

# **Automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů**

The automated data collecting whilst measuring the effective value of the electrical signals

Martin Samohýl

---

Bakalářská práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav aplikované informatiky  
akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin SAMOHÝL**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
  
Téma práce: **Automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši popisující současný stav dané problematiky.
2. Seznamte se se stávajícím měřicím systémem a s prostředím programovacího jazyka VEE Pro.
3. Z dostupných technických prostředků navrhnete a sestavte automatizované měřicí pracoviště.
4. Proveďte měření efektivních hodnot elektrických signálů.
5. Navrhnete koncepci laboratorní úlohy do předmětu "Zpracování signálů".

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

-SEDLÁK, B., ŠTOLL, I.: *Elektrina a magnetismus*. Academia, 2002.

-JACOB, Fraden: *"Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications"*, 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1996.

-AGILENT TECHNOLOGIES, Inc.: *Agilent VEE Pro User's Guide*. Ninth edition, 2005

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Milan Navrátil**

Ústav elektrotechniky a měření


Datum zadání bakalářské práce:

**13. února 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Cílem mojí bakalářské práce je vytvořit pracoviště pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů z dostupných prostředků v laboratoři a tím vytvořit laboratorní úlohu do předmětu „Zpracování signálů“. Teoretická část práce vysvětluje základní pojmy z měření v elektrotechnice a automatizované měření. Dále je zde napsáno jakými způsoby je možné měřit stejnosměrné a střídavé napětí a jaké chyby při měření vznikají. Jsou tu také vysvětleny pojmy efektivní hodnota střídavého proudu a napětí. Praktická část popisuje realizaci automatizovaného pracoviště a vývoj programového vybavení pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů. Na závěr bakalářské práce jsem navrhl koncepci laboratorní úlohy do předmětu „Zpracování signálů“ a provedl měření efektivních hodnot elektrických signálů.

Klíčová slova: VEE Pro, Efektivní hodnota, Automatizovaná měření, Zpracování signálů

## ABSTRACT

The aim of my bachelor thesis is to create a working site for the automated data collecting whilst measuring the effective value of the electrical signals from available resources in laboratory in order to make up a laboratory essay for the subject “Processing of Signals”. In the theoretical part you can find explanation of the basic notions from measuring in electrotechnics and automated measuring. There is written how you can measure DC and AC electric voltage and which mistakes can appear. There are also explanations of the notions as effective value of alternating current and voltage. In the practical part there is a description of the realisation of the automatized working place and development of software for the automated data collecting whilst measuring the effective value of the electrical signals. Finally I have proposed the conception of the laboratory essay for the subject “Processing of Signals” and measured the effective value of the electrical signals.

Keywords: VEE Pro, Effective value, Automated measurement, Processing of Signals

Moje poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Navrátilovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky i čas, který mi věnoval.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 23.5. 2007

.....  
Podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1 MĚŘENÍ V ELEKTROTECHNICE.....</b>	<b>10</b>
1.1    DEFINICE MĚŘENÍ.....	10
1.2    ZÁKLADNÍ POJMY .....	11
1.3    AUTOMATIZOVANÁ MĚŘENÍ.....	13
<b>2 ELEKTRICKÝ POTENCIÁL, NAPĚTÍ .....</b>	<b>15</b>
2.1    MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ .....	16
2.2    MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ .....	17
2.3    MĚŘENÍ STRÍDAVÝCH NAPĚTÍ .....	17
<b>3 EFEKTIVNÍ HODNOTA .....</b>	<b>20</b>
<b>4 ELEKTRICKÝ PROUD.....</b>	<b>21</b>
4.1    POJEM ELEKTRICKÉHO PROUDU, HUSTOTA PROUDU .....	21
<b>5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....</b>	<b>24</b>
5.1    PŘESNOST MĚŘENÍ.....	24
5.2    CHYBY ČÍSLICOVÝCH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ.....	26
5.3    CHYBY ANALOGOVÝCH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ.....	27
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>29</b>
<b>6 AUTOMATIZOVANÉ MĚŘICÍ PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>30</b>
6.1    POPIS AUTOMATIZOVANÉHO MĚŘICÍHO PRACOVÍŠTĚ .....	30
6.2    POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	31
6.2.1    Číslicový osciloskop.....	31
6.2.1.1    Jak funguje číslicový osciloskop.....	32
6.2.1.2    Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A .....	34
6.2.2    Generátor signálů.....	36
6.2.2.1    Jak funguje funkční generátor.....	36
6.2.2.2    Funkční generátor signálů Agilent 33220A.....	37
6.2.3    Číslicový multimetr .....	38
6.2.3.1    Jak funguje číslicový multimetr .....	39
6.2.3.2    Číslicový multimetr Agilent 34401A.....	39
<b>7 SOFTWARE PRO AUTOMATIZOVANÉ MĚŘICÍ PRACOVÍŠTĚ.....</b>	<b>41</b>
7.1    POPIS VYTVOŘENÍ PROGRAMU .....	41
7.2    PROGRAM VYTVOŘENÝ VE VEE PRO.....	41
7.2.1    Ovládání generátoru signálů .....	41
7.2.2    Automatizované měření efektivních hodnot z číslicového osciloskopu .....	42
7.2.3    Automatizované měření efektivních hodnot z číslicového multimetru.....	43

7.3	PANEL PRO MĚŘENÍ EFEKTIVNÍ HODNOTY .....	43
7.3.1	Popis vytvoření panelu .....	43
7.3.2	Popis panelu.....	44
7.4	POUŽITÝ SOFTWARE .....	45
7.4.1	Agilent VEE Pro 8.0.....	45
7.4.1.1	Hlavní přednosti VEE Pro.....	46
<b>8</b>	<b>MĚŘENÍ EFEKTIVNÍCH HODNOT ELEKTRICKÝCH SIGNÁLŮ .....</b>	<b>47</b>
8.1	POPIS MĚŘENÍ .....	47
8.2	VYPOČÍTANÉ HODNOTY .....	48
8.2.1	Výpočet efektivní hodnoty pro sinusový průběh .....	48
8.2.2	Výpočet efektivní hodnoty pro čtvercový průběh.....	48
8.2.3	Výpočet efektivní hodnoty pro pilovitý průběh .....	48
8.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	48
8.3.1	Ručkový voltmetr .....	48
8.3.2	Číslicový multimetr .....	50
8.3.3	Číslicový osciloskop.....	51
8.4	SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	53
8.5	ZÁVĚR .....	54
<b>9</b>	<b>KONCEPCE LABORATORNÍ ÚLOHY DO PŘEDMĚTU „ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ“ .....</b>	<b>55</b>
9.1	MĚŘENÍ EFEKTIVNÍ HODNOTY SIGNÁLU .....	55
9.1.1	Cíl.....	55
9.1.2	Zadání.....	55
9.1.3	Použité přístroje.....	56
9.1.4	Popis automatizovaného pracoviště.....	56
9.1.5	Popis panelu pro měření v programu VEE Pro .....	56
9.1.6	Bezpečnostní pokyny .....	57
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>65</b>

## ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením pracoviště pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů, které bude sloužit studentům na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, Fakultě aplikované informatiky.

Automatizace nachází v dnešní době stále širší uplatnění ve všech odvětvích lidské činnosti. Může nám pomoci usnadnit život, zjednodušit práci, nebo nám usnadnit některé úkony. Každopádně její užití vždy přináší nějaký užitek a odvětví, ve kterých může automatizace pomoci je mnoho. Odvětví, ve kterém aplikace automatizace rozhodně nezaostává je odvětví automatizace měřicích procesů. Rychlý vývoj měřicích přístrojů a výpočetní techniky je nezadržitelný a přispívá k rychlému zdokonalování těchto zařízení. Již dávno jsou běžně dostupné sběrnice pro připojení měřicích přístrojů k PC (USB, GPIB atd.), což vede k velmi rychlému rozšíření nejen do velkých průmyslových podniků.

Bakalářskou práci jsem rozdělil do dvou hlavních částí. První část se zabývá teorií a druhá část je praktická. Nejprve se zmíním o první části. Tato část začíná nastíněním základních pojmů z měření v elektrotechnice a je případný čtenář je obeznámen i s pojmem automatizovaná měření. Dále jsem psal o měření elektrického napětí a chybách analogových a číslicových měřicích přístrojů. V této části se také čtenář seznámí co je to vlastně efektivní hodnota napětí a proudu.

Nyní přejdu k praktické části práce. V úvodu této části popisuji, jak jsem sestavil automatizované pracoviště. Následně popisuji vývoj programového vybavení pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů. Automatizované pracoviště jsem musel vyzkoušet a tak jsem provedl měření efektivních hodnot elektrických signálů a vyhodnotil výsledky měření. Práci jsem zakončil návrhem koncepce laboratorní úlohy do předmětu „Zpracování signálů“.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MĚŘENÍ V ELEKTROTECHNICE

## 1.1 Definice měření

V běžném životě, v technice i ve vědě se při sledování a popisu jevů, vlastností a charakteristik různých fyzikálních objektů používají různé fyzikální veličiny, které od sebe vzájemně kvalitativně odlišujeme. Jsou to např. délka, čas elektrický proud či magnetický tok. Každá tato veličina má ale i svou kvantitativní stránku, která se vyjadřuje hodnotou veličiny (např. proud 15 A, či magnetický tok 0,002 Wb) a ta se často zjišťuje měřením. Hodnota veličiny je číslo, které vyjadřuje velikost zmíněné veličiny ve zvolených jednotkách.

Libovolné měření si tedy můžeme charakterizovat jako jakýsi způsob získávání informací o našem okolí a o jevech či procesech, které pozorujeme. K získávání těchto informací je člověk vybaven svými základními smysly. Pomocí nich však můžeme postihnout pouze malý počet jevů. Lidské smysly jsou velmi omezené zejména z hlediska kvantitativního posuzování pozorovaných jevů. Vidíme např. že na obloze letící orel je mnohem dále od nás než na zemi se plazící užovka, ale nedokážeme již přesně určit, jak vysoko orel letí. Stejně tak nedokážeme pomocí zraku, sluchu, čichu, chuti či hmatu zjistit, jak rychle pták letí, naše smysly nám umožňují posoudit pouze kvalitativní hledisko, což znamená, že můžeme bezpečně prohlásit, že orel letí rychleji (či dokonce mnohem rychleji) než se užovka plazí (alespoň většinou tomu tak bývá). Ve všech oblastech lidské činnosti jsou přesné a včasné informace o stavu zařízení či jevu velmi důležité, zvláště pak v nejrůznějších průmyslových odvětvích.

Abychom mohli přesně posoudit námi pozorované jevy, potřebujeme k tomu určité měřicí prostředky, které si můžeme charakterizovat jako soubor zařízení, přípravků a dalších pomůcek, které jsou určeny k provedení měření a zjištění kvantitativních vlastností pozorovaného děje. V našem případě užovky a orla tedy vezmeme do ruky stopky a metr. Výsledkem měření by bylo např. zjištění, že užovka se plazí rychlostí  $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Zvláštní význam v oblasti měření zaujímají elektrotechnická měření a měřicí technika, která je v současné době velmi důležitá nejen v elektrotechnice, ale i v ostatních oborech lidské činnosti. Toto dominující postavení elektrických a elektronických měření je dáno zejména tím, že:

- Člověk nemá smysly či čidla pro zjišťování elektrických nebo magnetických veličin. Pokud ovšem nebudeme za nadání k měření považovat posouzení, zda daný elektrický zdroj nekope vůbec, kope málo či více nebo zda snad dokonce zabíjí. Taková měření by byla velice riskantní.
- Elektrický signál může být lehce zpracován (např. zesílen či usměrněn) ve velmi širokém rozsahu a jeho hodnota změřena s vysokou přesností.
- Informace o naměřených hodnotách ve formě elektrického signálu mohou být snadno zaznamenány či přeneseny na libovolnou vzdálenost rychlostí světla (např. v rozvodnách či velínech elektráren jsou přístroje měřící velikost napětí či odebíraného proudu ve vzdálenosti několika desítek či stovek metrů od vlastních transformátorů).
- Spojení číslicových měřících přístrojů s počítači přináší další významný pokrok v měření a zpracování výsledků měření. Moderní technika nám umožňuje provést plnou automatizaci procesu měření s vyloučením přítomnosti obsluhy.
- Moderní elektrické přístroje umožňují převádět i neelektrické veličiny na elektrický signál a potom lze i tato měření provádět se všemi výše uvedenými výhodami. To znamená, že máme-li příslušný měřící přístroj, můžeme určit délku užovky i bez toho, abychom se za ní museli plazit trávou s metrem v ruce a riskovali uštknutí. [1]

## 1.2 Základní pojmy

*Veličina* je vlastnost tělesa nebo jevu, kterou lze kvalitativně rozlišit (např. elektrický proud nebo elektrická kapacita) a kvantitativně určit (např. 10 A, 15,5  $\mu$ F).

*Měření* je soubor experimentálních úkonů sloužících ke zjištění hodnoty veličiny pomocí speciálních měřících prostředků.

*Měřicí prostředky* jsou všechna zařízení určená k uskutečnění měření.

*Měřicí přístroje* jsou měřicí prostředky, které slouží k převodu měřené veličiny na údaj poskytující informaci o velikosti měřené veličiny (výchylka ručky, číslo na displeji). Měřicí přístroje se vyrábějí jako jedno či vícerozrahové, pro přesná či orientační měření, pro zjištění průběhu veličiny v závislosti na čase (např. registrační přístroje, osciloskopy) i jako přístroje kombinované, (univerzální, multimetry) umožňující provádět měření různých

veličin pomocí jednoho přístroje. Měřicí přístroje se vyrábějí jako analogové či digitální a někdy i jako kombinované analogově-digitální. Oblibu nacházejí typy s analogovou stupnicí složenou z malých dílků – bargraf.

*Měřicí převodník* je měřicí prostředek sloužící k převodu měřené veličiny na jinou veličinu či na jinou hodnotu téže veličiny (měřicí převodníky jsou např. bočník, usměrňovač, měřicí transformátor, zesilovač, termoelektrický článek, ...)

*Analogový údaj* je údaj získaný odečtením výchylky ukazovacího zařízení (nejčastěji ručky) na stupnici analogového měřicího přístroje. Odečtenou výchylku pozorovatel převádí na číselnou hodnotu. Výchylka analogových přístrojů je při spojitých změnách měřené veličiny spojitě proměnná (mění se plynule, nikoliv po skocích)

*Číselný údaj* získáme odečtením číselné hodnoty z displeje digitálního přístroje. Měřená veličina je udávána číselným násobkem určitých základních skoků (kvant). Při spojitě změně měřené veličiny se údaj mění nespojitě (skokově). [1]



Obr. 1. Digitální multimetr Agilent U1252A. [2]



nazývají prostředí pro virtuální instrumentaci. Obsahují předem připravené drivery pro velké množství přístrojů (s možností snadného doplnění dalších ovladačů), a umožňují programátorovi soustředit se na řešení měřeného problému a ne na způsob ovládání jednotlivých přístrojů či grafickou prezentaci dat. [4]

## 2 ELEKTRICKÝ POTENCIÁL, NAPĚTÍ

Elektrická potenciální energie nabitě částice v elektrickém poli závisí na velikosti jejího náboje. Avšak potenciální energie vztažená na *jednotkový náboj* má jednoznačnou hodnotu, závislou už jen na poloze v elektrickém poli.

Předpokládejme například, jsme za testovací částici zvolili proton s kladným nábojem  $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  a umístili ho do pole v bodě, v němž má tato částice potenciální energii  $2,40 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ . Potenciální energie připadající na jednotkový náboj je tedy

$$\frac{2,40 \cdot 10^{-17} \text{ J}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 150 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}. \quad (1)$$

Dále předpokládejme, že proton nahradíme  $\alpha$ -částicí, která má dvakrát větší kladný náboj, tedy  $3,20 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Zjistili bychom, že  $\alpha$  částice má energii dvakrát větší než proton, tj.  $4,80 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ . Energie připadající na jednotkový náboj však zůstává stejná ( $150 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$ ). Energií připadající na jednotkový náboj můžeme zapsat podílem  $E_p / Q$ . Je nezávislá na náboji  $Q$  částice, kterou jsme k testování použili, a *charakterizuje pouze elektrické pole*, které v bodě s polohovým vektorem  $r$  vyšetřujeme. Nazýváme ji elektrický potenciál  $\varphi$  (neboli potenciál elektrického pole; v dalším píšeme též jen potenciál, pokud nehrozí záměna s potenciály polí jiných sil – gravitační, pružnosti, ...):

$$\varphi(r) = \frac{E_p}{Q} \quad (2)$$

Poznamenejme, že potenciál je skalární veličina, nikoli vektorová.

Rozdíl hodnot potenciálu  $\Delta\varphi$  mezi dvěma libovolnými body (i) a (f) elektrického pole je roven rozdílu hodnot potenciální energie jednotkového náboje v těchto bodech:

$$\Delta\varphi = \varphi_f - \varphi_i = \frac{E_{p,f}}{Q} - \frac{E_{p,i}}{Q} = \frac{\Delta E_p}{Q} \quad (3)$$

a nazýváme ho (elektrické) napětí  $U$  mezi těmito body.

Dosazením rovnice

$$\Delta E_p = E_{p,f} - E_{p,i} = -W \quad (4)$$

do rovnice předchozí dostaneme:

$$U = \Delta\varphi = \varphi_f - \varphi_i = -\frac{W}{Q} . \quad (5)$$

Napětí mezi dvěma body elektrického pole je tedy rovno záporně vzaté práci vykonané elektrostatickou silou při přemístění náboje jednotkové velikosti mezi těmito body. Může být kladné, záporné, nebo nulové; to záleží na znaménkách náboje  $Q$  a práce  $W$ . Jestliže za referenční (vztažnou) hodnotu elektrické potenciální energie zvolíme  $E_{p,i} = 0$  v nekonečnu, pak podle rovnice (2) bude hodnota potenciálu  $\varphi$  v nekonečnu také nulová. Elektrický potenciál  $\varphi_f$  v libovolném bodě (f) elektrického pole je podle rovnice (5) dán vztahem

$$\varphi_f = -\frac{W_\infty}{Q} , \quad (6)$$

kde  $W_\infty$  je práce vykonaná elektrickým polem při přemístění částice s nábojem  $Q$  z nekonečna do uvažovaného bodu (f). Potenciál tedy může být kladný, záporný, nebo nulový. Z rovnice (6) vyplývá, že jednotkou pro elektrický potenciál i pro napětí v soustavě SI je  $J \cdot C^{-1}$ . Tato jednotka se vyskytuje tak často, že pro ni byl zaveden samostatný název *volt* (značka V). Platí tedy 1 volt = 1 joule na 1 coulomb. [5]

## 2.1 Měření elektrického napětí

Přístroje, které slouží k měření elektrického napětí, se nazývají *voltmetry*. Připojujeme je vždy paralelně k prvku obvodu, na němž chceme velikost napětí zjistit.

Voltmetr zapojený do měřicího obvodu má mít co nejmenší vliv na velikost proudu, který obvodem protéká, musí tedy mít co největší vnitřní odpor.

Přetížení voltmetru nastává, připojíme-li přístroj na vyšší napětí, než je jeho zvolený měřicí rozsah. Na přetížení jsou velmi citlivé zejména magnetoelektrické a elektrodynamické přístroje, protože jejich měřicí cívky jsou vinuté z tenkého vodiče a přetížením by mohlo dojít vlivem velkého proudu k tepelnému přetížení (poškození či úplnému spálení izolace) cívek nebo přírodních pružin. Feromagnetické přístroje jsou vůči přetížení odolnější, protože jejich měřicí cívka je pevná a proto může být bohatěji dimenzovaná.

Neznáme-li napětí v měřeném obvodu a ani ho nelze přibližně odhadnout, musíme na voltmetru nastavit jeho *nejvyšší* rozsah a teprve po připojení přístroje do obvodu zvolit



případně rozsah nižší. Tím se vyhneme přetížení přístroje, ke kterému dochází zvláště často ve školních laboratořích. [1]

## 2.2 Měření stejnosměrného napětí

Pro měření stejnosměrného napětí používáme nejčastěji *magnetoelektrické* voltmetry, které lze použít pro měření stejnosměrného napětí v rozmezí od několika se mV do přibližně 1000 V. Magnetoelektrické voltmetry se vyznačují vysokou přesností (běžně 0,5) a malou spotřebou. U běžných magnetoelektrických voltmetrů bývá vnitřní odpor  $r_i = 5000 \Omega/V$ , konstruují se však i přístroje s extrémně malou spotřebou, jejich vnitřní odpor bývá až  $r_i = 100000 \Omega/V$ . Má-li však přístroj příliš velký vnitřní odpor, protéká měřicí cívkou jen velmi malý proud, přístroj má malý pohybový moment a klesá tím i jeho přesnost. Tyto přístroje mívají třídu přesnosti nejvýše 1. Další měřicí soustava s velmi vysokým vnitřním odporem je soustava elektrostatická (její vnitřní odpor je teoreticky nekonečný), ale elektrostatické voltmetry se v praxi používají pouze v oblasti vysokého napětí. Pro měření běžných napětí o velikosti desítek až stovek voltů se nepoužívají, protože mají velmi malý pohybový moment.

Pro měření stejnosměrného napětí se dají použít i moderní přístroje feromagnetické, starší, levnější provedení přístrojů této soustavy nelze pro měření stejnosměrných veličin z důvodů příliš velké chyby použít. O vhodnosti použití feromagnetického voltmetru pro měření stejnosměrného napětí je nejlépe přesvědčit se přímo na číselníku přístroje.

Elektrodynamické voltmetry umožňují měření stejnosměrného napětí, ale dnes se tyto přístroje již téměř nepoužívají a pokud ano, tak pouze v přesném laboratorním provedení, se kterým se technik v praxi nesetká.

Pro měření velmi malých napětí (řádově nV až  $\mu V$ ) slouží přístroje zvané galvanometry. [1]

## 2.3 Měření střídavých napětí

Střídavá napětí jsou charakterizována efektivní, střední a maximální hodnotou. Nejčastěji bývá měřena *efektivní hodnota*  $U$  udávající výkonové vlastnosti měřeného signálu, její matematická definice je:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} , \quad (7)$$

kde je  $T$ .....perioda měřeného signálu,

$u(t)$ .....měřené napětí.

Efektivní hodnota periodického neharmonického signálu může být vyjádřena součtem harmonických složek:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} , \quad (8)$$

kde je  $U_0$ .....stejnoseměrná složka napětí,

$U_1 \dots U_n$ .....harmonické složky napětí.

Přístroje určené pro měření efektivní hodnoty napětí neharmonických signálů musí měřit efektivní hodnotu všech jejich harmonických složek, proto musí mít dostatečný frekvenční rozsah. Elektromechanické přístroje, jejichž pohybový moment je úměrný druhé mocnině okamžité hodnoty měřené veličiny a současně jejich dynamické vlastnosti umožňují vytvořit střední hodnotu v čase, měří efektivní hodnotu. Mezi taková ústrojí patří feromagnetické a elektrodynamické ústrojí. Voltmetry *s ferodynamickým ústrojím* měří efektivní hodnotu napětí v rozsahu  $10 \div 6 \cdot 10^2$  V, pro měření napětí vyšších hodnot je třeba ke změně rozsahu přístroje použít měřicí transformátory napětí. Feromagnetické voltmetry jsou určeny zejména pro měření napětí síťového kmitočtu 50/60 Hz, speciálně konstruované přístroje lze použít až do kmitočtů 1,5 kHz. Kmitočet je proto omezujícím faktorem pro použití feromagnetických přístrojů k měření efektivní hodnoty neharmonických signálů. *Elektrodynamické voltmetry* mají podobné vlastnosti jako feromagnetické, jsou však používány jen zřídka.

Dalším elektromechanickým ústrojím, často používaným k měření střídavých napětí, je *magnetoelektrické ústrojí*, kterému je předřazen usměrňovač. Ručka přístroje se ustálí na *střední hodnotě* měřeného napětí, ale stupnice přístroje je cejchována v hodnotách efektivních. K přepočtu je použit *činitel tvaru harmonického signálu*  $K_T=1,11$ , magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem proto nelze použít pro měření jiných napětí než s harmonickým průběhem. Magnetoelektrické přístroje můžeme použít pro měření harmonických napětí od 1,5 V v kmitočtovém rozsahu  $20 \div 10^4$  Hz.

*Magnetoelektrické voltmetry s termočlánkem* určují efektivní hodnotu napětí prakticky nezávisle na tvaru křivky měřeného napětí až do kmitočtů 10 MHz. Měření s těmito přístroji je však pomalé a jsou velmi choulostivé na přetížení.

Doplněním stejnosměrných číslicových voltmetrů vhodným převodníkem získáme *střídavý číslicový voltmetr*. Většinou jsou jako převodníky použity operační usměrňovače, v takovém případě střídavý číslicový voltmetr měří střední hodnotu napětí a cejchován je v hodnotách efektivních, tak jako magnetoelektrický přístroj s usměrňovačem. Běžné číslicové voltmetry nelze proto použít pro měření napětí neharmonických průběhů. Kvalitní a samozřejmě dražší číslicové voltmetry mají vestavěn převodník skutečné efektivní hodnoty - značeno TRMS. I přístroje vybavené převodníkem TRMS mají jistá omezení. Důležitý je *činitel výkyvu  $K_v$  (Crest Factor)* - podíl maximální a efektivní hodnoty signálu, pro harmonický signál je  $K_v = 1,414$ . Nabývá-li činitel výkyvu měřeného napětí velkých hodnot (např. pro úzké impulsy), k chybě přístroje udávané výrobcem přistupuje značná chyba přídavná.

Ke zvýšení citlivosti přístrojů s analogovou i číslicovou indikací pro měření malých napětí (mV a  $\mu$ V), případně ke zvýšení kmitočtového rozsahu až do 10 MHz, je nutno použít měřicí zesilovače. [6]

### 3 EFEKTIVNÍ HODNOTA

*Efektivní hodnota střídavého proudu* resp. *efektivní hodnota střídavého napětí* je hodnota stejnosměrného proudu (resp. napětí), který v daném obvodu vykoná za stejný čas stejnou práci jako proud střídavý (resp. střídavé napětí).

Jedná-li se o střídavý proud se sinusovým průběhem a stejnou fází napětí i proudu, lze efektivní hodnotu střídavého proudu určit jako

$$I_{ef} = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

resp. efektivní hodnotu střídavého napětí

$$U_{ef} = U_{\max} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(t) dt} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Je to tedy vlastně odmocnina z průměrného výkonu na jednotkovém odporu během jedné půlperiody.

Často bývá efektivní hodnota značena indexem **RMS** z anglického „*Root Mean Square*“ (česky přibližně „odmocnina průměru čtverců“, jinak také kvadratický průměr).

Elektrická síť v České Republice má efektivní napětí jedné fáze 230 V (maximální napětí je 325 V), efektivní sdružené napětí je 400 V. [7]

## 4 ELEKTRICKÝ PROUD

### 4.1 Pojem elektrického proudu, hustota proudu

Samotné přemísťování elektrického náboje nazýváme elektrickým proudem. Pro jeho kvantitativní zavedení předpokládejme, že pozorování provádíme v určité inerciální soustavě, v níž je dána pevná orientovaná plocha  $S$ . Můžeme si představit, že v prostoru dochází k pohybu nositelů náboje, z nichž některé prochází uvažovanou plochou  $S$ . Projedli v časovém intervalu  $\Delta t$  touto plochou v kladném směru náboj  $\Delta Q$ , definujeme veličinu

$$I_{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (11)$$

kterou nazýváme průměrným proudem. Limitní hodnotu

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (12)$$

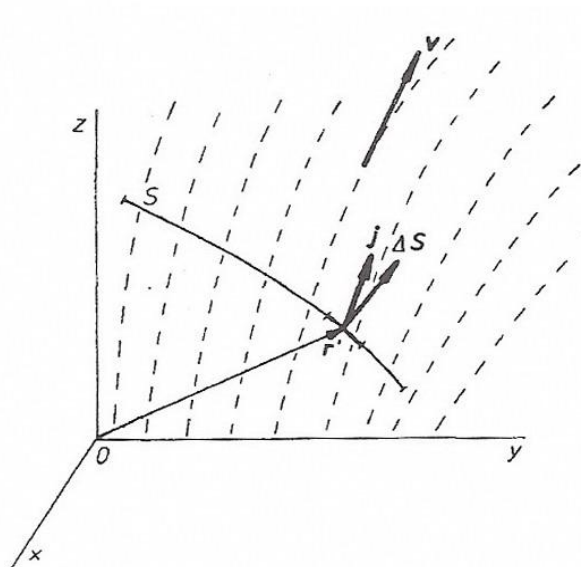
označíme jako okamžitý proud tekoucí plochou  $S$ .

Obecně je třeba považovat proud za funkci času. Je-li proud skutečně s časem proměnný, mluvíme o nestacionárním proudu, proud časově neproměnný nazýváme proudem stacionárním. Množství náboje  $Q$ , které proteče danou plochou v konečném časovém intervalu  $(0, t)$ , je zřejmě dáno vztahem

$$Q = \int_0^t I(t) dt, \quad (13)$$

který se v případě stacionárního proudu redukuje na prostý součin

$$Q = It. \quad (14)$$



Obr. 3. K definici proudu a jeho hustoty.

Proud je zřejmě skalární veličina, která může nabývat kladných i záporných hodnot. Kladný je tehdy, protéká-li v kladném směru kladný náboj. Jestliže přitom vytéká z jednoho objemu a vtéká do druhého, znamená pravá strana rovnice (11), popř. (12), přírůstek náboje za jednotku času v objemu, kam náboj vtéká, nebo úbytek náboje za jednotku času v objemu, z něhož náboj vytéká. Průchod kladného náboje jedním směrem je ekvivalentní průchodu záporného náboje opačným směrem.

Přejdeme k definici hustoty proudu. Hustotou proudu rozumíme vektorovou veličinu  $j(r)$  definovanou v každém bodě plochy  $S$  protékané proudem, která popisuje rozložení proudu na této ploše. Proud  $I_i$  tekoucí libovolnou částí  $s_i$  plochy  $S$  lze pak vyjádřit vztahem

$$I_i = \int_{s_i} j \cdot dS, \quad (15)$$

kteřý můžeme považovat za integrální definiční rovnici hustoty proudu. Z významu hustoty proudu vyplývá, že proud  $\Delta I$  tekoucí velmi malou ploškou  $\Delta S$  tvořící část plochy  $S$ , bude možné přibližně vyjádřit vztahem

$$\Delta I = j(r') \cdot \Delta S, \quad (16)$$

Ve kterém  $r'$  představuje libovolný bod plošky  $\Delta S$ . Ve speciálním případě, kdy je proud rovnoměrně rozdělen po celé ploše rovinné  $S$ , tj. v případě, kdy má proudová hustota ve všech bodech plochy stejnou velikost a směr, redukuje se integrál (15) na prostý součin

$$I = j \cdot S . \quad (17)$$

Hustota proudu reprezentuje nové vektorové pole. Z toho, co o ní bylo dosud řečeno, je zřejmé, že její orientace udává v daném bodě kladný směr proudu a její velikost vyjadřuje velikost proudu připadající na jednotku plochy. Hustota stacionárního proudu zřejmě nezávisí na čase, zatímco hustota nestacionárního proudu je explicitní funkcí času.

Pro popis rozložení proudu ve vodiči je výhodné zavést pojmy analogické těm, které se užívají pro popis rozložení elektrostatického pole. Proudovou čarou rozumíme křivku, jejíž tečny mají vždy směr hustoty proudu. Proudovou trubici rozumíme část prostoru (z vnějšku) vymezenou plochou tvořenou proudovými čarami. Touto plochou, která tvoří plášť trubice, tedy neprotéká žádný proud.

Jednotkou proudu v Mezinárodní soustavě jednotek je ampér (A), který je v této soustavě základní jednotkou a je definován pomocí magnetických účinků proudu. Vztah mezi ampérem a jednotkou náboje coulombem je dán výrazem (12), respektive (13). Jeden coulomb je takové množství náboje, které proteče danou plochou za jednu sekundu, jestliže touto plochou teče proud jednoho ampéru. Jednotkou hustoty objemového proudu je podle (15) až (17) ampér na metr čtverečný ( $A \cdot m^{-2}$ ). Analogicky jednotkou hustoty plošného proudu je ampér na metr ( $A \cdot m^{-1}$ ). [8]

## 5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

### 5.1 Přesnost měření

Výsledek měření hodnota měřené veličiny získaná přímo měřením, případně výpočtem z naměřených hodnot. Žádným měřením však nelze přesně zjistit skutečnou (správnou) hodnotu měřené veličiny. Vlivů, které vstupují do měření a ovlivňují ho, je celá řada. Patří k nim zejména nedokonalost měřicích přístrojů a dalších měřicích prostředků, změny vnějších podmínek (teplota, vliv vnějšího elektromagnetického pole) a v neposlední řadě také ne vždy dostatečné znalosti a praktické zkušenosti experimentátora. Proto nás při měření kromě naměřené hodnoty zajímají také meze, v nichž se může pohybovat skutečná hodnota měřené veličiny. Vlastní vyhodnocování přesnosti měření je tedy spíše založeno na vyhodnocování nepřesnosti měření, neboli na *chybě měření*. Proto v praxi hodnotíme přesnost měření podle velikosti chyb, které při měření vznikají. Čím je chyba měření menší, tím měřicí přístroj či výsledek měření je přesnější.

Máme-li o přesnosti daného měření rozhodnout sami, pak volíme takový způsob měření, při němž výsledná chyba odpovídá účelu a podmínkám měření. Je třeba si uvědomit, že velmi přesná měření bývají nákladná a časově náročná. Protipólem těchto exaktních laboratorních měření jsou provozní, málo přesná měření, která jsou sice rychlá a levná, ale jejich výsledek nemusí být vždy správný.

Chyby, které mohou při měření vzniknout, dělíme podle místa vzniku na:

*Chyby metody* – jejich příčinou jsou různá zjednodušení vztahů pro výpočet měřené veličiny, zjednodušení zapojení, vliv spotřeby měřicího přístroje na jeho údaj, atd. Tyto chyby je obvykle možno vypočítat a výsledek měření podle nich korigovat.

*Chyby přístrojů* – jsou způsobeny vlastnostmi (nedokonalostmi) měřicích přístrojů. Chyba měřicího přístroje je dovozenou chybou měřicího přístroje, která je dána jeho třídou přesnosti. Výpočet těchto chyb se provádí zejména při přesných laboratorních měřeních.

*Chyby pozorovatele* – do této kategorie patří nesprávná volba metody měření, chybné zapojení přístrojů do obvodu, nevhodná volba měřicího rozsahu, chybné čtení údajů, atp. Jedná se o chyby způsobené lidským faktorem.



Podle jejich charakteru můžeme rozdělit chyby měření na systematické (soustavné), nahodilé a hrubé (omyly).

*Systematické (soustavné) chyby* – jsou chyby, které se při určitém způsobu měření vyskytují pravidelně. Jsou způsobeny použitou měřicí metodou, vlastnostmi použitých měřicích přístrojů, pozorovatelem, atp. Charakteristickým rysem systematických chyb je to, že se do jisté míry stále opakují a zkreslují tak výsledek bez ohledu na počet provedených měření. Dalším znakem systematických chyb je to, že známe jejich znaménka a většinou i přibližnou hodnotu, takže obvykle můžeme provést opravu výsledku (korekci).

*Nahodilé chyby* – jsou chyby, které se vyskytují zcela nepravidelně. Jejich výskyt je náhodný. Zjistit je můžeme až při opakovaném měření. Opakujeme-li několikrát měření za stejných podmínek a se stejným přístrojem a se stejným stupněm pečlivosti, zjistíme, že se výsledky našich měření poněkud liší. Jsou-li naše výsledky stejné, svědčí to o malé pečlivosti při měření. Vliv nahodilých chyb na výsledek měření omezíme tím, že měření vícekrát zopakujeme a z naměřených hodnot stanovíme střední hodnotu (aritmetický průměr) podle vztahu:

$$X_M = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \quad (18)$$

kde  $X$  – měřená veličina

$n$  – počet opakovaných měření

Hodnota vypočteného aritmetického průměru se nejvíce přibližuje skutečné hodnotě měřené veličiny.

*Hrubé chyby* – jsou chyby, kterých se při měření dopouštíme omylem, nepozorností (např. odečítáme na špatném rozsahu), únavou či špatnými podmínkami při měření (špatné osvětlení, extrémní teplota, vyrušování při měření). Hrubé chyby jsou charakteristické tím, že se nápadně liší od ostatních výsledků měření nebo leží mimo předpokládaný průběh charakteristiky. Hrubé chyby z dalšího zpracování naměřených hodnot vyloučíme a nepočítáme s nimi. [1]

## 5.2 Chyby číslicových měřicích přístrojů

Někteří lidé se domnívají, že číslicové přístroje jsou absolutně přesné, že analogové přístroje s nimi nelze srovnávat, ale u běžných digitálních multimetrů je spíše opak pravdou. Tyto přístroje měří poměrně slušně pouze stejnosměrné napětí, ostatní veličiny pak s několikanásobně větší chybou než přesné přístroje analogové, protože se u těchto přístrojů všechny měřené veličiny převádí pomocí převodníků na stejnosměrné napětí. Tyto převodníky pak zanáší do měření další chybu. Je tedy naprostá hloupost ověřovat třídu přesnosti analogového přístroje pomocí kapesního multimetru.

Většina výrobců číslicových přístrojů udává přesnost přístroje (tzv. základní chybu) ve tvaru  $\delta_x = \pm(\delta_1 + d)$ , někteří ve tvaru  $\delta_x = \pm(\delta_1 + \delta_2)$ , kde

$\delta_1$  - chyba z naměřené hodnoty, bývá vyjádřena v % a je v celém měřicím rozsahu konstantní, někdy se za ni připisuje značka rdg (reading - čtení).

$\delta_2$  - chyba z měřicího rozsahu, nelze ji s chybou z naměřené hodnoty  $\delta_1$  prostě sečíst, někdy se za ni připisuje značka FS (full scale – plný rozsah).

$d$  – chyba udaná v počtu digitů (jednotek) posledního místa displeje. Její přepočtení na chybu z měřicího rozsahu závisí na počtu zobrazovaných míst displeje. Přepočtení na procentní chybu z měřicího rozsahu je jednoduché:

$$\delta_2 = \frac{d}{D} \cdot 100 \quad [\%] \quad (19)$$

$D$  – maximální počet indikovaných jednotek

Celkovou relativní chybu digitálního přístroje při měření vypočteme podle vztahu:

$$\delta_x = \pm \left( \delta_1 + \delta_2 \frac{X_R}{X_M} \right) [\%], \quad (20)$$

kde  $X_R$  - hodnota měřicího rozsahu,

$X_M$  - měřená hodnota. [1]

### 5.3 Chyby analogových měřicích přístrojů

Chyba údaje měřicího přístroje ( $\Delta_u, \delta_u$ ) je rozdíl údaje přístroje a pravé (konvenčně pravé) hodnoty měřené veličiny. Je tím, co nás zajímá při měření, ale necharakterizuje přesnost přístroje, protože závisí také na podmínkách měření.

Přesnost přístroje charakterizuje pro běžné elektromechanické přístroje norma ČSN 356203. Vyjadřuje ji chybou přístroje ( $\Delta_p, \delta_p$ ), což je základní chyba měřicího přístroje používaného v referenčních podmínkách. Referenční podmínky zahrnují teplotu okolí ( $23^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ), vnější magnetické pole ( $B_e < 5 \text{ mT}$ ), frekvenci ( $f_n \pm 10\%$ ; pouze v případech, kde je frekvence ovlivňující veličinou), činitel zkreslení ( $k_z < 5\%$ , pro střídavé přístroje).

Absolutní chyba přístroje  $\Delta_p$  je definována vztahem  $\Delta_{(x)} = X_M - X_S$  při referenčních podmínkách. Relativní chyba přístroje se většinou vztahuje k největší hodnotě měřicího rozsahu M:

$$\delta_{pM} = \frac{\Delta_p}{M} 100\% \quad (21)$$

Při nedodržení vztažných podmínek dochází k přídavným chybám, nazývaným u elektromechanických přístrojů změna údaje. Tyto změny údaje se uvádějí pro změny jednotlivých ovlivňujících veličin. Výsledná relativní chyba údaje přístroje je dána součtem relativní chyby přístroje v procentech pravé hodnoty a všech relativních změn údaje také v procentech pravé hodnoty.

Přesnost přístrojů, na které se vztahuje ČSN 356203, se vyjadřuje třídou přesnosti. Třída přesnosti TP je číslo ze zvolené řady 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5, které udává mez dovolené relativní chyby přístroje v procentech největší hodnoty měřicího rozsahu  $\delta_{pM}$  (při referenčních podmínkách).

Absolutní neurčitost údaje přístroje při vztažných podmínkách se vypočte podle vztahu

$$|\Delta_u| \leq \frac{TP}{100} M \quad (22)$$

kde M je největší hodnota měřicího rozsahu.

Relativní neurčitost (největší možnou relativní chybu) údaje přístroje určíme podle vztahu

$$|\delta_u| \leq \left| \frac{\Delta_u}{X_m} \right| \cdot 100 \% = \left| \frac{M}{X_m} TP \right| \% \quad (23)$$

kde  $X_m$  je naměřená hodnota,  $M$  je největší hodnota měřicího rozsahu a  $TP$  je třída přesnosti přístroje. Z rovnice (23) je zřejmé, že rozsah přístroje je třeba volit tak, aby výchylka byla co nejbližší plnému rozsahu. [9]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 AUTOMATIZOVANÉ MĚŘICÍ PRACOVÍŠTĚ

Automatizované měřicí pracoviště jsem sestavil z dostupných měřicích přístrojů v laboratoři. Vše je propojeno s počítačem, který je vybaven převodníkem GPIB. Jedná se o převodník, který je jako modul do volného PCI slotu do počítače. To umožňuje ovládat všechny zapojené přístroje přes příslušný software v počítači.

### 6.1 Popis automatizovaného měřicího pracoviště

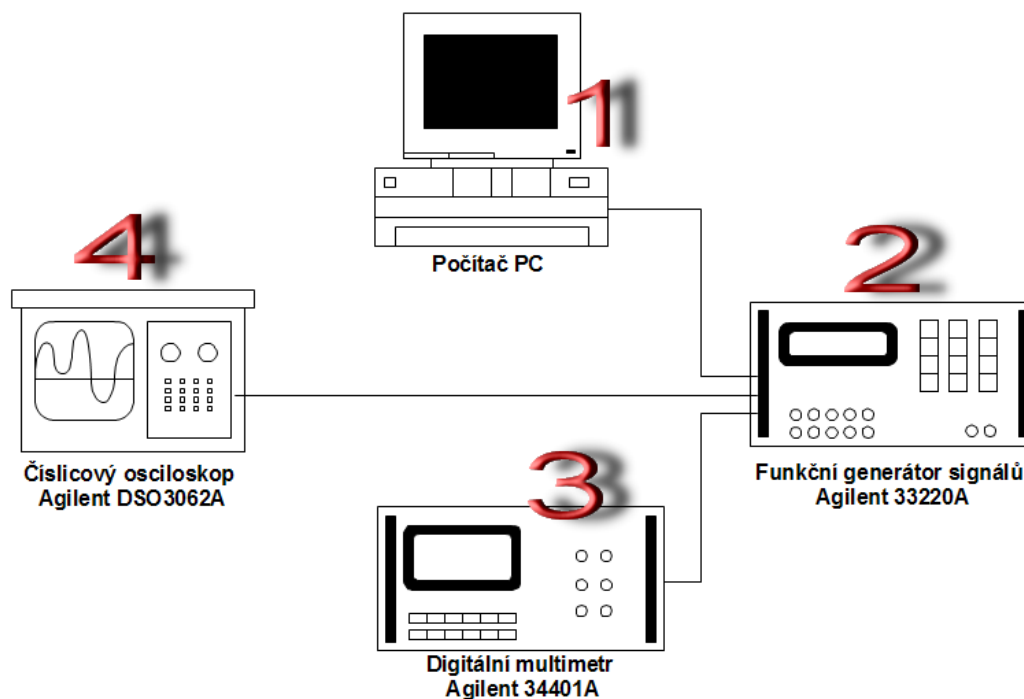
Pracoviště se skládá:

1. Počítač PC
2. Funkční generátor signálů Agilent 33220A
3. Digitální multimetr Agilent 34401A
4. Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A

Více o použitých měřicích přístrojích naleznete v kapitole 6.2



Obr. 4. Automatizované měřicí pracoviště.



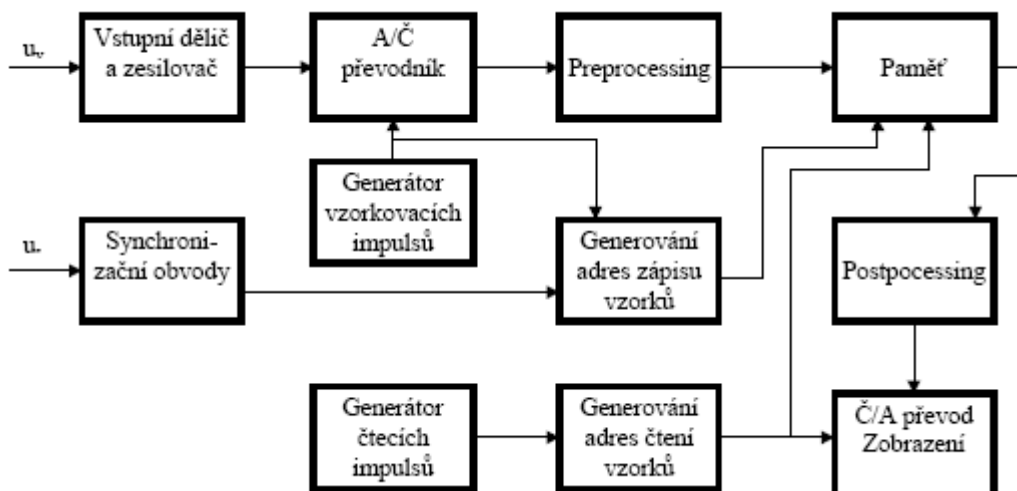
Obr. 5. Schéma zapojení automatizovaného měřicího pracoviště.

## 6.2 Použité přístroje

### 6.2.1 Číslicový osciloskop

Číslicové (digitální) osciloskopy poskytují proti analogovým přístrojům některé výhody. Na druhé straně, pokud je chceme v plné míře využít, musíme se s jejich obsluhou a vlastnostmi velnu dobře seznámit. Musíme si být vědomí, že tyto přístroje pracují na principu *vzorkování* sledovaného signálu a že se tedy uplatní jevy, které vzorkování doprovází. Vzorkovací efekty se u analogového osciloskopu nevyskytují. Tato nevýhoda je různými způsoby omezována a je předmětem firemních úprav, což je jeden ze směrů, kterým se ubírá vývoj číslicových osciloskopů. Určitou nevýhodou, která se ovšem stále více stírá, je vyšší cena. Rozměry a váha číslicových osciloskopů je často menší, než u srovnatelných přístrojů analogových. [10]

### 6.2.1.1 Jak funguje číslicový osciloskop



Obr. 6. Základní princip číslicového osciloskopu.

Vstupní analogový signál je upraven ve vstupním děliči a zesílen podobně, jako u analogového osciloskopu. Následuje převod do číslicové podoby, nejčastěji osmibitovým paralelním převodníkem. Takto získaná data se mohou předzpracovat v bloku preprocessing a ukládají se do číslicové paměti. Rychlost vzorkování i ukládání je řízena generátorem vzorkovacích impulsů, adresa paměti je vytvářena v generátoru adres zápisu vzorků. Obsah vhodné části paměti je graficky zobrazován, před tím ale mohou být data zpracována blokem postprocessing. Poloha zobrazovaného bodu v ose X je dána adresou, v ose Y hodnotou v paměti.

Vlastní osciloskop dovoluje, na rozdíl od analogového řešení, zobrazení signálu *i před* vznikem synchronizační podmínky. To je umožněno tím, že budeme do paměti zapisovat vzorky cyklicky a trvale, bez ohledu na synchronizaci. V okamžiku výskytu synchronizační podmínky si zapamatuje adresu, kam je právě zapisováno a navzorkuje ještě dalších  $n$  vzorků. Pokud je kapacita paměti  $N$ , máme v případě  $n = 0$  možnost sledovat děje, které probíhaly před vznikem synchronizace, pokud je  $n = N$ , sledujeme děje až po vzniku synchronizace. Pokud je  $n = k \times N$ , kde  $k \in \langle 0,1 \rangle$ , lze pomocí konstanty  $k$  volit mezi těmito dvěma případy (často spojitě, někdy jen v krocích např. 0,1, 0,5, 0,9). Zároveň se modifikuje adresování generátorem čtecích impulsů, aby zobrazení nejstarších vzorků bylo v levé části zobrazení a nejnovějších v pravé.



Velikost paměti vzorků má vliv na použitý vzorkovací kmitočet. Např. má-li zobrazení  $a = 10$  dílků na vodorovné ose, používáme-li časovou základnu  $t = 1$  ms/dílek a kapacita paměti  $N = 2000$  vzorků, musíme použít vzorkovací kmitočet  $F_{vz} = N/(t \times a) = 200$  kHz. Je zřejmé, že použití paměti s větší kapacitou vede na vyšší vzorkovací kmitočet, což dovolí bez problémů použít různých typů zvětšení (realizuje blok postprocessingu).

Blok preprocessingu dovoluje např. zvýšit vzorkovací kmitočet, aniž by bylo třeba extrémně zvětšovat velikost paměti. Musí řešit v reálném čase (tedy v rychlosti, dané vzorkováním) např. kompresi dat, případně číslicovou filtrací či hledání extrémů. Příkladem může být algoritmus, který dovoluje zobrazit i úzké impulsy („glitches“) v poměrně pomalém signálu. Představme si, že máme parametry časové základny i velikost paměti takovou, jak uvedeno výše. Je jasné, že zobrazení impulsu délky 20 ns je nemožné. Avšak použijeme-li tohoto algoritmu, je vzorkovací frekvence nastavena trvale na 200 MHz, lze snadno

impuls o délce 20 ns převést do číslicové podoby. Pak vyhledáváme maximum a minimum mezi 1000 vzorky a tyto dvě hodnoty zaznamenáme do paměti a později zobrazíme. Tím zajistíme, že případný výskyt takového impulsu nezůstane ukryt, byť nelze jeho tvar přesně zjistit. Podobně lze číslicovou filtrací odstranit případné rušení ve sledovaném signálu, aniž utrpí tvar pozorovaného průběhu. Právě tyto různé metody používají různé přístroje a při volbě je nutno se o nich informovat.

Blok postprocessingu již zpracovává data uložená v paměti a je méně náročný na rychlost. Častý je případ, kdy tento blok rekonstruuje vzorky v paměti tak, aby zobrazení bylo kvalitnější, tedy aby se vystačilo s menším počtem vzorků. Jde např. o interpolaci - často lineární, kdy jsou body, představující jednotlivé vzorky, propojeny úsečkami, ale i složitější, nebo průměrováním vzorků starých a nových, zobrazení maxim a minim a řadu dalších. Tento blok často počítá i numerické charakteristiky signálu (střední hodnotu, efektivní hodnotu atd.), provádí zvolené operace (integrace, derivace. FFT...).

Synchronizační obvody bývají proti analogovým přístrojům podstatně rozšířeny. Kromě spouštění úrovní (hranou) bývá k dispozici spouštění dle délky impulsu, chybějícím impulsem, počtem výskytu, zvoleným TV řádkem a snímkem atd.

Zobrazení je řešeno buď vakuovou obrazovkou, případně jiným typem (LCD...). Tento blok zobrazuje i rastr pro odečítání, kurzory (značky) pro měření velikosti napětí a času, zobrazuje pomocné informace o režimu či parametrech přístroje, případně o vypočtených

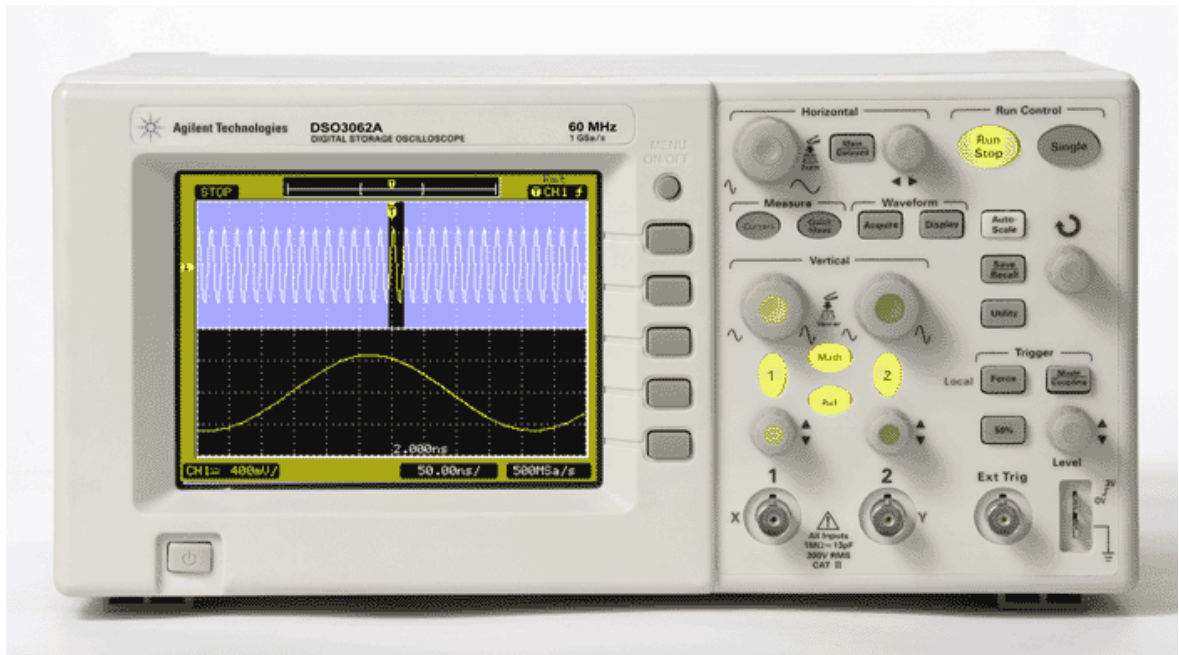
veličinách. Tento blok zajišťuje i výstup na připojenou tiskárnu pro grafickou dokumentaci. Jeho součástí bývají i tzv. referenční paměti. Do nich lze uložit změřené průběhy a porovnávat jejich tvar s právě měřeným signálem. Toto porovnání může být i automatické, kdy obsah referenční paměti vymezuje toleranční pásmo (masku), v němž se musí měřený průběh nacházet. Tak lze i automaticky sledovat výskyt chybových stavů, aniž je zatěžována obsluha. Při vzniku takového stavu je provedena zvolená akce (akustický signál, uložení obrazu do referenční paměti, tisk na tiskárně...). Číslicové osciloskopy bývají vybaveny řadou těchto, často nepříliš průhledných, funkcí. Vlastní zobrazení může být buď rastrové (pak je často použit standardní grafický adaptér VGA 640x480) nebo pro nejvyšší nároky vektorové. Někdy je použito i barevné zobrazení.

Skutečné řešení se opírá o aplikaci mikropočítačové techniky. Obvykle se používají 3 procesory (specializované zákaznické obvody). Prvý zajišťuje funkce vzorkování signálu a ukládání do paměti, druhý realizuje zobrazení a postprocessing, třetí komunikuje s obsluhou prostřednictvím panelu přístroje, nastavuje parametry přístroje a komunikuje s externími zařízeními (počítač, tiskárna). Není výjimkou použití samostatného specializovaného procesoru jen pro synchronizaci. Instalovaný výpočetní výkon bývá značně vysoký. [10]

### **6.2.1.2 Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A**

#### 6.2.1.2.1 Základní parametry

- 60MHz šířka pásma
- vzorkování až 1GSa/s
- délka navzorkovaného průběhu 4k bodů
- 20 automatických měření
- matematické funkce včetně FFT
- maskové testy
- nastavitelné digitální filtry
- USB rozhraní a SW na ovládání přístroje z PC a stahování dat
- s modulem N2861A GPIB a RS-232 pro uživatelské programování [11]



Obr. 7. Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A – pohled zepředu. [12]

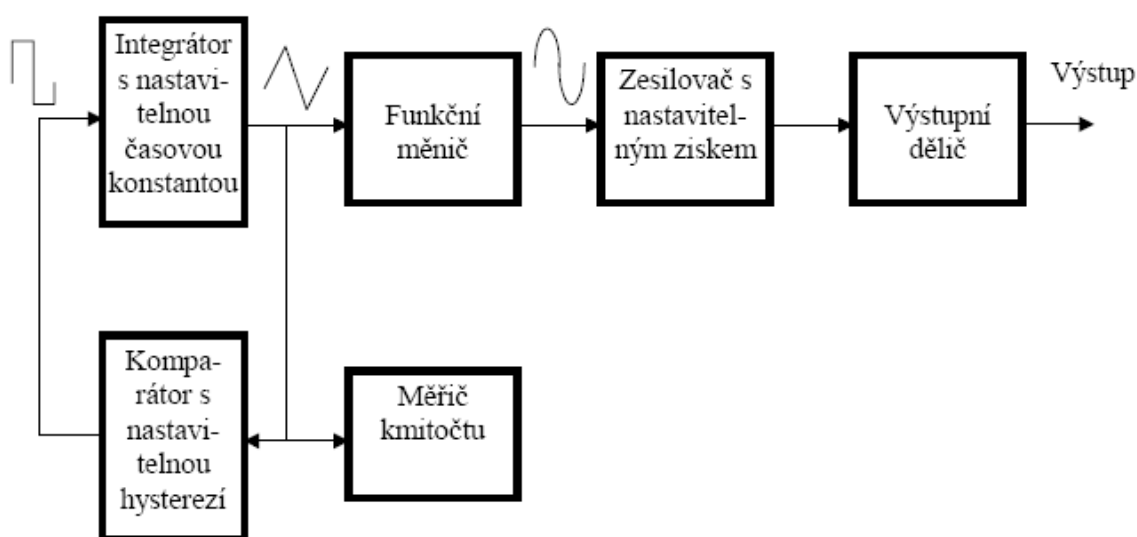


Obr. 8. Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A – pohled zezadu. [12]

## 6.2.2 Generátor signálů

Pro měření pasivních součástek, pro měření přenosových vlastností a podobně jsou nezbytné zdroje stimulačních signálů – generátory. Musí mít definované vlastnosti a zaručovanou přesnost. Dělí se na skupiny podle tvaru časového průběhu generovaného signálu. Jiný způsob dělení vychází z principů, pomocí kterých je průběh generován (RC, LC generátory, funkční generátory, syntezátory), případně používají dělení dle kmitočtového rozsahu (nf, vf, videogenerátory). Některé generátory lze modulovat – jejich oblast použití je pro zkoušení rádiových přijímačů, televizorů či speciálních komunikačních zařízení. Ty se někdy označují pojmem signální generátory. Elektronické generátory pro měřicí techniku existují i do výkonů jednotek kVA. [10]

### 6.2.2.1 Jak funguje funkční generátor



Obr. 9. Blokové schéma funkčního generátoru.

Pro běžné použití se nejčastěji setkáme s funkčními generátory, jejichž blokové schéma je na obrázku (Obr. 7). Základem je generátor trojúhelníkového průběhu, jehož kmitočet měníme změnou časové konstanty integrátoru. Komparátor zajišťuje periodickou činnost generátoru. Změnou hystereze lze měnit symetrii obou půlperiod. Z trojúhelníkového průběhu se funkčním měničem vygeneruje signál harmonického průběhu. Aproximace průběhu  $\sin(x)$  je řešena 3-5 lineárními úseky, realizovaných např. nelineární odporovou sítí. Následuje zesilovač s nastavitelným ziskem, který určuje velikost výstupního napětí a

definovanou výstupní impedanci ( $50 \Omega$ ). Tyto generátory poskytují mezivrcholové napětí naprázdno až 35 V. V zesilovači lze nastavit i stejnosměrnou složku průběhu. Zesilovač bývá vybaven ochranou před zničením při zavlečení cizího napětí na výstup přístroje. Výstupní dělič s konstantním výstupním odporem dovoluje snížit napětí 10x-100x-1000x. Málo kdy je funkční generátor vybaven měřičem výstupního napětí (nutno měřit externě). Přepínačem lze na vstup zesilovače připojit i obdélníkový či trojúhelníkový průběh, tak že lze tento přístroj použít i jako pulsní generátor (ovšem strmost hran nebývá příliš velká). Některé generátory jsou vybaveny i číslicovým měřičem kmitočtu, pomocí kterého nastavujeme žádanou frekvenci.

Přístroj lze celkem snadno doplnit tak, že ho lze přeladovat napětím. Toto napětí lze generovat i uvnitř přístroje, tak že výstupní signál je frekvenčně modulován. Lze zavést i amplitudovou modulaci a to i složitějších typů (s potlačenou nosnou). Lze též snadno blokovat (klíčovat) činnost generátoru a tak generovat např. jen 20 period harmonického průběhu. Právě pro tyto vlastnosti a univerzální použití je nyní dosti rozšířen. Stabilita kmitočtu i amplitudy nebývá příliš velká (jednotky %), lze ji zlepšit fázovým zavěšením na normál. Též harmonické zkreslení bývá kolem 0,5-1% a mění se s kmitočtem. [10]

### **6.2.2.2 Funkční generátor signálů Agilent 33220A**

#### 6.2.2.2.1 Základní parametry

- sinusové a obdélníkové signály až do 20 MHz
- tvar signálu: rampa, obdélník, šum a ss. průběhy
- volitelná hrana pulsů
- volitelný průběh tvaru: 14-bit, 50 MSa/s, 64 Kbodů
- modulace: AM, FM & FSK, a PŠM (pulsně šířková modulace)
- lineární i logaritmické rozmítání a burst mód
- grafický mód pro vizuální ověření nastavení signálu
- rozhraní GPIB, USB a LAN
- IntuiLink software
- volitelné rozšíření 001 pro možnost synchronizace více přístrojů [13]

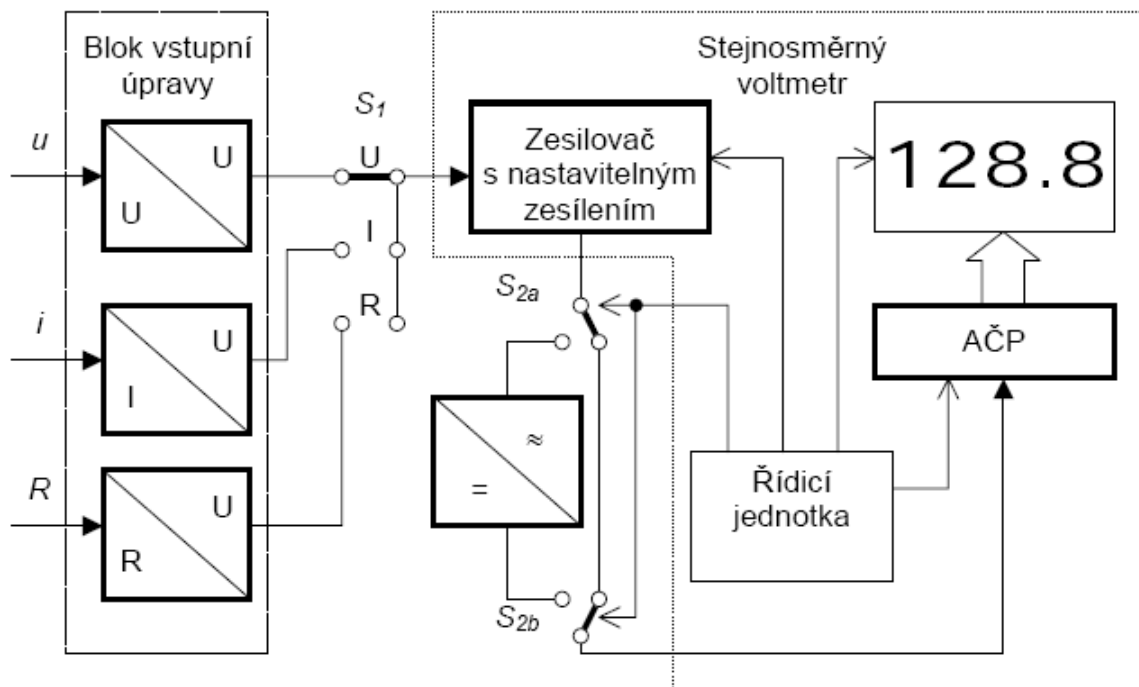


Obr. 10. Funkční generátor signálů Agilent 33220A. [14]

### 6.2.3 Číslicový multimetr

Číslicové multimetry patří k nejpoužívanějším přístrojům v laboratořích i v průmyslu. Jejich výhodou oproti analogovým přístrojům je vyšší přesnost, jednoznačnost údaje a možnost přenosu dat do externích zařízení. Další výhodou je nezávislost chyby měření na poloze přístroje a větší mechanická odolnost díky absenci mechanického ústrojí, což je přínosem zejména pro servisní měření. Multimetry slouží k měření stejnosměrných i střídavých napětí a proudů, odporů, někdy také kapacit, indukčností, teploty, kmitočtu a dalších.

### 6.2.3.1 Jak funguje číslicový multimetr



Obr. 11. Základní blokové schéma číslicového multimetru.

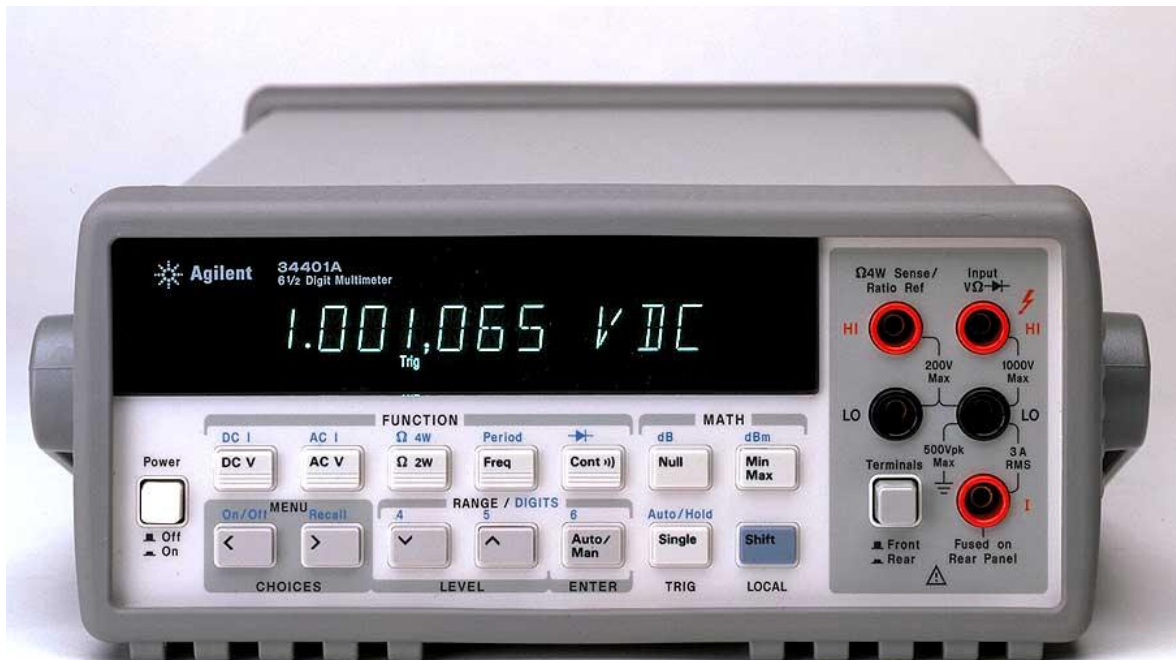
Základem každého číslicového multimetru je stejnosměrný voltmetr. Voltmetr obsahuje obvody pro vstupní úpravu napětí (děliče resp. zesilovače), které slouží pro změnu rozsahů a k dosažení požadované hodnoty vstupní impedance. Dalším blokem je AČP, nejčastěji s dvoutaktní integrací, případně pro rychlejší přístroje AČP s postupnou aproximací. Výstupní číselná hodnota je zobrazena na zobrazovači. Voltmetr je doplněn blokem usměrňovače, který umožňuje měření střídavých veličin. K měření proudů a odporů slouží převodníky proud / napětí respektive odpor / napětí. [6]

### 6.2.3.2 Číslicový multimetr Agilent 34401A

#### 6.2.3.2.1 Základní parametry

- $6\frac{1}{2}$  místné rozlišení
- 0.0035% 1 roční dcV přesnost, 0.06% 1 roční acV přesnost
- 12 měřicích funkcí plus limitní testování a min/max/průměr
- True RMS AC napětí a proudu
- rychlost měření 1000 /s v ASCII formátu přes sběrnici GPIB

- v základním provedení jsou sběrnice RS-232 a GPIB [15]



Obr. 12. Digitální multimetr Agilent 34401A. [16]



## 7 SOFTWARE PRO AUTOMATIZOVANÉ MĚŘICÍ PRACOVNÍŠTĚ

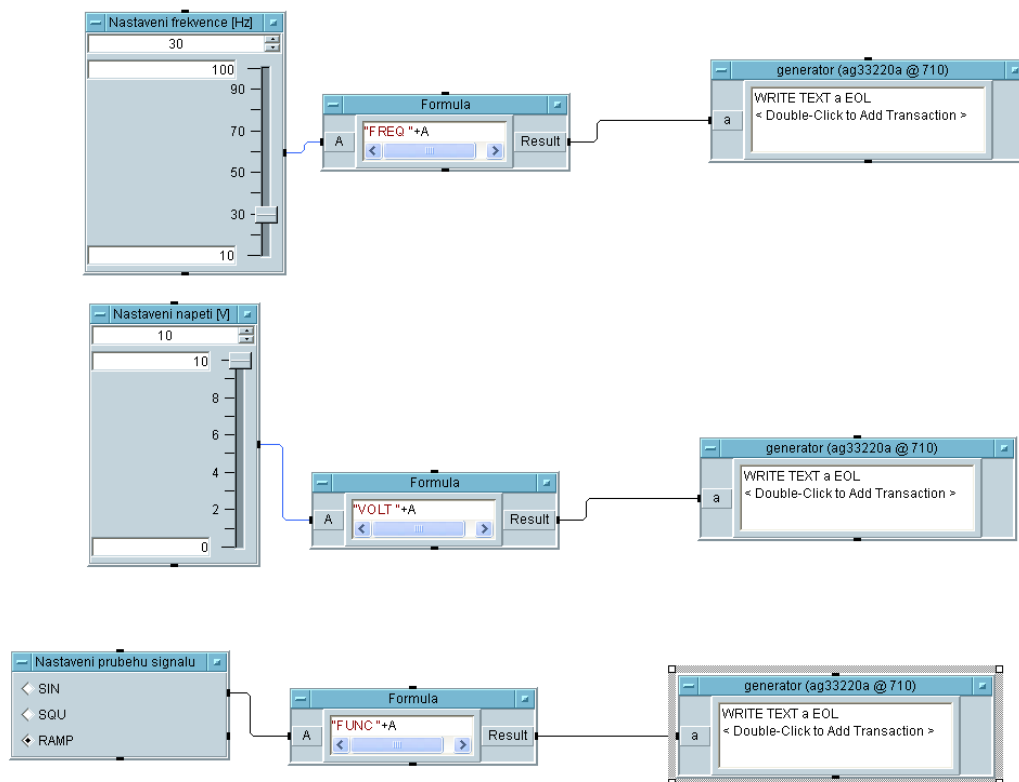
Program, jsem naprogramoval ve virtuálním programovacím prostředí VEE Pro a vytvořil jsem v něm také panel pro měření.

### 7.1 Popis vytvoření programu

Program se ve VEE Pro nevytváří klasickým psaním kódu, nýbrž vkládáním a propojováním objektů. VEE Pro komunikuje s měřicími přístroji pomocí SCPI příkazů. Každý měřicí přístroj, který jsem měl připojený k PC přes GPIB, jsem mohl přes Instrument manager přidat na pracovní plochu jako Direct I/O. Objektu Direct I/O měřicího přístroje jsem pak mohl přes příslušné menu nastavit příkaz SCPI, že chci, aby mi v mém případě „vracel“ efektivní hodnoty elektrických signálů. Poté jsem mohl propojovat virtuálně měřicí přístroj s dostupnými objekty v programu VEE Pro (např. Start, Formula, To File, AlphaNumeric).

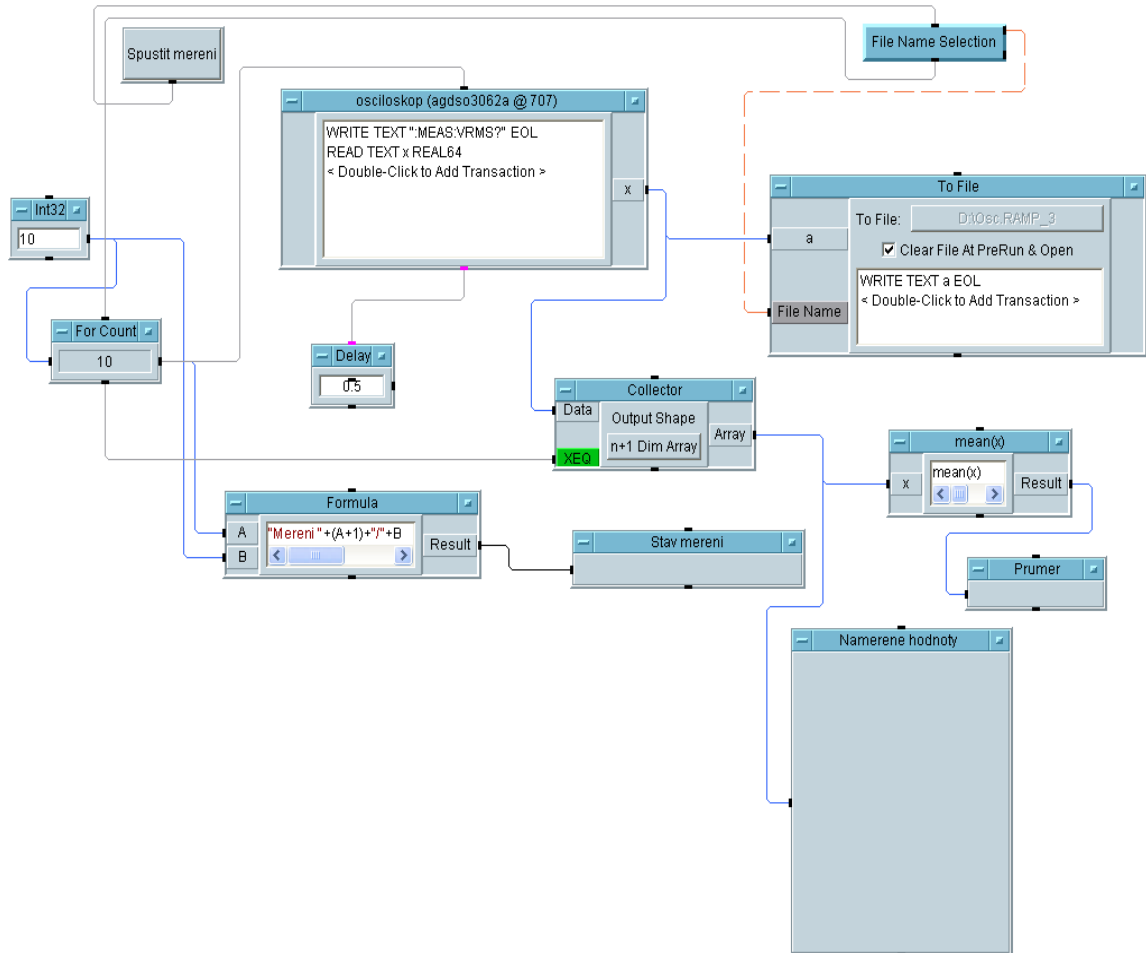
### 7.2 Program vytvořený ve VEE Pro

#### 7.2.1 Ovládání generátoru signálů



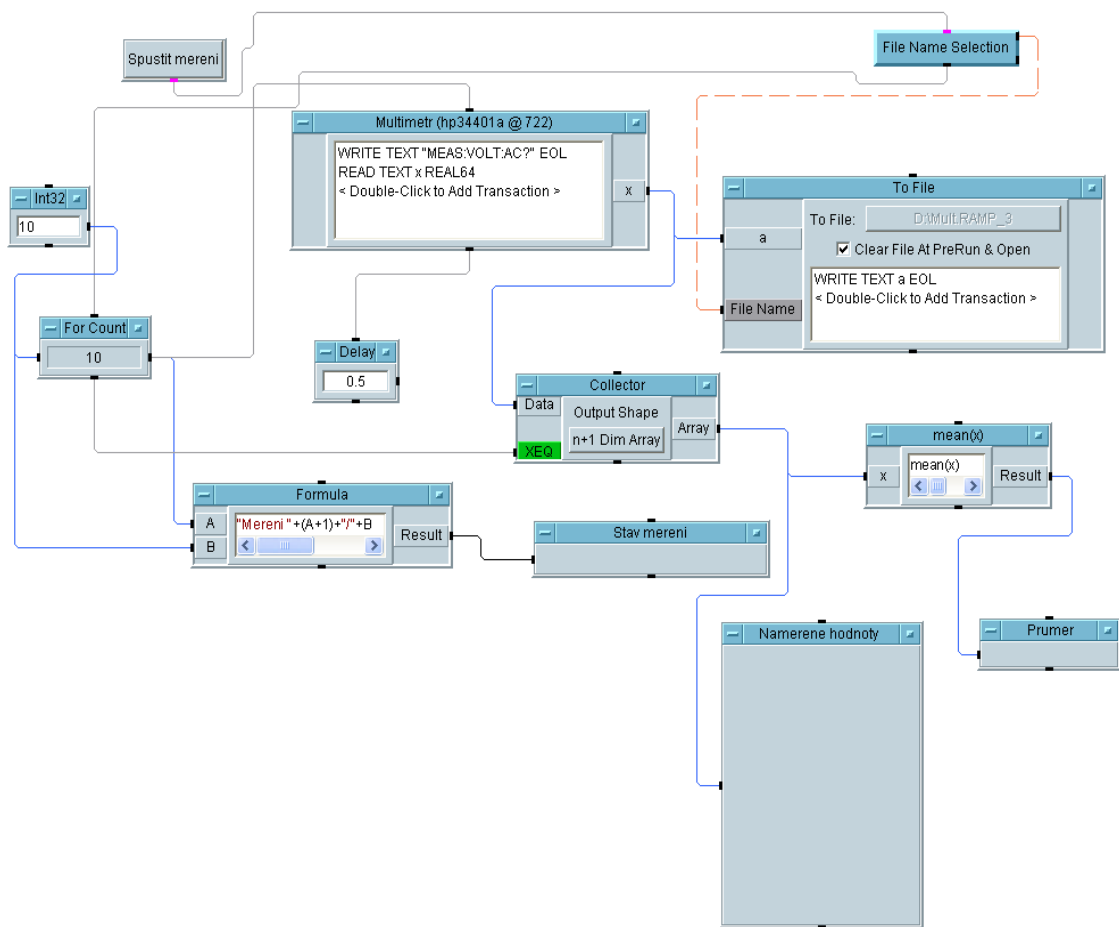
Obr. 13. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – ovládání generátoru signálů.

## 7.2.2 Automatizované měření efektivních hodnot z číslicového osciloskopu



Obr. 14. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – automatizované měření efektivních hodnot z číslicového osciloskopu.

### 7.2.3 Automatizované měření efektivních hodnot z číslicového multimetru



Obr. 15. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – automatizované měření efektivních hodnot z číslicového multimetru.

## 7.3 Panel pro měření efektivní hodnoty

Panel je vytvořen tak, aby byl co nejpřehlednější a uživatelsky přívětivý. Na panelu je vše potřebné pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů. Student tak nemusí nic nastavovat přímo na měřicích přístrojích.

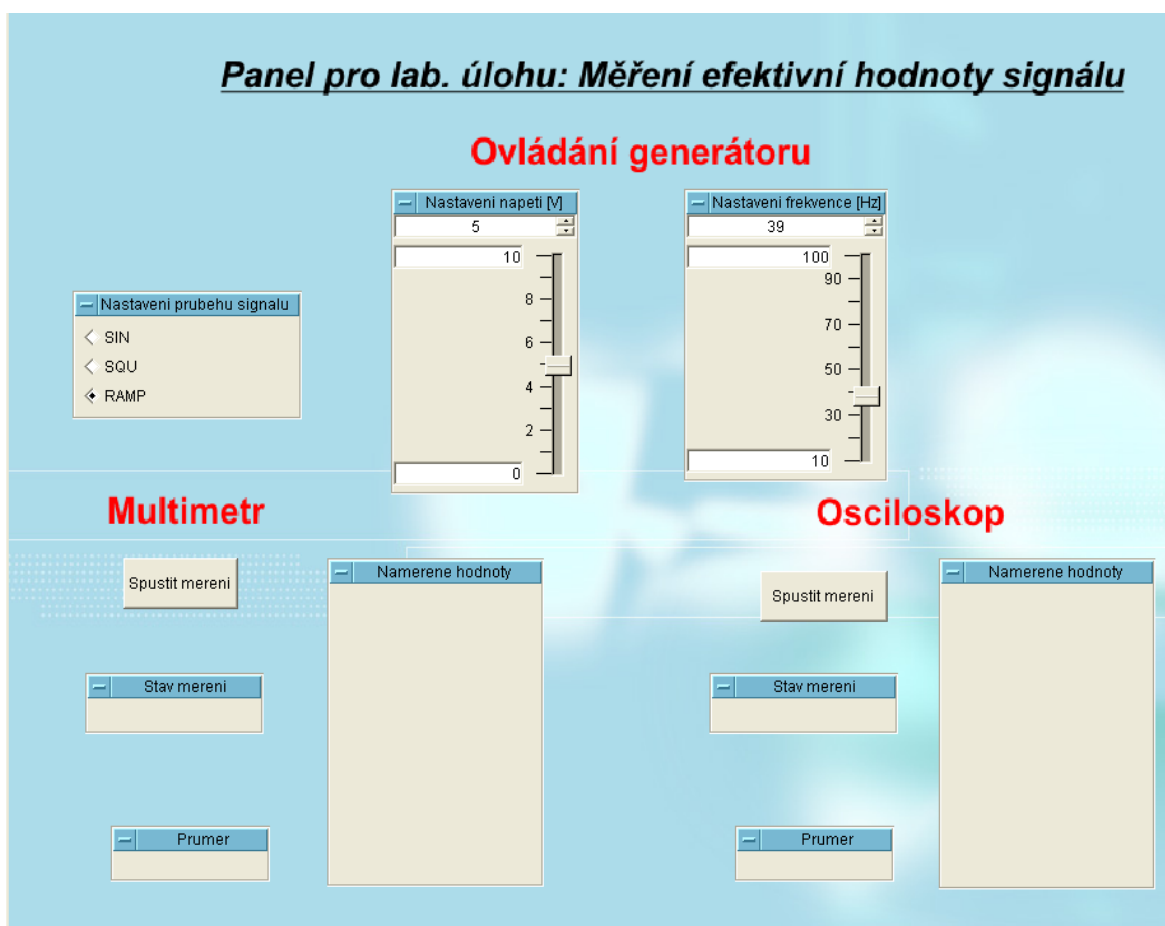
### 7.3.1 Popis vytvoření panelu

Panel jsem vytvořil tak, že objekty, které potřebuji na ovládání generátoru nebo na zobrazení výsledků jsem přesunul na Panel View. To jsem udělal tak, že jsem kliknul na objekt v Detail View a poté jsem kliknul na Add to Panel. Takto jsem si jednoduše vše

potřebné přidal na panel. V grafickém editoru jsem vytvořil obrázek, který jsem vložil jako pozadí. Jako finální úpravu jsem provedl estetický přesun objektů na panelu.

### 7.3.2 Popis panelu

V horní části panelu jsou tlačítka pro ovládání generátoru signálů. Student nastaví požadovaný průběh signálu, napětí a frekvenci. Potom ve spodní části panelu u přístroje, kterým chce měřit stiskne tlačítko „Spustit měření“ a vybere kam chce uložit naměřená data. Poté proběhne 10 měření efektivní hodnoty. Na panelu může během měření sledovat stav měření. Po ukončení měření se zobrazí naměřená data na panelu a je okamžitě i vypočten průměr z naměřených dat.

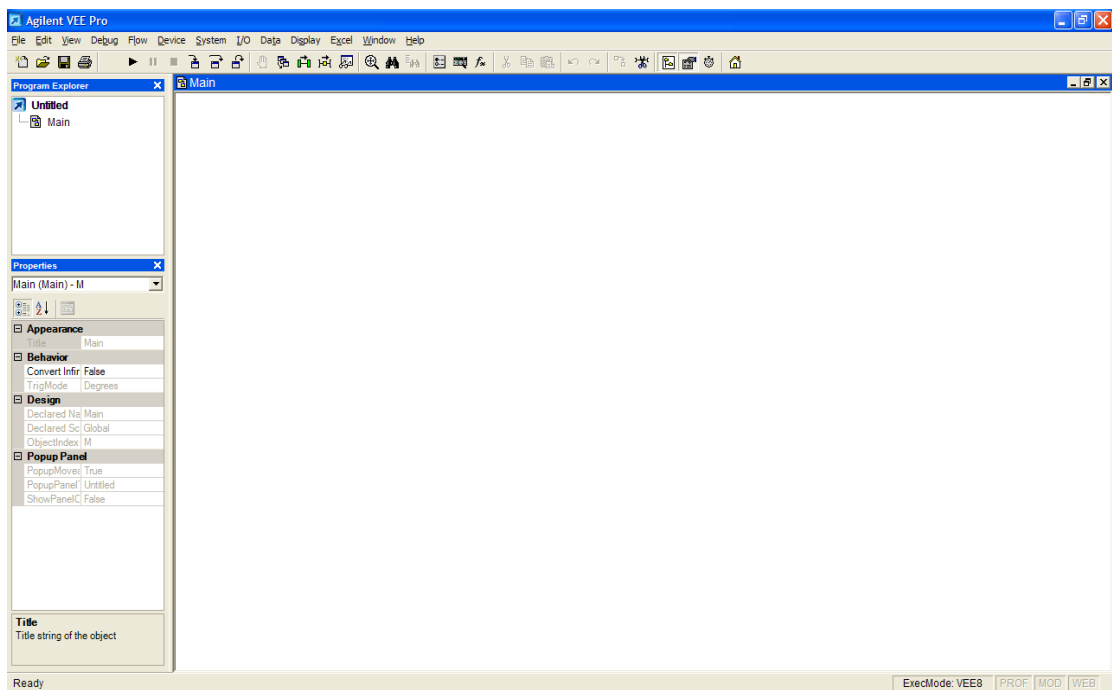


Obr. 16. Panel vytvořený v programu VEE Pro 8.0.

## 7.4 Použitý software

### 7.4.1 Agilent VEE Pro 8.0

Software Agilent VEE Pro je graficky orientované vývojové prostředí pro tvorbu programových aplikací pro automatizaci měřicích procesů, zpracování dat a řízení. Tvorba programu zjednodušeně odpovídá vytváření vývojového diagramu automatizovaného měřicího procesu. Maximální důraz je kladen na jednoduchost propojení s měřicími přístroji prostřednictvím sběrnic GPIB, LAN, USB, RS-232 či VXI, k dispozici jsou ovladače pro více než 1000 měřicích přístrojů od 70 různých výrobců. Velká pozornost je věnována funkcím pro grafické zobrazení a matematické zpracování naměřených dat. Z tohoto důvodu je do prostředí VEE Pro integrován MATLAB Script od společnosti MathWorks včetně The MathWorks Signal Processing Toolbox. Díky tomu má uživatel k dispozici pro zpracování výsledků měření více jak 500 analytických a vizualizačních funkcí z programu MATLAB. Pro snadnou komunikaci s ostatními aplikacemi a zdroji dat obsahuje VEE Pro Active X Automation Server a Microsoft .NET Framework, díky kterým je možné snadno získávat data z jiných aplikací, generovat automatická E-mailová hlášení či automaticky obnovovat data na webových stránkách.



Obr. 17. Prostředí programu Agilent VEE Pro 8.0.

#### 7.4.1.1 Hlavní přednosti VEE Pro

- Výrazně zvyšuje produktivitu práce. Uživatelé vykazují až 80ti procentní zkrácení doby při vytváření programu.
- Široké možnosti použití. Jako například test funkčnosti, ověření návrhu, kalibrace, získávání dat a jejich kontrola.
- Nástroje pro vstupně výstupní přenos. Umožňuje přenos a komunikaci po sériové lince, LAN, PC plugin kart. Umožňuje importovat knihovny od široké palety výrobců měřících přístrojů.
- Používá ActiveX prvek pro automatické řízení jiných programů jako například MS Word, Excel a Access, které používá k exportu a ukládání získaných dat a jejich následného použití.
- Zvyšuje výkonnost a usnadňuje tvorbu rozsáhlejších programů. VEE obsahuje vlastní kompilační program a pokročilé profesionální vývojové nástroje určené pro tvorbu rozsáhlých programů.
- Podpora textových jazyků Visual Studio .NET. Veškeré textové jazyky, které umožňuje Visual Studio .NET mohou být použity i ve VEE Pro. VEE Pro taktéž umožňuje i použití jiných textových jazyků jako například C/C++, Visual Basic, Pascal a Fortran. [17]

## 8 MĚŘENÍ EFEKTIVNÍCH HODNOT ELEKTRICKÝCH SIGNÁLŮ

### 8.1 Popis měření

Provedl jsem měření efektivních hodnot elektrických signálů na automatizovaném pracovišti. Pro měření jsem použil software, který jsem vytvořil. Dále jsem provedl měření efektivních hodnot elektrických signálů pomocí ručkového voltmetru. S každým z uvedených přístrojů jsem provedl měření velikosti napětí pro 3 různé typy signálů – „sinusovka“, „čtverec“, „pila“. Měření jsem provedl pro každý typ průběhu 3x po 10 pokusech. Na generátoru jsem nastavil napětí 10V a frekvenci 30 Hz.



Obr. 18. Ručkový voltmetr

## 8.2 Vypočítané hodnoty

### 8.2.1 Výpočet efektivní hodnoty pro sinusový průběh

$$u_{ef} = \frac{u_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,071 \text{ V}$$

### 8.2.2 Výpočet efektivní hodnoty pro čtvercový průběh

$$u_{ef} = u_{\max}$$

$$u_{ef} = 10 \text{ V}$$

### 8.2.3 Výpočet efektivní hodnoty pro pilovitý průběh

$$u_{ef} = \frac{u_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,774 \text{ V}$$

## 8.3 Naměřené hodnoty

### 8.3.1 Ručkový voltmetr

*Tab. 1. Naměřené hodnoty ručkovým voltmetrem pro sinusový průběh.*

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	7,01	7,02	7,05
2	7,02	7,02	7,06
3	7,03	7,01	7,02
4	7,02	7,02	7,05
5	7,04	7,01	7,01
6	7,01	7,02	7,01
7	7,01	7,03	7,06
8	7,05	7,04	7,03
9	7,03	7,02	7,02
10	7,03	7,03	7,04
průměr	7,025	7,022	7,035
s. odch.	0,004	0,003	0,006
max.	7,05	7,04	7,06
min.	7,01	7,01	7,01



*Tab. 2. Naměřené hodnoty ručkovým  
voltmetrem pro čtvercový průběh.*

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	10,99	10,98	10,98
2	10,98	10,99	10,98
3	10,98	10,99	10,97
4	10,98	10,99	10,98
5	10,97	10,98	10,97
6	10,97	10,97	10,98
7	10,99	10,98	10,97
8	10,99	10,98	10,99
9	10,98	10,97	10,98
10	10,97	10,98	10,99
<b>průměr</b>	10,980	10,981	10,979
<b>s. odch.</b>	0,003	0,002	0,002
<b>max.</b>	10,99	10,99	10,99
<b>min.</b>	10,97	10,97	10,97

*Tab. 3. Naměřené hodnoty ručkovým  
voltmetrem pro pilovitý průběh.*

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	5,59	5,60	5,59
2	5,58	5,58	5,57
3	5,60	5,58	5,58
4	5,59	5,59	5,58
5	5,58	5,57	5,57
6	5,57	5,57	5,59
7	5,59	5,59	5,60
8	5,59	5,58	5,58
9	5,59	5,57	5,59
10	5,60	5,58	5,59
<b>průměr</b>	5,588	5,581	5,584
<b>s. odch.</b>	0,003	0,003	0,003
<b>max.</b>	5,60	5,60	5,60
<b>min.</b>	5,57	5,57	5,57

## 8.3.2 Číslicový multimetr

Tab. 4. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro sinusový průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	7,046288	7,045714	7,045675
2	7,045761	7,045710	7,045708
3	7,045738	7,045723	7,045718
4	7,045699	7,045695	7,045706
5	7,045686	7,045723	7,045718
6	7,045675	7,045701	7,045656
7	7,045639	7,045723	7,045703
8	7,045673	7,045693	7,045613
9	7,045729	7,045701	7,045635
10	7,045652	7,045684	7,045650
průměr	7,046	7,046	7,046
s. odch.	0,000	0,000	0,000
max.	7,05	7,05	7,05
min.	7,05	7,05	7,05

Tab. 5. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro čtvercový průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	9,973829	9,973993	9,974203
2	9,973846	9,974016	9,974197
3	9,973842	9,974021	9,974210
4	9,973846	9,973988	9,974208
5	9,973887	9,974049	9,974195
6	9,973887	9,974019	9,974186
7	9,973889	9,974046	9,974145
8	9,973872	9,974057	9,974182
9	9,973889	9,974081	9,974171
10	9,973857	9,974081	9,974156
průměr	9,974	9,974	9,974
s. odch.	0,000	0,000	0,000
max.	9,97	9,97	9,97
min.	9,97	9,97	9,97

Tab. 6. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro pilovitý průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	5,752367	5,752407	5,752375
2	5,752401	5,752330	5,752304
3	5,752336	5,752259	5,752362
4	5,752296	5,752173	5,752455
5	5,752298	5,752212	5,752530
6	5,752287	5,752190	5,752474
7	5,752315	5,752199	5,752549
8	5,752351	5,752317	5,752487
9	5,752399	5,752386	5,752526
10	5,752364	5,752465	5,752517
průměr	5,752	5,752	5,752
s. odch.	0,000	0,000	0,000
max.	5,75	5,75	5,75
min.	5,75	5,75	5,75

### 8.3.3 Číslicový osciloskop

Tab. 7. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro sinusový průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	7,068	7,068	7,065
2	7,065	7,071	7,063
3	7,065	7,071	7,065
4	7,071	7,068	7,065
5	7,065	7,065	7,071
6	7,065	7,065	7,068
7	7,065	7,068	7,068
8	7,071	7,065	7,065
9	7,068	7,065	7,065
10	7,071	7,068	7,065
průměr	7,067	7,067	7,066
s. odch.	0,001	0,001	0,001
max.	7,07	7,07	7,07
min.	7,07	7,07	7,06

Tab. 8. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro čtvercový průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	9,936	9,940	9,940
2	9,942	9,940	9,934
3	9,936	9,940	9,940
4	9,936	9,936	9,938
5	9,938	9,938	9,936
6	9,936	9,938	9,940
7	9,938	9,936	9,944
8	9,940	9,942	9,936
9	9,938	9,938	9,942
10	9,938	9,938	9,940
průměr	9,938	9,939	9,939
s. odch.	0,001	0,001	0,001
max.	9,94	9,94	9,94
min.	9,94	9,94	9,93

Tab. 9. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro pilovitý průběh.

č. pokusu	1	2	3
č. měření	U [V]		
1	5,977	5,977	5,980
2	5,973	5,980	5,977
3	5,983	5,973	5,977
4	5,977	5,980	5,973
5	5,977	5,977	5,977
6	5,970	5,973	5,977
7	5,980	5,973	5,977
8	5,977	5,980	5,973
9	5,983	5,977	5,973
10	5,977	5,977	5,977
průměr	5,977	5,977	5,976
s. odch.	0,001	0,001	0,001
max.	5,98	5,98	5,98
min.	5,97	5,97	5,97

## 8.4 Srovnání naměřených dat

*Tab. 10. Vyhodnocení 3 měření ručkovým voltmetrem.*

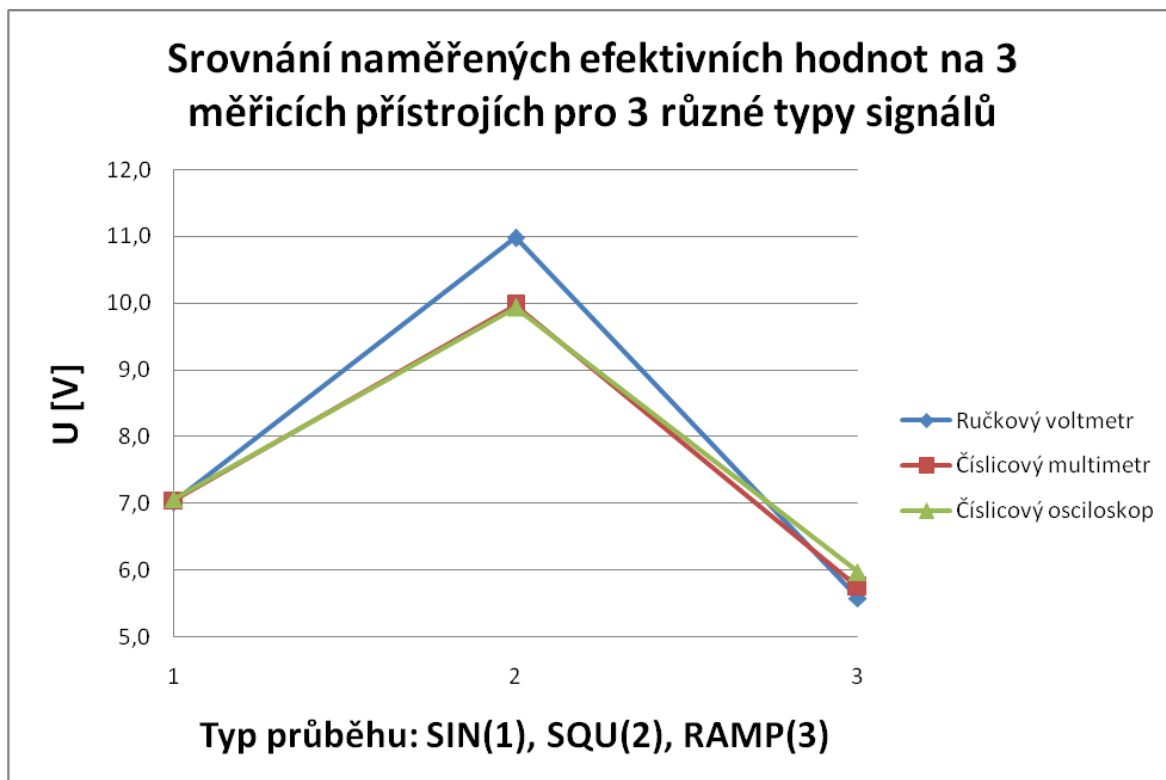
Typ průběhu	SIN	SQU	RAMP
<b>3 měření</b>	<b>U [V]</b>		
<b>průměr</b>	7,027	10,980	5,584
<b>s. odch.</b>	0,005	0,002	0,003
<b>max.</b>	7,06	10,99	5,6
<b>min.</b>	7,01	10,97	5,57

*Tab. 11. Vyhodnocení 3 měření číslicovým multimetrem.*

Typ průběhu	SIN	SQU	RAMP
<b>3 měření</b>	<b>U [V]</b>		
<b>průměr</b>	7,046	9,974	5,752
<b>s. odch.</b>	0,000	0,000	0,000
<b>max.</b>	7,05	9,97	5,75
<b>min.</b>	7,05	9,97	5,75

*Tab. 12. Vyhodnocení 3 měření číslicovým osciloskopem.*

Typ průběhu	SIN	SQU	RAMP
<b>3 měření</b>	<b>U [V]</b>		
<b>průměr</b>	7,067	9,938	5,977
<b>s. odch.</b>	0,001	0,001	0,001
<b>max.</b>	7,07	9,94	5,98
<b>min.</b>	7,06	9,93	5,97



*Obr. 19. Graf, který srovnává naměřené efektivní hodnoty na 3 měřicích přístrojích pro 3 různé typy signálů.*

## 8.5 Závěr

V tabulkách jsem uvedl efektivní hodnoty u každého přístroje. Z grafu, který srovnává přesnost provedených měření je vidět, že 30 pokusů na každém měřicím přístroji je dostatečné a odchylka je minimální. Vypočítal jsem efektivní hodnotu pro každý typ průběhu, který jsem měřil. Vypočítané hodnoty považuji za nejpřesnější, tudíž mohu říci, že sinusový průběh měří nejpřesněji číslicový osciloskop, čtvercový a pilovitý průběh měří nejpřesněji číslicový multimetr. Myslel jsem, že naměřené hodnoty ručkovým měřicím přístrojem budou mnohem méně přesné, ale mýlil jsem se. Je velmi pravděpodobné, že při měření ručkovým měřicím přístrojem vznikla chyba měření pozorovatelem. Při automatizovaném měření se nemůže stát, že pozorovatel špatně odečte naměřenou hodnotu. Ze všech třech typů signálu je nejefektivnější čtvercový signál, jelikož přenese nejvíce výkonu. Poté sinusovka a na konec pila. Efektivní hodnota napětí je úměrná ploše pod křivkou výkonu, tedy čím bude tato plocha menší, tím menší bude efektivní hodnota napětí.

## 9 KONCEPCE LABORATORNÍ ÚLOHY DO PŘEDMĚTU „ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ“

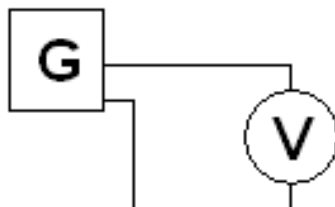
### 9.1 Měření efektivní hodnoty signálu

#### 9.1.1 Cíl

Cílem laboratorní úlohy je seznámit studenty s měřením efektivních hodnot elektrických signálů na automatizovaném pracovišti.

#### 9.1.2 Zadání

Proveďte kontrolu zapojení automatizovaného pracoviště. Jako voltmetr použijte postupně ručkový voltmetr, digitální multimetr a osciloskop. S každým z uvedených měřicích přístrojů proveďte měření velikosti napětí pro 3 různé typy signálů – „sinusovka“, „čtverec“, „píla“. Měření efektivních hodnot a nastavení generátoru signálů proveďte v programu pro automatizovaný sběr dat.



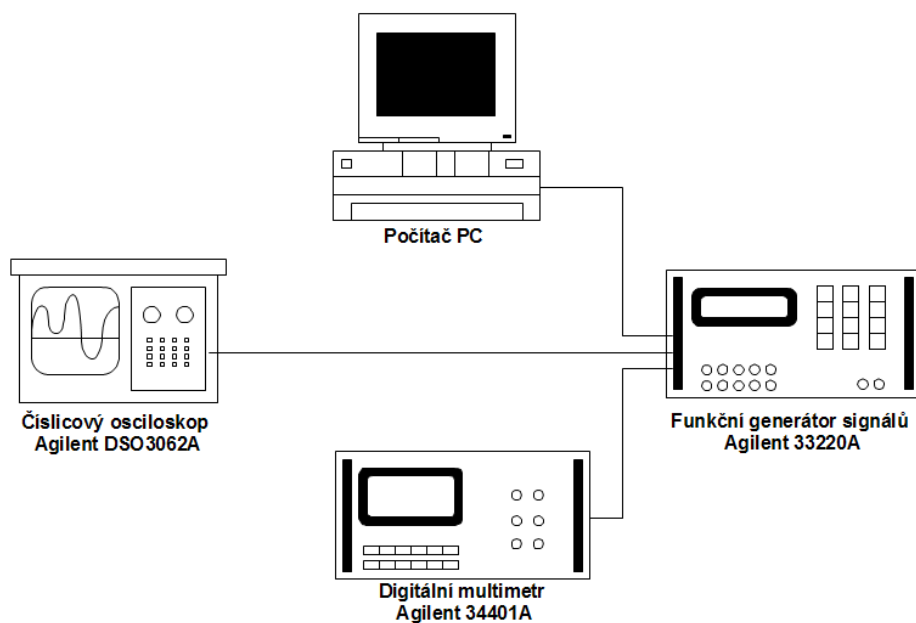
Obr. 20. Schéma zapojení.

Porovnejte naměřené hodnoty od jednotlivých měřicích přístrojů. Vypočtete skutečnou hodnotu naměřených napětí. Porovnejte vypočtenou hodnotu napětí s hodnotou amplitudy, nastavené na funkčním generátoru. Odůvodněte případné rozdíly.

### 9.1.3 Použité přístroje

- Funkční generátor
- Ručkový voltmetr
- Digitální multimetr
- Osciloskop

### 9.1.4 Popis automatizovaného pracoviště

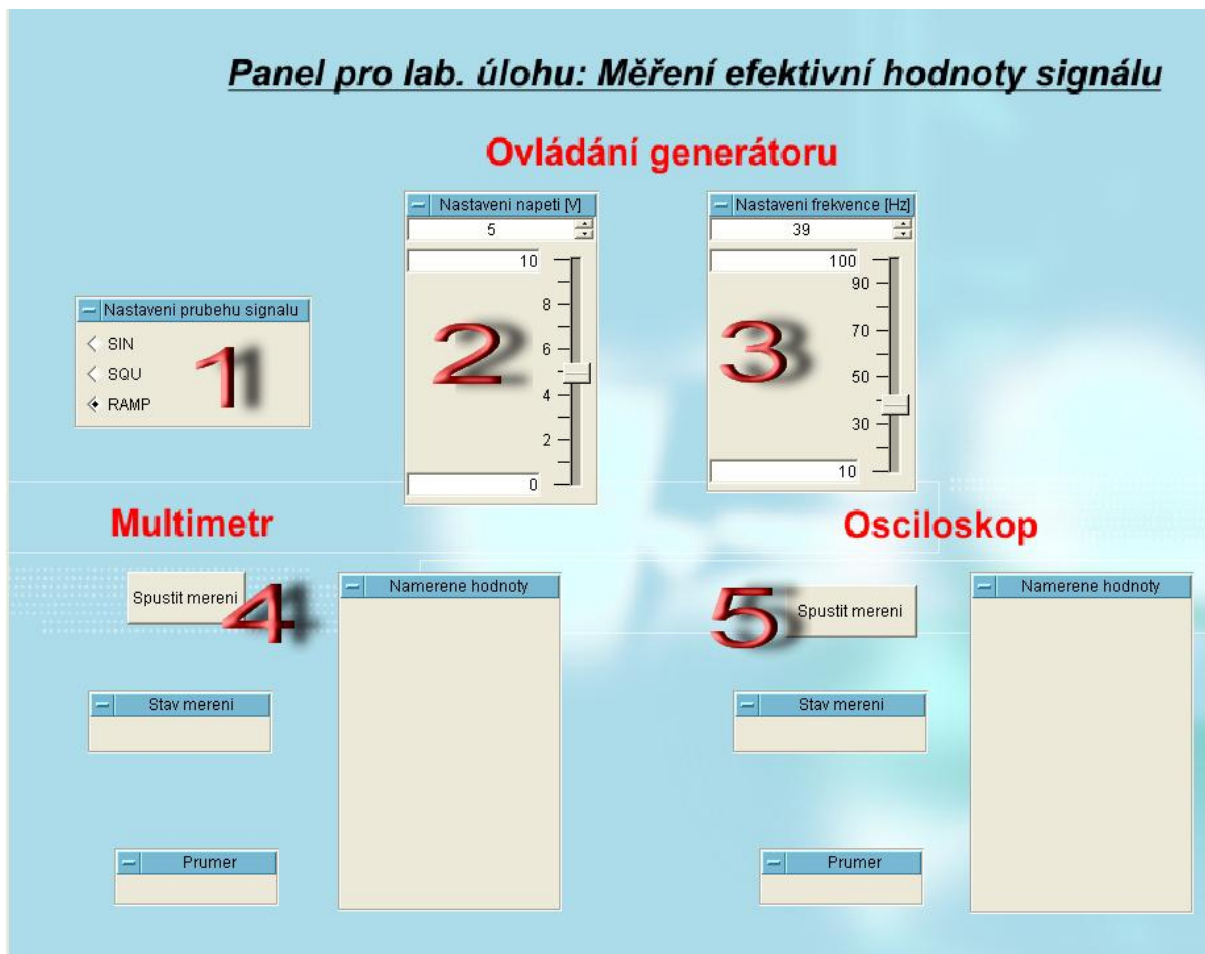


Obr. 21. Propojení měřicích přístrojů s PC.

### 9.1.5 Popis panelu pro měření v programu VEE Pro

1. Nastavení průběhu signálu
2. Nastavení napětí
3. Nastavení frekvence
4. Spustit měření na multimetru
5. Spustit měření na osciloskopu





Obr. 22. Popis panelu pro měření v programu VEE Pro.

### 9.1.6 Bezpečnostní pokyny

- V případě jakéhokoli nebezpečí, problému, nesprávné funkce proveďte vytažení flexošňůry ze zásuvky 230V/50 Hz.
- Nepoškozujte a nemanipulujte s flexošňůrou 230V/50Hz.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo realizovat pracoviště pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů a to včetně programového vybavení.

V úvodu teoretické části jsou vysvětleny základní pojmy z měření v elektrotechnice a pojem automatizované měření. Dále je popsáno, jakými způsoby se měří stejnosměrné a střídavé napětí a jaké chyby při měření vznikají jak na číslicových, tak i na analogových měřicích přístrojích. Také jsem v této části práce vysvětlil pojmy efektivní hodnota střídavého proudu a napětí.

V praktické části práce následoval popis zapojení automatizovaného pracoviště přes sběrnici GPIB a následně je popsán vývoj programového vybavení. Programové vybavení jsem vytvořil v programu VEE Pro, což je virtuální programovací prostředí. V programu VEE Pro jsem také vytvořil panel, přes který lze ovládat generátor signálů a zobrazovat naměřené hodnoty. V této části práce jsem také uvedl základní parametry použitých přístrojů pro automatizovaný sběr dat při měření efektivních hodnot elektrických signálů a u každého jsem vysvětlil, jak funguje. V další kapitole jsem provedl několik měření efektivních hodnot elektrických signálů na automatizovaném pracovišti. Nejprve jsem vypočítal efektivní hodnoty pro každý typ signálu. Tyto výsledky jsem považoval za nejpřesnější. Provedl jsem porovnání s naměřenými hodnotami a došel jsem k závěrům, že sinusový průběh měří nejpřesněji číslicový osciloskop, čtvercový a pilovitý průběh měří nejpřesněji číslicový multimetr. Z naměřených dat je také zřejmé, že při měření na automatizovaném pracovišti došlo k minimální odchylce a to byly provedeny 3 měření po 10-ti pokusech. Pro lepší představu jsem výsledky měření vynesl do grafu. Na závěr bakalářské práce jsem navrhl koncepci laboratorní úlohy do předmětu „Zpracování signálů“.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of my bachelor thesis was to create a working site for the automated data collecting whilst measuring the effective value of the electrical signals including software.

In the beginning of the theoretical part there are some explanations of the basic notions concerning measuring in electrotechnics and automated measuring. Then you can find how it is possible to measure DC and AC electric voltage and which mistakes can rise whilst using digital or analog instruments. In this part I have also explained notions like effective value of alternating current and voltage.

In the practical part I have described linkage of the automatized working place through GPIB bus and development of the software. The software was made in the VEE Pro, which is a virtual programming environment. In this programme I have also created a panel, through which it is possible to control generator of signals and display measuring data. In this part I have also mentioned the basic characteristics of the used instruments for measuring the effective value of the electrical signals. There is also explained how each of them works. In the next chapter I have measured several effective values of the electrical signals on the automatized working place. Firstly I have counted the effective values for every type of signal. I have considered them as the most accurate results. I have compared them with the measuring data. My conclusion is that sine wave is most accurately measured by digital oscilloscope, for square and ramp wave it is best to use digital multimeter. The measuring data show only minimum deviation while measuring three times by ten attempts. The enclosed graph illustrates the results. Finally I have proposed the conception of the laboratory essay for the subject "Processing of Signals".

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Elektrotechnická měření*. 1. vyd. Praha : BEN, 2004. 256 s. ISBN 80-7300-022-9.
- [2] *www.htest.cz* [online]. 2007 [cit. 2007-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.htest.cz/index.php?produkt=159>.
- [3] *TR instruments spol. s r.o.* [online]. 1991-2007 [cit. 2007-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.trinstruments.cz/produkty/provozni/multimetry/analogove/mx-1.html>.
- [4] BARTUŠEK, Karel, et al. *Měření v elektrotechnice : Návody k laboratorním cvičením*. Brno : [s.n.], 2006. 120 s.
- [5] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika : Elektřina a magnetismus*. Brno, Praha : Vutium, Prometheus, 2001. 344 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [6] GESCHEIDTOVÁ, Eva, REZ, Jiří, STEINBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice*. Brno : VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2002. 185 s.
- [7] *Wikipedie, Otevřená encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2007-05-16]. Dostupný z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Efektivn%C3%AD\\_hodnota](http://cs.wikipedia.org/wiki/Efektivn%C3%AD_hodnota).
- [8] SEDLÁK, Bedřich, ŠTOLL, Ivan. *Elektřina a magnetismus*. Praha : Academia, 2002. 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [9] HAASZ, Vladimír, SEDLÁČEK, Miloš. *Elektrická měření : Přístroje a metody*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. 337 s. ISBN 80-01-02731-7.
- [10] BEJČEK, Ludvík, et al. *Měření v elektrotechnice*. Brno : VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2003. 241 s.
- [11] *www.htest.cz* [online]. 2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.htest.cz/index.php?produkt=86>.
- [12] *Agilent* [online]. 2000-2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.home.agilent.com/USeng/nav/-536902749.536905607/pd.html>.

- [13] *www.htest.cz* [online]. 2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW:  
<http://www.htest.cz/index.php?produkt=18>.
- [14] *Agilent* [online]. 2000-2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW:  
<http://www.home.agilent.com/USeng/nav/-536902257.536883183/pd.html>.
- [15] *www.htest.cz* [online]. 2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW:  
<http://www.htest.cz/index.php?produkt=25>.
- [16] *Agilent* [online]. 2000-2007 [cit. 2007-05-17]. Dostupný z WWW:  
<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?cc=US&lc=eng&ckey=1000001295:epsg:pro&nid=-536902435.536880933.00&id=1000001295:epsg:pro&cmpid=90131>.
- [17] SLUŠTÍK, Radek. *Uživatelský manuál Agilent VEE Pro 7.5*. [s.l.], 2006. 108 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Bakalářská práce.
- [18] JACOB, Fraden. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. 2nd edition. New York : Springer Verlag, 1996. – s.
- [19] AGILENT TECHNOLOGIES. *Agilent VEE Pro User's Guide*. 9th edition. [s.l.] : [s.n.], 2005. 627 s.
- [20] *Efektivní hodnota střídavého proudu* [online]. 2007 [cit. 2007-05-20]. Dostupný z WWW:  
[http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden\\_prechod/ef\\_hodnota.html](http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden_prechod/ef_hodnota.html).

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	ampér
C	Coulomb
F	Farad
f	frekvence
GPIO	General Purpose Interface Bus
I	elektrický proud
J	Joule
LAN	local area network
LCD	liquid crystal display
PC	personal computer
PCI	peripheral component interconnect
Q	elektrický náboj
SCPI	Standard Commands for Programmable Instrumentation
SW	Software
T	perioda
t	čas
U	elektrické napětí
USB	Universal Serial Bus
VGA	Video Graphics Array
Wb	Weber
$\Omega$	Ohm

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Digitální multimetr Agilent U1252A. [2]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Analogový multimetr. [3]</i> .....	13
<i>Obr. 3. K definici proudu a jeho hustoty.</i> .....	22
<i>Obr. 4. Automatizované měřicí pracoviště.</i> .....	30
<i>Obr. 5. Schéma zapojení automatizovaného měřicího pracoviště.</i> .....	31
<i>Obr. 6. Základní princip číslicového osciloskopu.</i> .....	32
<i>Obr. 7. Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A – pohled zepředu. [12]</i> .....	35
<i>Obr. 8. Číslicový osciloskop Agilent DSO3062A – pohled zezadu. [12]</i> .....	35
<i>Obr. 9. Blokové schéma funkčního generátoru.</i> .....	36
<i>Obr. 10. Funkční generátor signálů Agilent 33220A. [14]</i> .....	38
<i>Obr. 11. Základní blokové schéma číslicového multimetru.</i> .....	39
<i>Obr. 12. Digitální multimetr Agilent 34401A. [16]</i> .....	40
<i>Obr. 13. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – ovládání generátoru signálů.</i> .....	41
<i>Obr. 14. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – automatizované měření.</i> .....	42
<i>Obr. 15. Část vytvořeného programu ve VEE Pro – automatizované měření.</i> .....	43
<i>Obr. 16. Panel vytvořený v programu VEE Pro 8.0.</i> .....	44
<i>Obr. 17. Prostředí programu Agilent VEE Pro 8.0.</i> .....	45
<i>Obr. 18. Ručkový voltmetr</i> .....	47
<i>Obr. 19. Graf, který srovnává naměřené efektivní hodnoty na 3 měřicích přístrojích</i> .....	54
<i>Obr. 20. Schéma zapojení.</i> .....	55
<i>Obr. 21. Propojení měřicích přístrojů s PC.</i> .....	56
<i>Obr. 22. Popis panelu pro měření v programu VEE Pro.</i> .....	57

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Naměřené hodnoty ručkovým voltmetrem pro sinusový průběh .....</i>	48
<i>Tab. 2. Naměřené hodnoty ručkovým voltmetrem pro čtvercový průběh .....</i>	49
<i>Tab. 3. Naměřené hodnoty ručkovým voltmetrem pro pilovitý průběh .....</i>	49
<i>Tab. 4. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro sinusový průběh .....</i>	50
<i>Tab. 5. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro čtvercový průběh .....</i>	50
<i>Tab. 6. Naměřené hodnoty číslicovým multimetrem pro pilovitý průběh .....</i>	51
<i>Tab. 7. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro sinusový průběh.....</i>	51
<i>Tab. 8. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro čtvercový průběh .....</i>	52
<i>Tab. 9. Naměřené hodnoty číslicovým osciloskopem pro pilovitý průběh .....</i>	52
<i>Tab. 10. Vyhodnocení 3 měření ručkovým voltmetrem .....</i>	53
<i>Tab. 11. Vyhodnocení 3 měření číslicovým multimetrem.....</i>	53
<i>Tab. 12. Vyhodnocení 3 měření číslicovým osciloskopem.....</i>	53



## SEZNAM PŘÍLOH

PI: Disk CD s aplikací a bakalářskou prací.