - B	2,8845	0,0174	0,0882	0,0889	0,1798	2,8845	±	0,1798

8.2.2.3 Příklad výpočtu

Nejistota A pro tabulku 4 rozsah 1 kΩ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} (591,504 + 591,502 + 591,504 + 591,503 + 591,505 + 591,502 + 591,508 + 591,506 + 591,503 + 591,502) = 591,504 \Omega \quad (8.14)$$

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{90} \left((591,504 - 591,504)^2 + (591,502 - 591,504)^2 + (591,504 - 591,504)^2 + (591,503 - 591,504)^2 + (591,505 - 591,504)^2 + (591,502 - 591,504)^2 + (591,508 - 591,504)^2 + (591,506 - 591,504)^2 + (591,503 - 591,504)^2 + (591,502 - 591,504)^2 \right)} = 0,623 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (8.15)$$

Nejistota B pro tabulku 4 rozsah 1 kΩ :

Vychází se z chyby přístroje kterou udává vztah ± (% čtení + % rozsahu).

$$\delta = (0,008\% \text{ čtení} + 0,001\% \text{ rozsahu}) = (0,008\% \cdot 591,504 + 0,001\% \cdot 1000) = 5,732\Omega \quad (8.16)$$

$$u_B = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{5,723}{\sqrt{3}} = 3,309\Omega \quad (8.17)$$

Nejistota B pro tabulku 7:

Nejistota typu B při měření fáze byla odhadnuta dle postupu, který je popsán v kapitole 8.2.1.2.1 .

$$u_{BZ} = \frac{\Delta_{z \max}}{\chi} = \frac{2,9817 - 2,8053}{2} = 0,0882^\circ \quad (8.18)$$

$$u_B = \sqrt{\sum_{z=1}^n u_{BZ}^2} = \sqrt{u_{BZ}^2} = 0,0882^\circ \quad (8.19)$$

Kombinovaná nejistota u pro tabulku 4 rozsah $1 \text{ k}\Omega$:

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{(0,623 \cdot 10^{-3})^2 + 3,309^2} = 3,309\Omega \quad (8.20)$$

Rozšířená nejistota U pro tabulku 4 rozsah $1 \text{ k}\Omega$:

$$U = K_r \cdot u = 2 \cdot 3,309 = 6,619\Omega \quad (8.21)$$

9. PROVEDENÁ MĚŘENÍ

Během vývoje a testování funkčnosti programu bylo již provedeno několik měření. Program byl využit například při následujících měřeních:

- Stanovení napěťové / proudové, teplotní a fázové chyby měřených senzorů a dalších různých kombinací měření zmiňovaných chyb.
- Ověřování závislosti odporů termistorů na teplotě.
- Sledování vytvrzování epoxidové směsi při tuhnutí ve formě.

V následujících dvou kapitolách jsou uvedeny fotografie ze stanovení napěťové a fázové chyby senzoru v závislosti na teplotě a sledování chladnutí (tuhnutí) epoxidu ve formě.

Během testování programu na různých PC bylo zjištěno, že na použitém PC musí být nastavena česká znaková sada. Tato volba je přístupná z Start – Ovládací panely – Místní a jazykové nastavení. To z toho důvodu, že např. při nastavení znakové sady angličtina(Spojené státy) je desetinný oddělovač tečka a v české jazykové sadě čárka.

9.1 STANOVENÍ NAPĚŤOVÉ A FÁZOVÉ CHYBY PŘI TEPLOTNÍCH CYKLECH

Celá situace je znázorněna na následujících obrázcích. Bohužel díky ochraně dat zde nemohou být prezentovány naměřené výsledky a typ senzoru. Pro napájení byl použit vysokonapěťový transformátor HIGH VOLT, klimatická komora Vötsch, dva napěťové senzory, měřicí ústředna Agilent 34970A, čítač Pendulum CNT-90 a měřicí program NTFlab spolu s přípravky. Jelikož se jednalo o měření pomocí vysokého napětí, bylo potřeba celou oblast měření zabezpečit proti dotyku živých částí obvodu. Celé měřicí místo bylo ohraničeno a referenční sensor přikryt lepenkovou krabicí, jak je vidět na následujícím obrázku. Výsledkem bylo, že napěťová a fázová chyba je velice závislá na teplotě. Tyto chyby se stanovují proto, aby bylo možné v ochranném relé, do kterého je senzor připojen, korigovat měřené hodnoty v závislosti na teplotě uvnitř rozváděče.



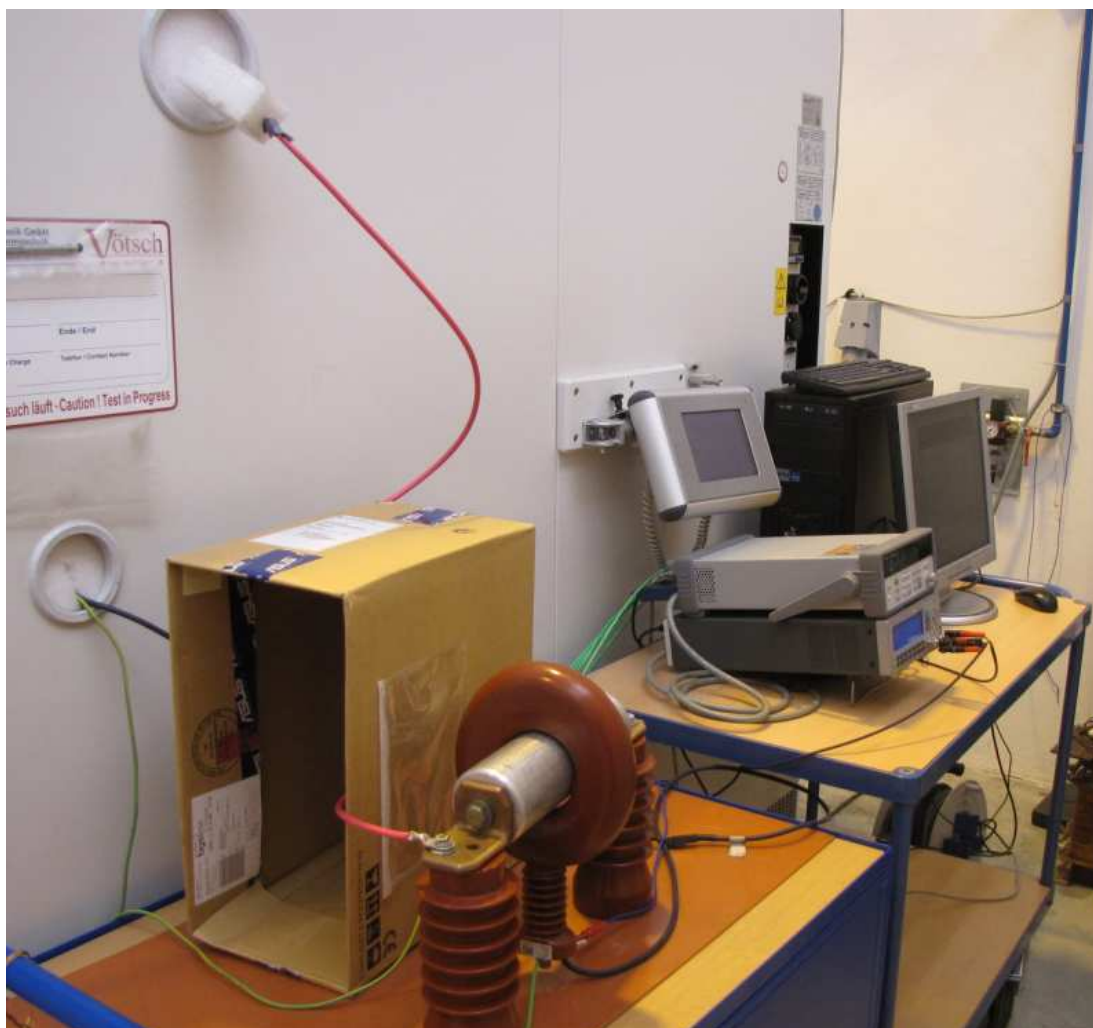
Obrázek 47 Komplexní pohled



Obrázek 48 Vysokonapět'ový transformátor spolu s normálovým měřicím transformátorem



Obrázek 49 Měření senzor umístěný v klimatické komoře



Obrázek 50 Referenční senzor vně napěťové komory spolu s měřícím pracovištěm

9.2 PRŮBĚH TEPLoty PŘI VYTVRZOVÁNÍ EPOXIDU

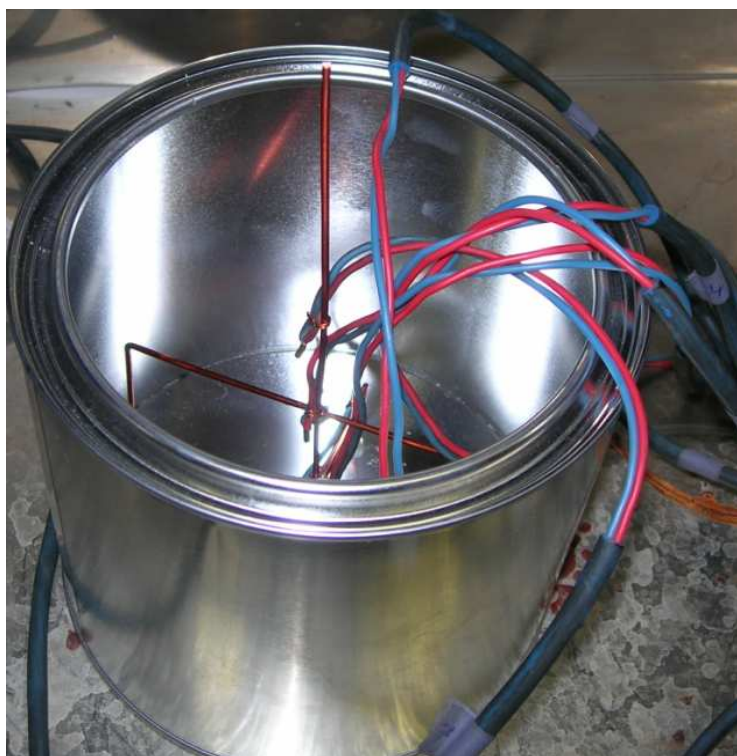
Zde bylo využito funkce měřit pouze teplotu pomocí termočlánků. Cílem bylo zjistit průběhy teplot při vytvrzování epoxidu na různých místech uvnitř plechovky. Bylo použito celkem šest termočlánků typu J, z toho jeden byl umístěn vně plechovky a sloužil pro odečet teploty v píce. Zkouška probíhala tak, že se nejdříve plechovka zahřála ve vytvrzovací píce STERIMAT 574.3 na teplotu 150°C, poté se komora otevřela a do plechovky se nalila epoxidová směs. Teplota v komoře zůstala nastavena na 150°C. Průběh teploty na jednom z termočlánků uvnitř plechovky je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 51 Vytvrzování epoxidu

Jak je vidět, teplota uvnitř plechovky během vytvrzování vystoupala až na hodnotu přesahující 170°C , což bylo zapříčiněno chemickými reakcemi epoxidu při vytvrzování.

Na dalších dvou obrázcích je zobrazena plechovka spolu s termočlánky před zalitím epoxidové směsí, kde je dobře vidět vertikální uspořádání termočlánků. Na druhém obrázku již je situace po ukončeném měření, tj. při vytvrzení epoxidu.



Obrázek 52 Plechovka s termočláanky před zalitím epoxidovou směsí



Obrázek 53 Plechovka po vytvrzení epoxidu

10. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s elektronickými transformátory (senzory) napětí a proudu, s metodikou měření přesnosti při teplotních cyklech a vypracovat obslužný program pro řízení a vyhodnocení měření.

Senzorům je věnována kapitola druhá. Jsou zde uvedeny vlastnosti, principy a výhody proudových, napěťových a kombinovaných senzorů. V této kapitole je věnováno více pozornosti proudovým senzorům, z důvodu vysvětlení principu funkce rogowského cívkou.

Charakteristika vývojového prostředí LabVIEW je popsána v kapitole třetí. Je zde uvedeno kdy LabVIEW vzniklo, jeho využití a přednosti. Dále je zde popsána funkce virtuálního přístroje a práce s měřicí ústřednou a čítačem.

Ve čtvrté kapitole je podrobně popsáno zapojení napájecí (silové) části obvodu a měřicí části obvodu.

V kapitole páté jsou detailně popsány jednotlivé prvky měřicího řetězce, tedy použité přístroje, přípravy a vodiče.

Šestá kapitola se věnuje metodice měření. Je zde popsán a znázorněn teplotní cyklus, při kterém většinou měření probíhá. Dále jsou zde uvedeny čísla norem, podle kterých měření probíhá.

V sedmé kapitole je uveden blokový diagram programu, detailní popis jednotlivých bloků. Dále se zde nachází popis jednotlivých záložek předního panelu programu a objektů v nich umístěných. Tato část je zaměřena na vysvětlení jak program zhruba funguje a co uživateli nabízí. Je zde detailněji popsán postup, jak program postupuje a jak se chová při měření.

V osmé kapitole jsou vypočteny nejistoty měření jednotlivých měřených veličin. Je zde vidět, jak velký negativní vliv má nevhodně zvolený rozsah multimetru na správnost naměřených hodnot. Nejistota typu *B*, při měření fáze dvou signálů, byla vypočtena odhadem a to z toho důvodu, že výrobce blíže nespecifikuje chybu přístroje při měření fáze. Při výpočtu bylo zvoleno normální rozložení, za předpokladu, že nejvyšší pravděpodobnost výskytu hodnot bude ve středu intervalu.

Devátá kapitola obsahuje dva příklady použití vytvořeného měřicího systému. První z nich ukazuje situaci při stanovení závislostí chyb senzoru na teplotních cyklech. Bohužel z důvodu ochrany dat nejsou zveřejněny změřené závislosti chyb na teplotě. Druhý ukazuje nasazení měřicího systému jako přenosný teplotní datalogger.

Kompletní zdrojové soubory, potřebné knihovny, některá měření a manuály k přístrojům jsou uloženy na datovém CD přiloženém k této práci.

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.11.15] URL: <<http://www.ni.com>>
- [2] AGILENT TECHNOLOGIES. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.2] URL: <<http://www.agilent.com>>
- [3] H TEST a.s. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.3] URL: <<http://www.htest.cz>>
- [4] ABB s.r.o. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.3] URL: <<http://www.abb.cz>>
- [5] PENDULUM INSTRUMENTS. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.3] URL: <<http://www.pendulum-instruments.com>>
- [6] TR INSTRUMENTS s.r.o. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.3] URL: <<http://www.trinstruments.cz>>
- [7] TYCO ELECTRONICS. *Internetové stránky firmy, katalog produktů.* [online]. [cit. 2008.12.6] URL: <<http://www.tycoelectronics.com>>
- [8] DesignTech. *Internetové stránky firmy.* [online]. [cit. 2009.5.5] URL: <<http://www.designtech.cz/c/caq/nejjistoty-mereni.htm>>
- [9] ČEJKA, M. *Elektronická měřicí technika.* VUT, Brno [online]. [cit. 2009.5.5]. URL:< <http://www.feec.vutbr.cz/et/>>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rogowského cívka [4]	11
Obrázek 2 Různé druhy provedení proudových senzorů fy. ABB s.r.o. [4]	11
Obrázek 3 Srovnání linearity proudových senzorů s konvenčním proudovým transformátorem [4]	12
Obrázek 4 Jmenovitý proudový rozsah [4]	12
Obrázek 5 Různé druhy provedení napěťových senzorů [4]	13
Obrázek 6 Princip odporového děliče [4]	14
Obrázek 7 Princip kapacitního děliče [4]	14
Obrázek 8 Závislost chyby napěťového senzoru na teplotě okolí	15
Obrázek 9 Závislost relativní chyby napěťového senzoru na frekvenci napětí	15
Obrázek 10 Různé druhy provedení kombinovaných senzorů [4]	16
Obrázek 11 Zapojení proudového měření	20
Obrázek 12 Zapojení napěťového měření	21
Obrázek 13 Původní návrh zapojení měřicí části	22
Obrázek 14 Schéma zapojení měřicí části	23
Obrázek 15 National Instruments GPIB Controller [1]	24
Obrázek 16 GPIB kabel Agilent 10833A [2]	24
Obrázek 17 Měřicí ústředna Agilent 34970A [2]	25
Obrázek 18 Zásuvný modul 34901A pro měřicí ústřednu 34970A [2]	26
Obrázek 19 Čítač Pendulum CNT-90 [5]	26
Obrázek 20 Ethernetová patice Tyco 2 x 8 [7]	27
Obrázek 21 Zapojení jednotlivých pinů na propojovacím boxu	28
Obrázek 22 Propojovací box	28
Obrázek 23 Dynamic konektor a zapojení vodičů	29
Obrázek 24 Propojovací vodiče senzor – box	30
Obrázek 25 Teplotní cyklus	31
Obrázek 26 Blokový digram programu NTFlab	33
Obrázek 27 Přepočet odporu na teplotu	35
Obrázek 28 Postup při měření fáze	36

Obrázek 29 Nastavení časovače.....	37
Obrázek 30 Interval měření a délka měření	38
Obrázek 31 Hlavička textového souboru.....	41
Obrázek 32 Načtení uložených hodnot	42
Obrázek 33 Informace o načteném měření	42
Obrázek 34 Filtrace hodnot.....	43
Obrázek 35 Redukce počtu naměřených hodnot.....	44
Obrázek 36 Vytvoření – volba jména protokolu.....	44
Obrázek 37 Seznam vytvořených protokolů	45
Obrázek 38 Titulní strana protokolu	46
Obrázek 39 Přední panel měřicího programu	48
Obrázek 40 Převod napěťového senzoru	49
Obrázek 41 Tabulka naměřených / načtených hodnot.....	50
Obrázek 42 Ukázka zobrazení grafu	51
Obrázek 43 Graf s ručním měřítkem.....	52
Obrázek 44 Záložka Protokol.....	53
Obrázek 45 Záložka Filtry	54
Obrázek 46 Záložka Nastavení	55
Obrázek 47 Komplexní pohled	66
Obrázek 48 Vysokonapěťový transformátor spolu s normálovým měřicím transformátorem	67
Obrázek 49 Měřený senzor umístěný v klimatické komoře.....	67
Obrázek 50 Referenční senzor vně napěťové komory spolu s měřicím pracovištěm	68
Obrázek 51 Vytvrzování epoxidu	69
Obrázek 52 Plechovka s termočládky před zalitím epoxidovou směsí.....	70
Obrázek 53 Plechovka po vytvrzení epoxidu.....	70

13. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VI	Virtual Instrument
GPIB	General Purpose Interface Bus
VISA	Virtual Instrument Software Architecture
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation
VXI	VME eXtensions for Instrumentation
PC	Personal Computer
USB	Universal Serial Bus
DMM	Digital MultiMeter
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
NI	National Instruments
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
BNC	Bayonet Neill-Concelman
JPEG	Joint Photography Experts Group
BMP	Microsoft Windows BitMaP
PNG	Portable Network Graphics
XML	eXtensible Markup Language
TXT	zkratka textového souboru
u_A	standardní nejistota typu <i>A</i>
u_B	standardní nejistota typu <i>B</i>
u_C, u	kombinovaná standardní nejistota
U	rozšířená nejistota
k_s	korekční koeficient
\bar{x}	aritmetický průměr
K_r	koeficient rozšíření

14. PŘÍLOHA

K této diplomové práci je přiložena příloha ve formě datového CD, vloženého do kapsy v deskách.

Obsah CD

Zdrojové soubory programu ve formě projektu a knihovny.

Instalační balíček programu ve formě spustitelného souboru exe, bez runtime LabVIEW 8.2.

Instalační balíček programu ve formě spustitelného souboru exe, s vloženým runtime LabVIEW 8.2.

Samotný LabVIEW verze 8.2 ve formě spustitelného souboru exe.

Knihovny k přístrojům Agilent 34970A a Pendulum CNT-90.

Manuály k přístrojům.

Vzorová měření.

Ukázka protokolu ve formátu xls.

Tato diplomová práce ve formátu doc a pdf.