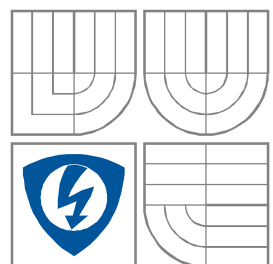




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

DISTANČNÍ PRAKTICKÁ VÝUKA ELEKTRICKÝCH STROJŮ

DISTANCE PRACTICAL EDUCATION OF ELECTRIC MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Šelepa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Šelepa Jan

Ročník: 3

ID: 78320

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Distanční praktická výuka elektrických strojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte způsob realizace praktické laboratorní výuky v oblasti elektrických strojů formou virtuální laboratoře.
2. Zvolte vhodnou laboratorní úlohu pro virtuální řešení.
3. Vypracujte návrh systému virtuálního měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 06.06.2008

Vedoucí projektu: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Jan Šelep

Bytem: Bořetín 26

Narozen (datum a místo): 18.11.1985 v Českých Budějovicích

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá

elektrotechnika a elektroenergetika

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

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

☐ disertační práce

☐ diplomová práce

☒ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	DISTANČNÍ PRAKTICKÁ VÝUKA ELEKTRICKÝCH STROJŮ
Vedoucí/ školitel VŠKP:	prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.
Ústav:	Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Datum obhajoby VŠKP:	

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

☒ tištěné formě – počet exemplářů 1

☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

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

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

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

Článek 3

Závěrečná ustanovení

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

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Tato práce obsahuje návrh praktické distanční výuky elektrických strojů. Skládá se ze tří částí, které jsou pro návrh nezbytně nutné. V první části se nalézá popis datových sítí využívaných ke komunikaci s virtuální laboratoří. Dále se nalézá výčet dostupného softwaru, vhodného pro danou problematiku. Jsou to programy schopné ovládat měřicí techniku, např. LabView, Control Web, TestPoint, ScopeWin a další.

V druhé části je uveden výběr měřené úlohy. Konkrétně měření účinnosti třífázového transformátoru. Toto měření bylo reálně provedeno a byly zpracovány výsledky do tabulek a grafu.

V poslední části byla ze zpracovaných výsledků vytvořena funkční simulace měření za pomoci programu MS Excel. Dále byly vypočteny parametry náhradního schématu transformátoru, které odpovídají reálným hodnotám naměřených v laboratoři.

Abstract

This work contains scheme of practical point of distance training in the field of electric machines. It consists of three parts necessary for consistence of entire work.

In first part we have a description of data networks used to communication with virtual laboratory. Further there is a list and description of software fit for our study. These are programs capable of controlling measurements, e.g. . LabView, Control Web, TestPoint, ScopeWin etc.

In second part we have selection of measurement experiment. As experiment i measured the effectiveness of three-phase transformer. The values achieved during the experiment were recorded and processed into form of graph and tables.

In last part i used processed results to create functional simulation of measurement using MS Excel software. Further i calculated characteristics for equivalent circuit diagram of the transformer, that were equivalent to the real values measured in laboratory.

Klíčová slova

Control Web; datové sítě; datový soubor; distanční výuka; Electronics Workbench Multisim; LabView; ISES; náhradní schéma transformátoru; ScopeWin; Testpoint; transformátor; účinnost; virtuální laboratoř; vzdálená laboratoř; ztráty

Keywords

Control Web; data networks; data file; distance education; distant laboratory; effectivity; equivalent circuit diagram of transformer; Electronics Workbench Multisim; LabView; ISES; power dissipation; ScopeWin; Testpoint; transformer; virtual laboratory

Bibliografická citace

ŠELEPA, J. *Distanční praktická výuka elektrických strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 41 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **DISTANČNÍ PRAKTICKÁ VÝUKA ELEKTRICKÝCH STROJŮ** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

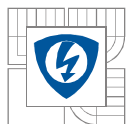
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vítězslavu Hájkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

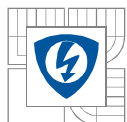
V Brně dne

Podpis autora



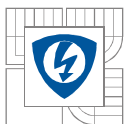
OBSAH

1 ÚVOD	14
2 NÁVRH ZPŮSOBU REALIZACE PRAKTICKÉ LABORATORNÍ VÝUKY V OBLASTI ELEKTRICKÝCH STROJŮ FORMOU VIRTUÁLNÍ LABORATOŘE.....	14
2.1 VOLBA PŘENOSOVÉHO PROSTŘEDÍ.....	14
2.1.1 DRUHY SÍTÍ	14
2.2 VYBAVENÍ VHODNÝMI PROGRAMY	16
2.2.1 LABVIEW	16
2.2.2 INTERAKTIVNÍ INTERNETOVÉ LABORATORNÍ STUDIO ISES.....	18
2.2.3 CONTROL WEB.....	19
CONTROL WEB V ROLI FIREMNÍHO WWW SERVERU.....	20
CONTROL WEB JAKO AUTOMATICKÝ REGISTRAČNÍ A AKTIVAČNÍ SERVER A WEBOVÝM A SMS ROZHRANÍM	22
2.2.4 SYSTÉM SCOPEWIN	23
2.2.5 TESTPOINT	26
2.2.6 ELECTRONICS WORKBENCH MULTISIM 10.0.....	28
3 VOLBA VHODNÉ LABORATORNÍ ÚLOHY PRO VIRTUÁLNÍ ŘEŠENÍ.	29
3.1 ZADÁNÍ:	29
3.2 TEORETICKÝ ROZBOR:	29
3.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ:.....	31
4 VYPRACOVÁNÍ NÁVRHU SYSTÉMU VIRTUÁLNÍHO MĚŘENÍ.....	32
4.1 ZÍSKÁNÍ POTŘEBNÝCH HODNOT	32
4.1.1 POTŘEBNÉ KOMPONENTY:	32
4.1.2 NÁVRH PRINCIPU MĚŘENÍ:.....	32
4.1.3 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ:	33
4.2 ZPRACOVÁNÍ HODNOT	36
4.2.1 PRÁCE S DATOVÝM SOUBOREM	36
4.2.2 SIMULACE MĚŘENÍ POMOCÍ NÁHRADNÍHO SCHÉMATU.....	37
5 ZÁVĚR.....	39
LITERATURA	40
PŘÍLOHY	41



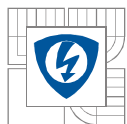
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 - Struktura firemního WWW serveru [6]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2 - Dynamicky generované WWW stránky [6].....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 3 - Struktura registračního a aktivačního systému [6]</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 4 - Dynamicky generované sestavy ve WWW prohlížeči [6]</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 5 - TestPoint demo mode</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 6 - Náhradní zapojení transformátoru v programu Multisim.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 7 - Schéma zapojení vybrané úlohy</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 8 - Schéma zapojení měření ve vzdálené laboratoři</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 9 - Graf závislosti účinnosti na proudu</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 10 - Program Excel - simulace měření naprázdno</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 11 - Program Excel - simulace měření nakrátko</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 12 - Náhradní schéma transformátoru</i>	<i>38</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 – LabView – Grafický programovací jazyk.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 2 – LabView – Přídavné nástroje.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3 – Měření naprázdno $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 4 – Měření nakrátko $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 5 – Vypočtené hodnoty k.....</i>	<i>35</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\cos \varphi$ účinník

ΔP ztráty

f frekvence

I proud

k koeficient

η účinnost

P výkon (příkon)

R odpor

S zdánlivý výkon

$\sin \varphi$ sinus φ

U napětí

X reaktance

A/D Analog/Digital

ATM Asynchronous Transfer Mode

CGI Common Gateway Interface

D/A Digital/Analog

DDE Dynamic data exchange

DLL Dynamic-link library

DTP Data Tools Platform

ECG Electrocardiogram

EEG Electroencephalogram

FFT Fast Fourier Transform

GPB General Purpose Interface Bus

GPRS General Packet Radio Service

HTTP Hypertext Transfer Protocol

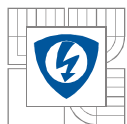
HW Hardware

IIR/FIR Infinite Impulse Response/Finite Impulse Response

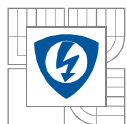
ISES Internet School Experimental System

iSES Intelligent School Experimental Studio

IVI Interchangeable Virtual Instruments



LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MS	Microsoft
ODBC	Open Database Connectivity
OS	Operation System
PC	Personal Computer
PDA	Personal digital assistant
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SMS	Short Message Service
SQL	Structured Query Language
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
THD	Total harmonic distortion
TTL	Transistor-Transistor-Logic
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
VHDL	VHSIC hardware description language
VHSIC	Very High Speed Integrated Circuit
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language



1 ÚVOD

Distanční praktickou výuku elektrických strojů je možné využít k teoretické přípravě studentů před vlastním měřením v laboratořích, nebo pro studenty kombinovaného studia. Následná práce obsahuje postup, jak je možné tuto výuku realizovat. Je potřeba vytvořit funkční komunikaci mezi počítači, ať už přes internet nebo na místní síti intranet. Komunikací rozumíme přenos souborů, sdílení aplikací nebo například vzdálenou kontrolu počítačů. K tomuto základu je vhodné přidat některý z měřicích programů.

V této fázi již vznikne prostředek na vytvoření vzdálené laboratoře. Zda-li tato laboratoř opravdu fyzicky existuje, nebo je vytvořena virtuálně, už závisí na vytvoření aplikace ve zvoleném programu. Ve vytváření aplikace je již zahrnuta konkrétní úloha, se kterou chceme následně pracovat. U kvalitně zpracované aplikace měřené úlohy nemusí vzdálený uživatel ani poznat, zda měření aktuálně probíhá, nebo se jen simuluje z vytvořených datových souborů. V této práci je zvoleno jako virtuální úloha měření účinnosti třífázového transformátoru se zapojením do hvězdy.

2 NÁVRH ZPŮSOBU REALIZACE PRAKTICKÉ LABORATORNÍ VÝUKY V OBLASTI ELEKTRICKÝCH STROJŮ FORMOU VIRTUÁLNÍ LABORATOŘE

Všeobecně lze distanční výuku provádět dvěma způsoby:

- Měření fyzicky probíhá ve vzdálené laboratoři, pomocí počítače nastavujeme požadované parametry jednotlivých veličin, a ovládáme celý průběh měření.
- Měření fyzicky již proběhlo v minulosti a bylo uloženo do datových souborů, ze kterých systém vypočítává (simuluje) hodnoty pro žádané konkrétní zadání, avšak pouze pro přístroje, které byly takto změřeny.

Při návrhu způsobu realizace je zapotřebí několika důležitých věcí, bez kterých se nelze obejít. Je nutné zvolit typ přenosového prostředí, při předpokladu, že bude systém umístěný někde na serveru, aby k němu byl možný kdykoliv přístup. Dále je nutné zvolit vhodné softwarové vybavení.

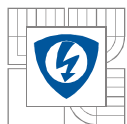
2.1 Volba přenosového prostředí

Nejvhodnější je využít datových sítí, které jsou celosvětově rozšířené.

2.1.1 Druhy sítí

Sítě LAN (local area network)

Síť tohoto typu se rozkládá na geograficky omezeném území. Obvykle nepřesahuje jedinou budovu nebo skupinu propojených budov. Síť se obvykle vyznačuje jednoduchou architekturou a počet počítačů je od několika kusů do několika stovek. Jednotlivá zařízení v síti se nazývají uzly



a jsou propojeny kabeláží. Způsob propojení uzlů sítě se nazývá topologie sítě.

Funkce sítě

Síť LAN umožňuje mimo jiné:

- přenos zpráv
- přenos souborů
- sdílení souborů
- přístup do společných databází
- sdílení aplikací
- tisk na sdílených tiskárnách
- přístup do jiných sítí (např. Internet)
- společnou ochranu dat
- práci na vzdáleném počítači

Počítače

Základním typem uzlu sítě LAN jsou počítače. Jedná se o pracovní nástroj uživatelů sítě, který umožňuje provoz klientských programů a současně zprostředkovává uživateli přístup ke službám dostupným v síti LAN. Obvykle se jedná o běžné počítače IBM PC kompatibilní doplněné o síťový komunikační adaptér.

Servery

Speciální druh počítačů, na kterých jsou ukládána společná data, provozovány společné programy, přes které je zajištěn vstup do dalších sítí apod. Servery obvykle neslouží pro práci běžného uživatele. Jedná se většinou o počítače s rozšířenou konfigurací a zvýšenou spolehlivostí a výkonem. Napájení serverů bývá zálohováno speciálním zdrojem napájení s krátkodobou ochranou proti výpadku rozvodné sítě.

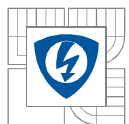
Servery jsou většinou provozovány se speciálním operačním systémem, který je schopen zajistit dlouhodobý a spolehlivý provoz potřebných služeb sítě. Může se jednat o operační systém Linux, operační systémy firmy Microsoft nebo firmy Novell. [1]

Sítě MAN (metropolitan area network)

Sítě tohoto typu jsou vlastně nejsložitější ze všech sítí. Zde začínají a končí veškeré datové toky k jednotlivým uživatelům a síť tak slouží pro propojení uživatelů a jejich lokálních sítí LAN mezi sebou a pro připojení uživatelů k poskytovatelům dalších služeb. Poskytované služby mohou být jak hlasové (telefonní hovory, rozhlasové vysílání), tak datové (přístup k Internetu, virtuální privátní sítě), tak v budoucnu i obrazové (videokonference, digitální televize, video na přání).

Podle povahy služby zde máme dva druhy datového přenosu. Jednak tu jsou časově citlivá data, která musí být přenesena v určitém čase s danou kvalitou, tedy hlavně hlasový a obrazový přenos. Dále zde přenášíme data, která nejsou závislá na konstantní šířce pásma a době zpoždění přenosu – přístup k Internetu, přenos souborů, databází apod. Celý problém z hlediska připojení spočívá nejvíce ve vhodném zabezpečení a efektivním využití obou typů datových toků.

Vlastní metropolitní síť si můžeme rozdělit na dvě následující části:



páteř sítě, která propojuje hlavní a centrální uzly sítě, provádí napojení na národní okruhy a dálkové trasy a poskytovatele služeb a tzv. "poslední míli", neboli místní smyčku nebo také přístupovou síť, která připojuje jednotlivé uživatele do sítě a napojuje je tak na páteř. Páteř metropolitní sítě musí být postavena na optických kabelech. Jako nejvhodnější způsob propojení jednotlivých hlavních přepínačů a směrovačů sítě se dnes jeví použití topologie typu kruh.[2]

Sítě WAN (world area network)

WAN je počítačová síť, která pokrývá rozsáhlou plochu (například síť, která překračuje hranice města, regionu nebo státu). Také tak můžeme označovat síť, která je routery připojena na veřejné telekomunikační linky. Největším a nejznámějším příkladem sítě WAN je síť Internet.

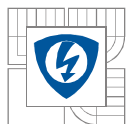
Sítě WAN jsou využívány pro spojení sítí LAN nebo dalších typů sítí, takže uživatelé z jednoho místa mohou komunikovat s uživateli a počítači na místě jiném. Spousta WAN je budována pro jednotlivé společnosti a jsou soukromé. Ostatní, budované poskytovateli připojení, poskytují služby pro připojení sítí LAN do Internetu. Sítě WAN bývají budovány na pronajatých linkách (leased lines). Tyto linky často bývají velmi drahé. Častěji se sítě WAN budují na metodách přepojování okruhů (circuit switching) nebo přepojování paketů (packet switching). Síťové služby používají pro přenos a adresaci protokol TCP/IP. Poskytovatelé služeb připojení častěji používají pro přenos v sítích WAN protokoly ATM a Frame Relay. Protokol X.25 byl užíván v ranných počátcích sítí WAN a bývá označován jako 'praotec' protokolu Frame Relay.[3]

2.2 Vybavení vhodnými programy

V této části se nachází přehled softwaru, kterého lze využít pro komunikaci s virtuální laboratoří. Některé z nich zajišťují kompletní systém, pomocí kterého lze získat potřebná data pro virtuální laboratoř i následný přenos dat přes síť. Poté umožňují simulované měření ve virtuální laboratoři.

2.2.1 LabVIEW

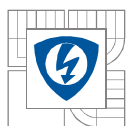
Tento produkt je od firmy National Instruments - grafický programovací jazyk LabVIEW, platí ve světě měřicí a řídicí techniky za standard, s nímž jsou srovnávány ostatní programy. Toto prostředí slouží pro vývoj kompletního systému, zajišťujícího řízení celého procesu sběru měřených dat, jejich analýzy a grafické prezentace. Sběr dat lze provádět z řady zařízení, zahrnujících přístroje vybavené sběrnicemi GPIB, VXI nebo sériovým rozhraním a zásuvných karet do osobních počítačů. Sebraná data lze analyzovat rozsáhlým matematickým aparátem, zahrnujícím knihovny pro generaci signálu, okénkové funkce, digitální filtry, statistiku, analýzu signálu v časové a frekvenční oblasti, regresní funkce, operace s poli a lineární algebru. Výsledkem použití takto komplexního systému pro tvorbu vlastních aplikací je výrazné zvýšení produktivity práce a pružnosti tvorby virtuálních přístrojů, jejichž výkon je na rozdíl od tradičních přístrojů omezen pouze výkonem použitého osobního počítače. V LabVIEW, pracujícím na platformách Windows, Linux, MacOS, SUN a HP-UX se programová aplikace vytváří v jednom okně formou blokového schématu, přičemž ve druhém okně vzniká odpovídající interaktivní přední panel virtuálního přístroje, mající vnitřní návaznost na program -



blokové schéma. Pro tvorbu předního panelu slouží grafické uživatelské rozhraní, které obsahuje rozsáhlou knihovnu grafických objektů, pomocí nichž může panel získat podobu reálného přístroje. Samotná tvorba programu - blokového schématu je usnadněna tím, že zbavuje programátora starosti o řadu syntaktických detailů konvenčního programování. To umožňuje patentovaný model programování, založený na toku dat, nepoužívající lineární architekturu textově orientovaných jazyků. Protože pořadí vykonávání jednotlivých příkazů je v LabVIEW určeno tokem dat mezi bloky a ne sekvenčními řádky textu, lze vytvářet schémata, jež jsou vykonávána simultánně. Virtuální přístroje mají modulární uspořádání, kdy každý přístroj může pracovat samostatně nebo být použit jako část jiného virtuálního přístroje. Každý z nich má vlastní ikonu s konektorem, umožňující hierarchickou stavbu programu kombinací propojených virtuálních přístrojů. LabVIEW je jediným grafickým programovým prostředím, které obsahuje kompilátor, generující optimalizovaný kód, jehož rychlost vykonání je srovnatelná s rychlostí kompilovaných programů v jazyce C.

Tabulka 1 – LabView – Grafický programovací jazyk

Základní balík (BP)	Sběr dat z měřících karet (A/D, D/A, DIO, čítače); GPIB; RS-232/485; VISA; VXI; Programové struktury; Práce se soubory na disku; Tisky; Odladňování funkcí; Multithreading; NET; ActiveX; TCP/IP; UDP; XML; DataSocket; Volání DLL; Express funkce
Úplný vývojový systém (FDS)	Základní balík + Pravděpodobnost a statistika; Prokládání křivek; Fourierova, Hilbertova a další transformace; Amplitudové, fázové, výkonové spektrum; Generace průběhů, šumů; Odezva na impuls; Vyhledání maxim; THD; IIR/FIR filtry; Butterwoth, Chebyshev a další nelineární filtry; Okénkové funkce; Interpolace; Diferenciální rovnice; Optimalizační algoritmy; Řešení polynomických rovnic (kořeny); Integrály; Gamma, Bessel, Jacobi a další fce; Matice; Lineární algebra; 3D grafy; Volání Matlab skriptů; Subpanel; Události
Profesionální vývojový systém (PDS)	Úplný vývojový systém + možnost vytvoření samostatně spustitelné EXE aplikace nebo DLL knihovny a instalačního programu; Porovnávání zdrojových kódů; Podpora programování ve skupině; Nástroje pro tvorbu dokumentace



Tabulka 2 – LabView – Příkladové nástroje

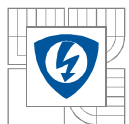
Application Builder	Doplňek do LabVIEW BP nebo FDS pro vytváření samostatně spustitelné EXE aplikace nebo DLL knihovny
Real-Time Modul	Pro tvorbu Real-Time aplikací
FPGA Modul	Programování karty hradlových polí
PDA Modul	Vývoj aplikací pro kapesní počítače PDA. Podpora systémů Pocket PC a Palm OS
Vision Development Modul	Knihovna funkcí pro analýzu obrazu
Report Generation Toolkit	Vytváření tiskových sestav pomocí programu Word a Excel.
Automated Test Toolset	TestStand; Automated test sequencer; Podpora uživatelských profilů; Napojení na databáze; Kontrola kvality; Knihovna IVI ovladačů
Enterprise Connectivity Toolset	Napojení na databáze - SQL, ODBC; Kontrola kvality - statistika, analýza Pareto; Internet komunikace - http, ftp, e-mail, CGI
PID Control Toolset	PID regulátor - autotuning; Fuzzy logic funkce - grafické prostředí návrhu
Signal Processing Toolset	Spojená časově-frekvenční analýza; Návrh digitálních filtrů; Wavelet a Filter Bank; Třetinooktávový filtr; Super-resolution spektrální analýza
System Simulation and Design Toolset	Simulace a řízení nelineárních systémů; Připravené prvky pro PID, relé, filtry atd.; Řízení a monitorování real-time dějů; Bode, Nyquist a Root Locus grafy
Motion Control	Knihovna funkcí pro řízení pohybu

[4]

2.2.2 Interaktivní internetové laboratorní studio iSES

Využívání počítačů ve školních laboratořích fyziky, chemie, biologie, řízení aj. se stává standardní záležitostí. Současné internetové technologie mohou pracovat nejenom se "vzdálenými texty", ale i se "vzdálenými měřícími aparaturami". **Interaktivní internetové laboratorní studio iSES** umožňuje počítač používat jednak jako *lokální měřící prostředek*, jednak jako *měřící systém s přístupem do databanky* experimentů a laboratorních prací a v neposlední řadě pak možnost **pracovat se vzdálenými experimenty**.

Laboratorní studio **iSES** (internetové Školní Experimentální Studio) je široce pojatá platforma pro měření v laboratořích s podporou počítačů na všech úrovních škol (ZŠ, SŠ aj.). Základy jsou položeny na internetové infrastruktuře a na měřících a řídicích systémech ISES a LabVIEW. Pro



nižší nároky je připravena možnost pracovat také se systémem LEGO jako s měřícím prostředkem.

Systém **ISES** (Intelligentní Školní Experimentální Systém) je známý školní experimentální systém, který v současné době pracuje na 350 českých školách a na 2 školách na Slovensku. V současné době je v ČR 15 tříd s vícenásobnými instalacemi s možností frontální práce ve třídě. Tyto školy mohou velmi rychle začít s internetovou interaktivní laboratoří. LabVIEW je systém z vědeckých laboratoří. Jde o vývojové prostředí s graficky orientovaným programovacím jazykem. Internetová podpora je zabudována přímo v systému.

LEGO a jeho nové systémy **Robolab** a **LEGO Engineer** se pojetím přibližují LabVIEW, ale jsou na úrovni jednoduchého měření a řízení motorků, žároveček, teploměru aj. [5]

2.2.3 Control Web

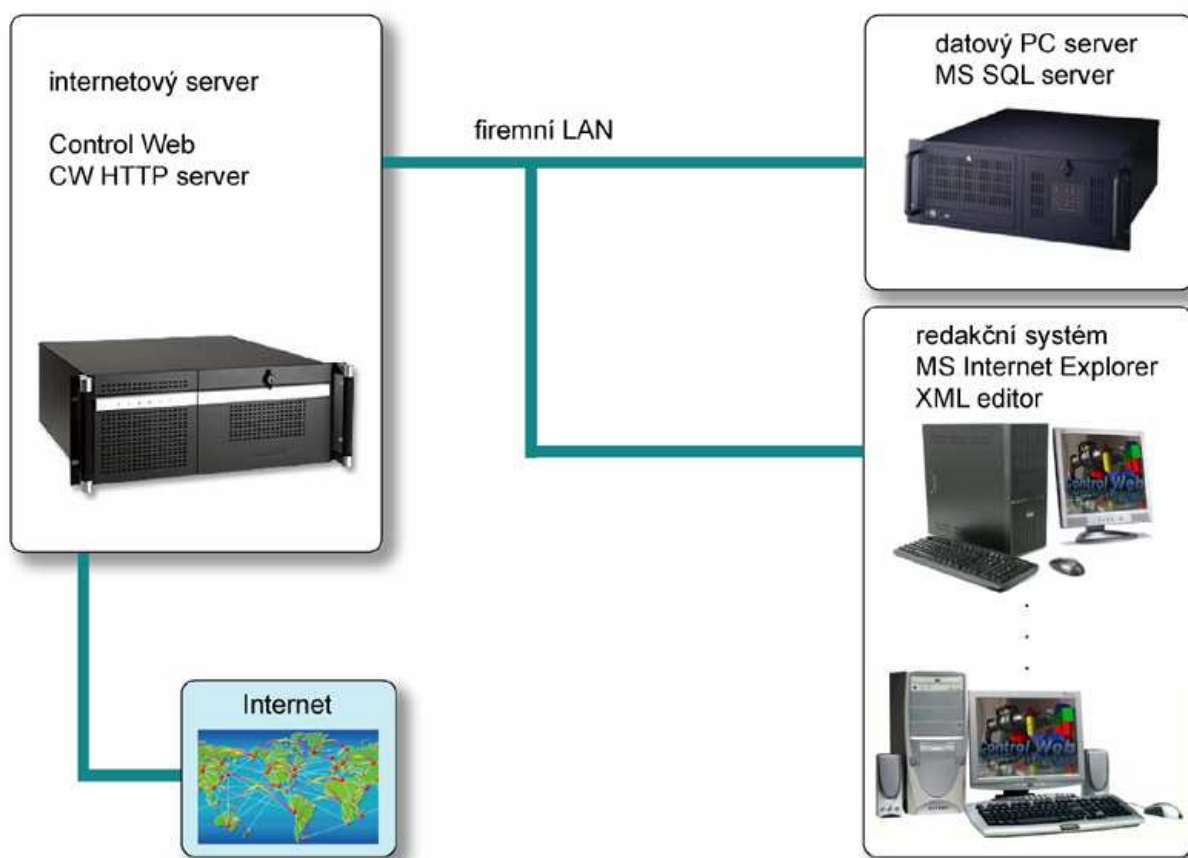
Control Web je programovým systémem, který dokáže vystupovat v mnoha aplikacích. Může pracovat v řídicích jednotkách strojů, může spojovat výrobní technologii s informačním systémem podniku, může být datovým serverem s mnoha webovými klienty, může modelovat a simulovat procesy, dokáže vytvářet náročné vizualizace a mnoho dalšího. Dokáže nám posloužit tak, jak zrovna potřebujeme.

Control Web řeší veškerou funkčnost SCADA systémů. Lze uvést však několik zajímavých příkladů, jak lze řešit zadání, která dovoluje současná epocha Internetu a globálních komunikací.

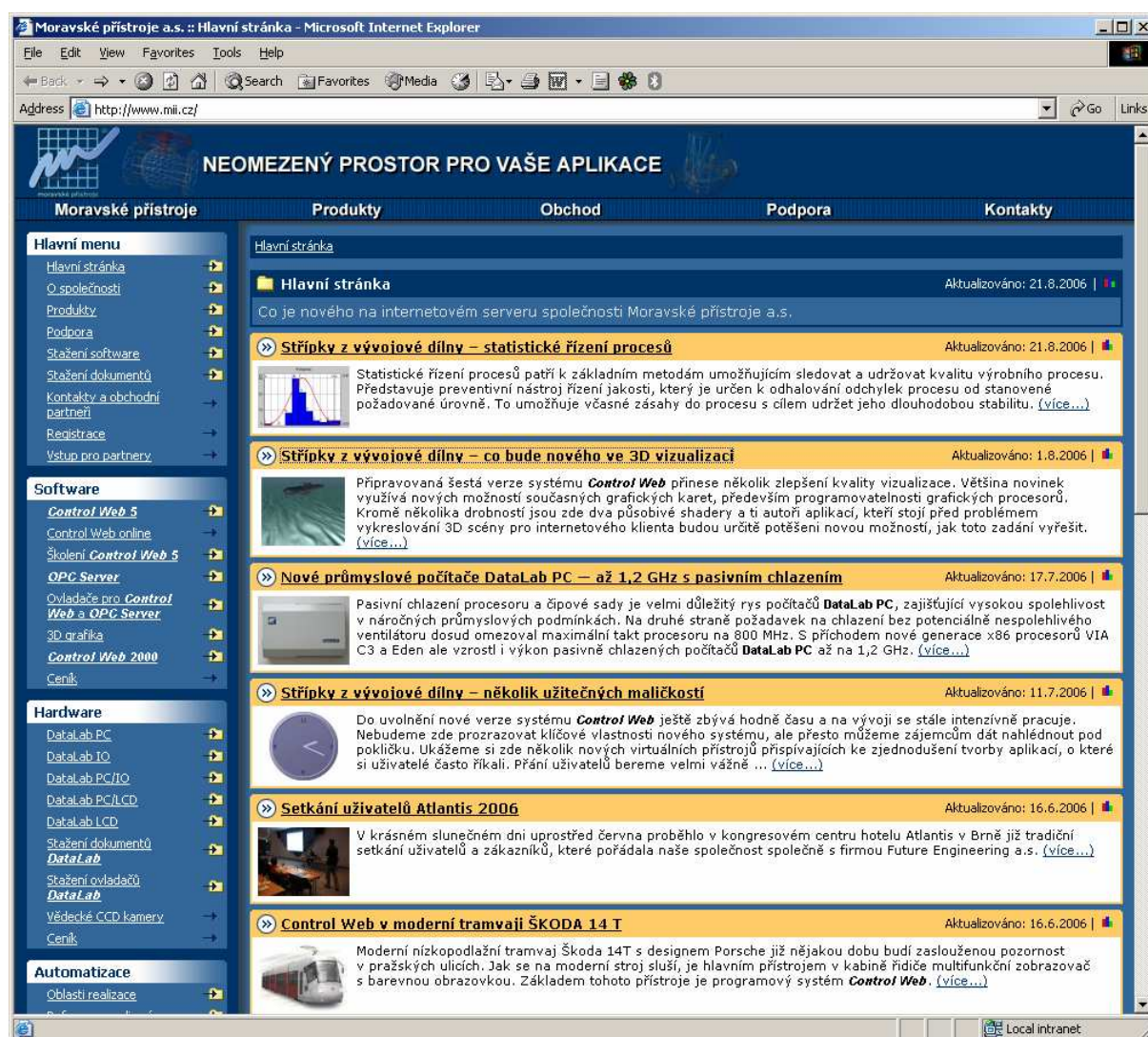
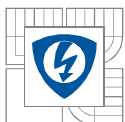
Control Web vždy byl a dodnes je cenově atraktivní, proto je používán nejen v rozsáhlých aplikacích ve velkých firmách, ale i v malých a vestavěných aplikacích a také ve školách, ve vědě a výzkumu. Struktura typických aplikací se v poslední době podstatně změnila. Postupně ubývá zakázek, ve kterých je požadováno jen prosté operátorské pracoviště s vizualizací a případným sběrem dat. Požadavek rozhraní pro webové klienty je již samozřejmostí. Většina současných systémů je zapojena často bezdrátově do počítačových sítí, obvyklá je spolupráce s nějakým databázovým informačním systémem. Také se často systémy skládají z více částí, které spolu musejí komunikovat. Stále větší výhodou se tak stává to, že i malý vestavný systém je vybaven veškerými komunikačními kanály a jeho programové vybavení dokáže pracovat se všemi současnými standardy výměny dat. I malá vestavěná řídicí jednotka tak má k dispozici Ethernet, USB, Wi-Fi, Bluetooth a může obsahovat internetový HTTP server, ale současně také webový klient dokáže posílat e-maily, posílat a přijímat SMS zprávy, komunikovat přes GPRS nebo radiové mosty, spolupracovat s Plug-and-Play zařízeními na rychlé USB atd. V řadě případů dokáže malý a levný průmyslový počítač nahradit kombinaci PLC a počítače pro operátorské řízení. Zde pak výhoda jednoho programového prostředí pro vývoj aplikací nabývá na ceně.

Control Web v roli firemního WWW serveru

Pro software pro průmyslovou automatizaci to asi není typické použití, ale velmi dobře nám dokládá vysoký výkon a schopnosti vestavěného HTTP serveru (HTTP server je jedním z mnoha dodávaných virtuálních přístrojů). Control Web dynamicky generuje WWW stránky z dat uložených v SQL databázi. Pro klienty na vnitřní síti server poskytuje pohodlné redakční rozhraní. Data se do systému doplňují prostřednictvím souborů ve formátu XML prostřednictvím redakčního rozhraní.



Obrázek 1 - Struktura firemního WWW serveru [6]

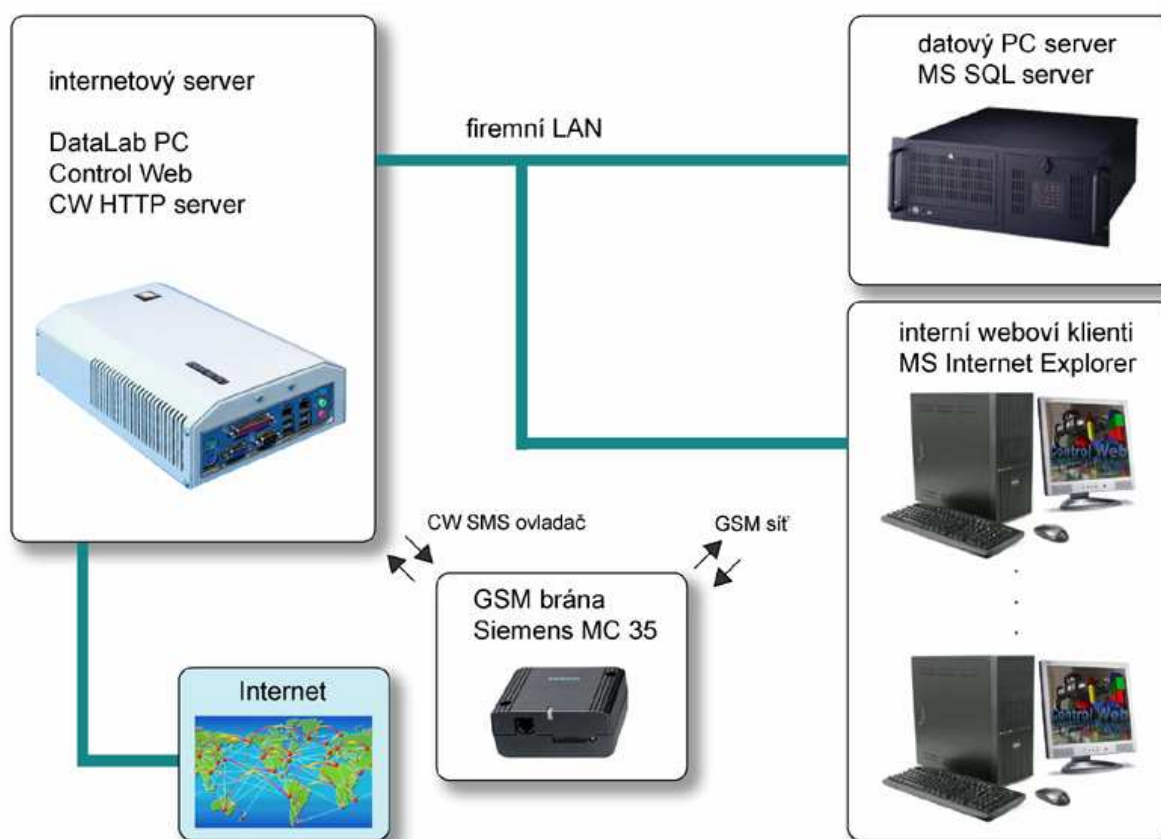


Obrázek 2 - Dynamicky generované WWW stránky [6]

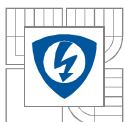
Control Web jako automatický registrační a aktivační server a webovým a SMS rozhraním

Control Web zde pomocí několika dodávaných komponent elegantně řeší požadavky, kladené na bezobslužný běh registračního a aktivačního serveru. Zákazník má možnost výběru ze tří automatických, tedy nevyžadujících komunikaci s živou operátorkou, mechanismů aktivace:

- Během aktivace si Control Web automaticky vymění data s aktivačním serverem. Komunikace probíhá prostřednictvím HTTP protokolu na všeobecně akceptovaném portu 80. Tento způsob je rychlý a zcela bezstarostný.
- Pomocí libovolného webového klienta se lze spojit s aktivačním serverem a získat tak aktivační kód.
- V místech bez internetové konektivity lze aktivačnímu serveru poslat SMS. Server zpětně pomocí SMS pošle aktivační kód.



Obrázek 3 - Struktura registračního a aktivačního systému [6]



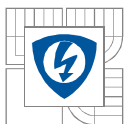
Moravian Instruments - Intranet on BIANCA - Microsoft Internet Explorer				
File Edit View Favorites Tools Help				
Back Forward Stop Search Favorites Media Print				
Address http://register.mil.cz/ Go Links				
Orbit Controls OC7620 - Ovladač pro měřidla Orbit Controls OC7620 (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
--- Žádná verze ---				
OrbitNetwork - Ovladač Orbit Network - Solartron (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
5.00		16.11.2005	ano	Control Web 5
PCL-818 - Ovladač pro kartu PCL-818 (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
--- Žádná verze ---				
PLC Direct - Ovladač PLC Direct (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
3.02				Control Web 2000
3.03				Control Web 2000
4.0		02.05.2001	ano	Control Web 2000
4.1		25.03.2004	ano	Control Web 5
Profibus/EPSnet - Profibus/EPSnet OEM pro TEMPO MP1x (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
4.10	ano	02.06.2005	ano	Control Web 2000 pro Windows CE
4.8	ano	10.09.2004		Control Web 2000 pro Windows CE
4.8		10.09.2004	ano	Control Web 5
4.8		10.09.2004	ano	Control Web 2000
RACOM MR25 MORSE MARS - Ovladač RACOM MR25 MORSE protokol MARS-U/M (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
3.0		02.05.2001	ano	Control Web 2000
RACOM RD300 Master - Ovladač RACOM RD300 Master (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
--- Žádná verze ---				
RACOM RD300 Slave - Ovladač RACOM RD-300 Slave (Driver)				
Verze	WinCE	Uvolněno	V prodeji	Kategorie
3.0		02.05.2001	ano	Control Web 2000
SAIA PCD - Ovladač SAIA PCD (Driver)				

Obrázek 4 - Dynamicky generované sestavy ve WWW prohlížeči [6]

Server poskytuje i další užitečné služby pro vnitřní síť i pro veřejný Internet. K databázovému serveru MS SQL je systém připojen ve vnitřní síti, na dalším Ethernetu je k dispozici veřejný Internet. SMS komunikace probíhá prostřednictvím GSM modemu Siemens a standardního SMS ovladače systému Control Web. [6]

2.2.4 Systém ScopeWin

ScopeWin je vybaven multikanálovým grafickým vyhodnocením, řízením experimentů pomocí programu a grafickým výstupem dat na zařízení podporovaná MS Windows. ScopeWin je otevřený systém, to znamená že umožňuje realizaci speciálních uživatelských funkcí. ScopeWin podporuje řadu technických prostředků od nejlevnějších karet do PC po moderní výkonné typy. Umožňuje realizaci systémů s frekvencí vzorkování do 10MHz s délkou záznamu omezenou operační pamětí počítače nebo karty. Ovládání funkcí modulu ScopeWin se děje v pěti úrovních prostřednictvím myši, menu, horkých kláves, povelů a programu.



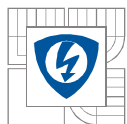
Parametry záznamu dat

- měření až 64 analogových nebo digitálních kanálů z více desek s možností kalibrace podle fyzikální jednotky, mapování měřených vstupů do logických kanálů systému ScopeWin
- režim dlouhodobého monitorování se zobrazením signálu v reálném čase s možností detekce vnější události (synchronizace externím signálem nebo dosažením nastavené amplitudy s možností oddělení určené délky záznamu před i po události)
- rychlý osciloskopický záznam do paměti počítače s plným využitím možností technických prostředků (automatické zpracování naměřených dat grafickým procesorem a jejich zobrazení podle příslušných voleb). Externí trigrování dle úrovně vstupního signálu nebo TTL vstupu (pokud je též podporováno HW zařízením).
- numerické zpracování signálů v reálném čase kombinací rychlého osciloskopického záznamu a dlouhodobého monitorování - kombinovaný režim. Jeden bod pomalého měření je stanoven výpočtem z více bodů rychlého měření. Jinak řečeno z rychle sejmutého vektoru je stanovena jedna hodnota, která se uloží. Jako přepočítací funkci lze stanovit například výpočet efektivní hodnoty, střední hodnoty, rozkmitu, derivace, integrálu, logaritmu a další. Výhodou kombinovaného měření je eliminace náhodných chyb měření, výpočet běžně neměřitelných veličin a především zvýšení počtu efektivních bitů převodníku. Kombinované měření tak umožňuje použití levnějších 12 a 14 bitových 50kHz karet také pro pomalé monitorování s podstatně vyšším bitovým rozlišením. Například při vzorkování 4kHz u karty s převodníkem AD 14 bitů a výpočtem střední hodnoty po jedné sekundě lze dosáhnout hodnoty počtu efektivních bitů 19. Zde je třeba poznamenat, že udávaný počet bitů AD převodníku na kartě je vždy vyšší než skutečný počet efektivních bitů. Velikost rozdílu závisí na kvalitě převodníku a karty.

Zobrazení a zpracování dat

ScopeWin je vybaven grafickým procesorem, který umožňuje práci v reálném čase v průběhu snímání i rozsáhlé postakviziční zpracování. Každý záznam (logický kanál) má přiřazeno vlastní nastavení grafického procesoru. Každý grafický procesor (objekt) je vybaven následujícími funkcemi:

- kurzorové operace, ZOOM, odečet hodnot, stupnice, videopaměti, lokové grafické operace
- 1D a 2D zobrazení
- XYt grafy - Jedná se o velmi užitečný způsob zobrazení, kdy na ose X a Y jsou vynášeny amplitudy dvou zvolených kanálů. Třetím měřítkem je čas. XYt graf umožňuje na malé ploše zobrazovat i velmi dlouhá měření a přehledně odhadovat korelace, vzájemné fázové posuvy a zvraty, rozkmity amplitud, šumy a poruchy mezi dvěma měřenými kanály.
- vícenásobné zobrazení - V jenom grafickém procesoru lze nastavit projekci kombinace libovolných kanálů. Amplitudy jednotlivých kanálů lze zobrazovat v absolutním měřítku, v relativním měřítku nebo se samostatnou stupnicí.
- grafická editace dat, která obsahuje funkce vyhlazování a selektivní modifikace dat, odstranění stejnosměrné složky, algebraické úpravy dat v paměti a na disku



- přímá a zpětná FFT, digitální pásmová filtrace, frekvenční analýza, váhové funkce, harmonická analýza, 2D časově frekvenční analýza, stanovení okamžitých hodnot amplitud, frekvencí a fází - digitální demodulace signálu
- vzájemné operace mezi daty různých kanálů v paměti i na disku, které zahrnuje například algebraické operace, přesuny a linkování
- statistické funkce pro vyhodnocení signálu
- barevný i černobílý grafický a textový tisk
- datová konverze

Aplikace modulu ScopeWin

- energetika - měření střídavých a stejnosměrných veličin, analýza poruch v síti, monitorování spotřeby, harmonická analýza
- medicína - zpracování a diagnostika biologických signálů v klinické praxi (EEG, ECG, krevní tlak, ...) . Vývoj nových diagnostických metod.
- všeobecné nasazení na pomalé monitorování i rychlé měření
- speciální přístrojové aplikace - např. digitální přenosný osciloskop a multimetr fy FLUKE PM 97 a 99.

Zhodnocení programu ScopeWin

Přestože prezentovaný systém umožňuje standardní měření a zpracování včetně automatizace experimentu, byl hlavní důraz kladen na aplikaci a testování nových metod zpracování signálu. Ve srovnání se systémy, jako jsou Matlab nebo Matematika, umožňuje ScopeWin plně rutinní nasazení a rychlé zaškolení. To vytváří dobrý základ pro pořizování dostatečně velkých a věrohodných souborů dat, které jsou nezbytné pro skutečně korektní ověřování a testování nových metod. Oproti známým systémům jako jsou Control Panel nebo Dysis poskytuje ScopeWin též rozsáhlejší analytické služby. Objektivně je třeba říci, že výše uvedené systémy jsou vhodnější pro rozsáhlá a integrovaná nasazení, jsou komplexněji vybaveny a mohou se opírat o větší tradici a větší počet uživatelů.

ScopeWin není průmyslový informační a řídicí systém a ve své základní podobě není určen pro řízení experimentů a automatizaci. ScopeWin je na českém trhu vhodný především pro ty, kteří chtějí realizovat různá laboratorní a průmyslová měření a přitom nechtějí investovat příliš velké finanční prostředky. Za přijatelnou cenu přitom mohou získat základní a přitom kvalitní měřicí a zpracovatelské prostředí s možností uživatelských modifikací.

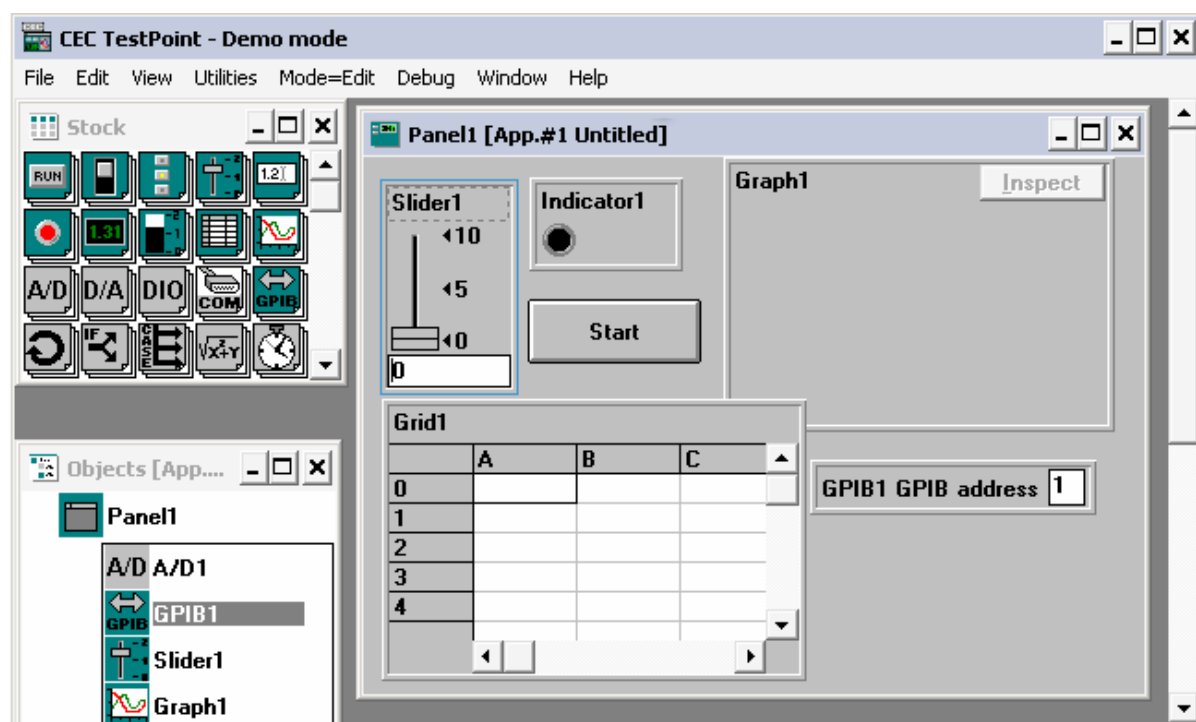
Tvorba software je jistě zajímavá práce, větší vzrušení ale přináší, pokud se stává prostředkem a ne cílem. Cílem je v našem případě vývoj a praktická aplikace nových analytických a statistických metod zpracování signálu. Rozšíření výkonných počítačů s procesorem PENTIUM a velkou operační pamětí v posledních dvou letech vytvořilo v praxi technický základ pro zavádění nových a netradičních zpracovatelských postupů, které přináší uživateli podstatně více informace o měřeném signále. A zde je optimální umístění systému ScopeWin na českém trhu: neformální a užitečné propojení teorie a praxe. [7]

2.2.5 TestPoint

TestPoint poskytuje metodu, pomocí níž jsou vytvářeny aplikace bez programování v klasickém slova smyslu. TestPoint nabízí objekty, reprezentující vzhled aplikace, měřicí hardware a matematické a logické procesy. Aplikační programy jsou vytvářeny výběrem objektů a definicí jejich vzájemných vztahů. Pro vytváření programů nejsou potřeba zkušenosti s programováním.

Popis programu

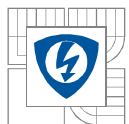
TestPoint je prostředí pro přípravu měření a vyhodnocení naměřených dat. Vyznačuje se **intuitivním ovládáním a důsledně objektovým přístupem**. Způsob měření se nastavuje umístěním připravených grafických symbolů, reprezentujících různé měřicí a vyhodnocovací moduly ("ikony") ze zásobníku do trojice oken. První okno představuje čelní panel se zobrazovací a ovládacími prvky, ve druhém okně je seznam použitých objektů a jejich jmen. Třetí okno zobrazuje seznam akcí. Těchto seznamů je tolik, kolik je použito modulů. Každý seznam obsahuje posloupnost akcí, které se mají provést, jestliže jemu přiřazený modul obdrží nová data. Tvorba seznamu akcí je usnadněna použitím metody "táhni a pusť", tedy přenosem názvů a parametrů pomocí myši. Seznamy objektů pracují paralelně, jejich činnost je **řízena událostmi**, jako jsou příchod dat, doměření, akce operátora apod.



Obrázek 5 - TestPoint demo mode

Složitější sestavy modulů mohou být uzavřeny do samostatného objektu ("virtuální přístroj") a nadále přístupné jako samostatný modul. Tento postup umožňuje radikálně zjednodušit složitý měřicí problém rozdělením na řešení řady jednodušších úloh.

Zobrazovací prvky mají volitelný rozměr a jejich uspořádání v panelu na obrazovce monitoru je zcela libovolné. Vytvořená aplikace může být spouštěna v režimu, kdy má uživatel



k dispozici pouze panel se zobrazovači, které může nastavovat (např. dělení os v grafu), ale nemá možnost ovlivnit způsob měření.

Výsledky z měření mohou být sestaveny **do protokolu (včetně grafického výstupu) nebo linkou DDE přenášeny do dalších aplikačních programů** (např. MS-Excel pro další výpočty nebo MS Word pro začlenění do zprávy o měření). Test Point **vyžaduje MS-Windows** a plně využívá jejich možností (**kvalitní grafické zobrazení, grafický tisk na nejrůznějších tiskárnách, podobné ovládání jako u jiných programů, čeština**, apod.). Program se ovládá anglicky a je doplněn kontextově závislou nápovědou, též v angličtině.

Tento program je využíván též pro vytváření jednoúčelových zákaznických aplikací a řešení na klíč a tím je postupně rozšiřován o nové moduly a ovladače měřicích zařízení typických pro tuzemský trh. Pro ověření vlastností programu se nabízí vytvoření jedné "pilotní" aplikace, na níž si lze ověřit vhodnost programu pro zvolené použití. Pilotní aplikaci lze využít jako základ vlastních aplikací.

Obsahuje moduly

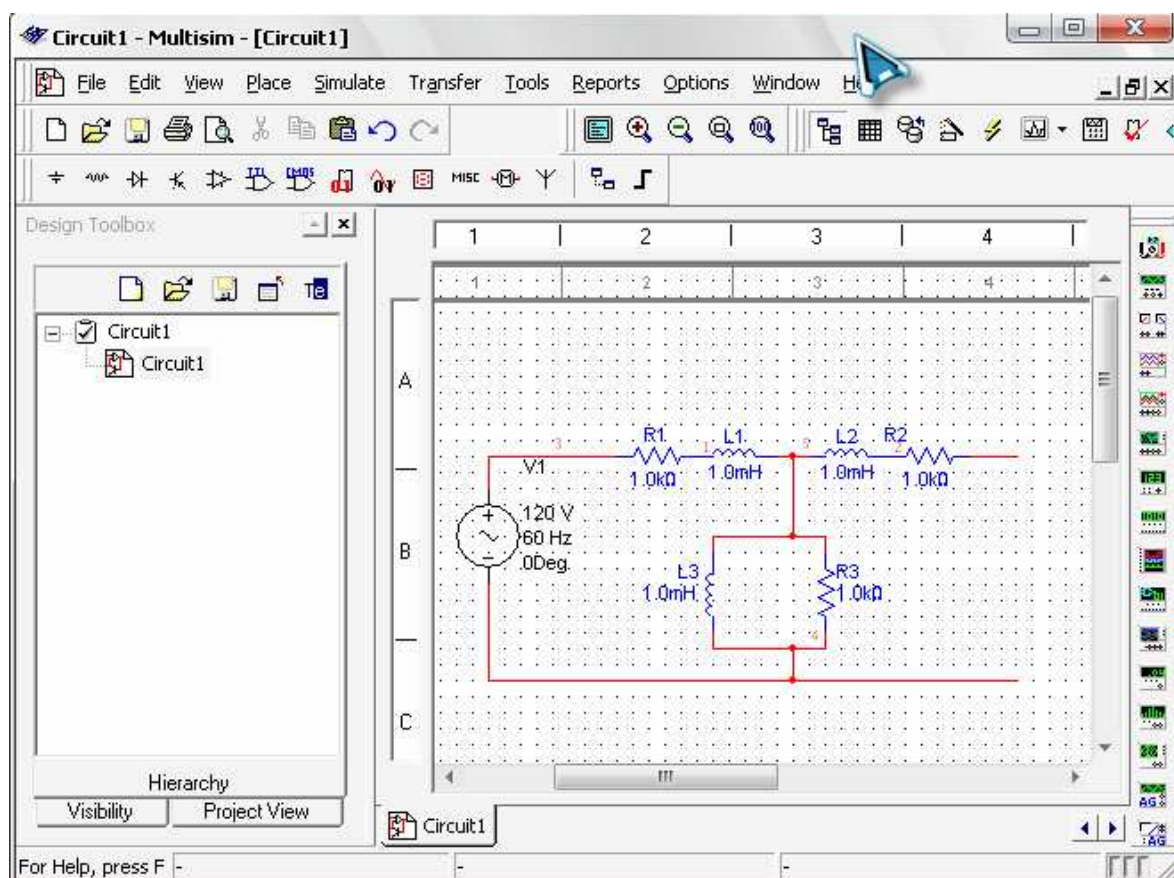
- sběr dat (nastavitelné ovladače externích měřicích přístrojů a zásuvných měřicích desek, data z linky DDE nebo ze souboru)
- stimulace (D/A převodník, generátory)
- aritmetický (běžné operace a funkce, exponenciální / logaritmické, trigonometrické, maticové)
- interpolační
- statistické a generátor náhodných čísel
- analýzy (limity, FFT)
- bitové logiky (práce s jednotlivými bity)
- práce s řetězci (včetně převodů z/na číslo)
- spouštění (okénka, hystereze, ...)
- zobrazovače (osciloskop, voltmetr, čárové a sloupcové grafy, displeje, indikátory)
- ovládací prvky (tlačítka, přepínače, potenciometry)
- datový přenos (práce se soubory i jednotlivými záznamy, přenos linkou DDE)
- řízení běhu programu (čítače, cykly, podmínky, virtuální přístroje, volání knihovnických funkcí DLL, spouštění dalších programů)

Technické údaje

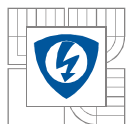
- podporuje řadu měřicích přístrojů a zásuvných měřicích karet
- ovladače nepodporovaných přístrojů lze vytvářet externě
- řada modulů pro sběr a analýzu dat a pro řízení měřicího procesu
- možnost simulace měřených kanálů
- vytváření programu přetahováním ikon reprezentujících objekty, bez programování
- jednoduchá a intuitivní příprava měření
- zobrazení dat řadou způsobů a ve volitelném tvaru
- pro vytváření zprávy o měření je připravena možnost tisku grafických protokolů, funkce pro práci s texty a též je připraven přenos dat do DTP programů
- vyžaduje alespoň AT286 a 4 MB paměti, myš, MS-Windows 3.1 nebo vyšší verzi.[8]

2.2.6 Electronics Workbench Multisim 10.0

Program umožňuje nakreslit schematické zapojení obvodu, ke kterému lze připojit přímo na obrazovce různé měřicí přístroje: voltmetry, ampérmetry, digitální multimetr, dvoukanálový osciloskop, 16-kanálový logický analyzátor, atd. Tyto přístroje jsou součástí programu a plně nahrazují skutečné přístroje. Program umožňuje provádět měření ve vybraných uzlech obvodu a průběhy měřených veličin zobrazit v grafické formě. Díky použitému principu měření umožňuje Multisim provádět simulaci na analogových i digitálních obvodech najednou - je to pravý simulátor smíšených obvodů. Součástí programu je knihovna modelů součástek se všemi potřebnými parametry pro analýzu obvodů. K dispozici je několik tisíc modelů. Většinu modelů součástek lze podle potřeby dále upravovat. Pomocí prvků již obsažených v knihovně programu lze vytvořit vlastní součástku ve formě pod-obvodu (sub-circuit), který lze uložit do knihovny. Obsah knihovny lze zvětšit dokoupením rozšiřujících knihovních sad. Multisim plně využívá pro měření 32-bitového A/D simulátoru SPICE/XSPICE, případně je možné dokoupit moduly pro VHDL/Verilog. Tato skutečnost řadí Electronics Workbench mezi profesionální simulátory za neobyčejně nízkou cenu. Návaznost na jiné programy je zajištěna prostřednictvím převodníků dat pro import a export SPICE netlistu a pro export netlistu nakresleného zapojení do některých návrhových systémů plošných spojů (Eagle, Orcad), výsledky analýz je možné exportovat do programů Mathcad a Excel. [9]



Obrázek 6 - Náhradní zapojení transformátoru v programu Multisim



3 VOLBA VHODNÉ LABORATORNÍ ÚLOHY PRO VIRTUÁLNÍ ŘEŠENÍ.

Jako vhodná úloha bylo zvoleno **měření účinnosti trojfázového transformátoru z měření naprázdno a nakrátko**. Důvody k výběru této úlohy jsou následující: transformátor jako netočivý elektrický stroj nevyžaduje zvláštní podmínky pro spouštění, jak tomu bývá například u synchronních strojů při fázování na síť. Jde o statické měření, kdy jsou žádané hodnoty v ustáleném stavu obvodu. Lze použít přístroje, které jsou vhodné ke komunikaci s počítačem.

3.1 Zadání:

1. Zapojte dané pracoviště pro měření
2. Změřte ohmické odpory vinutí
3. Proveďte měření naprázdno, vstup 220 V (převod, ztráty v železe)
4. Proveďte měření nakrátko, vstup 380 V (ztráty v mědi a dodatečné)
5. Nakreslete závislost účinnosti transformátoru na proudu při účinníku 1 a 0,8

3.2 Teoretický rozbor:

Transformátor je netočivý elektrický stroj, který pracuje na principu elektromagnetické indukce.

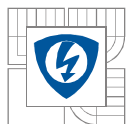
Používá se k přeměně napětí na jinou nebo i stejnou hodnotu napětí v obvodech, kde je nutné galvanické oddělení jednotlivých smyček obvodu. V tomto případě bude měřen transformátor výkonový.

Účinnost transformátoru je celkově největší ze všech elektrických strojů. Je to poměr výkonu daného vzorcem $m U_2 I_2 \cos \varphi_2$ k příkonu $m U_1 I_1 \cos \varphi_1$, kde m je počet fází a hodnoty proudu a napětí jsou fázové veličiny:

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}} = \frac{m U_2 I_2 \cos \varphi_2}{m U_1 I_1 \cos \varphi_1} = \frac{m U_2 I_2 \cos \varphi_2 - \sum \Delta P}{m U_1 I_1 \cos \varphi_1}$$

Metody určení účinnosti:

- a) Přímá z poměru výkonu k příkonu. Obě veličiny se vyskytují v elektrické formě a zjišťují se měřením. Při této metodě je přesnost maximálně 1%, poněvadž chyby i při přesném měření napětí, proudu, (výkonu, otáček a momentu u točivých strojů) bývají 0,2 - 0,5 % a tedy celková chyba se může rovnat součtu těchto jednotlivých chyb. Používá se u strojů s účinností menší než 80 - 90%.
- b) Protože v provozu bývá $U_1 = \text{konst.}$ a U_2 bychom měli počítat pomocí úbytku napětí, počítáme většinou výkon jako rozdíl příkonu a ztrát (nepřímá metoda). Za příkon se bere štítkový údaj transformátoru. Ztráty jsou dány součtem ztrát naprázdno (ΔP_0) a ztrát nakrátko (ΔP_k). Ztráty naprázdno jsou ztráty naměřené v transformátoru naprázdno při jmenovitém napětí a kmitočtu. Zahrnují ztráty v železe (hysterezní a vířivými proudy).



Ztráty nakrátko jsou dány součtem ztrát činných a dodatečných při teplotě 75°C u vinutí třídy A,B,E a při teplotě 115°C u vinutí s izolací třídy C. Účinnost transformátoru se udává buď v hodnotách poměrných nebo v procentech a to není-li ujednáno jinak pro 100, 75 a 50% zatížení při $\cos\varphi = 1$ a $\cos\varphi = 0,8$.

Celkové ztráty jsou: $\Delta P_0 = \Delta P_k + \Delta P_d$

ΔP_0 - ztráty naprázdno

ΔP_k - ztráty nakrátko

ΔP_d - ztráty dodatečné

Ze zkoušky naprázdno určíme ztráty v železe, ztráty ve vinutí naprázdno a převod transformátoru:

$$P_{10} = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{j10} \text{ kde } P_{Fe} = P_{10} - \Delta P_{j10}$$

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_v + \Delta P_h \text{ kde } \Delta P_v - \text{jsou ztráty vířivé závislé na } f^2$$

$$\Delta P_h - \text{jsou ztráty hysterezní závislé na } f$$

$$\Delta P_{j10} = 3R_{10} \cdot I_{10}^2$$

Z měření nakrátko určíme ztráty ve vinutí, dodatečné a procentní napětí nakrátko:

$$u_k (\%) = \frac{U_{1k}}{U_1} \cdot 100 \text{ a rovněž } u_k (\%) = \sqrt{u_r (\%)^2 + u_x (\%)^2} .$$

Ztráty nakrátko vypočteme ze vztahu:

$$\Delta P_{jk} = 3R_1 I_1^2 + 3R_2 I_2^2 = 3 \cdot (R_1 + R_2) I_1^2 = 3 \cdot (R_1' + R_2) I_2^2 .$$

Ztráty stoupají v závislosti na teplotě a podle normy se přepočítává teplota v místnosti na 75°C podle:

$$\frac{\Delta P_{jt1}}{\Delta P_{jt2}} = \frac{235 + t_1}{235 + t_2} ; \text{ pro teplotu } 75^\circ\text{C je } \Delta P_{jt75} = \Delta P_{jt1} \cdot \frac{235 + 75}{235 + t_1} .$$

Konstanta 235 je teplotní konstantou, která je pro hliník i pro měď zhruba stejná.

Dodatečné ztráty jsou hlavně ztráty vířivými proudy ve vinutí a v konstrukčních částech blízko vinutí.

$$\Delta P_d = P_{1k} + \Delta P_{jk}$$

Se stoupající teplotou klesají:

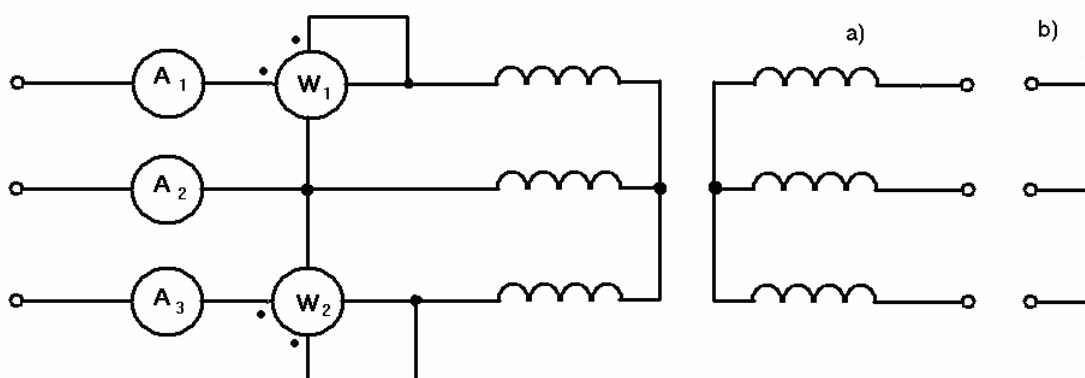
Pro teplotu 75°C jsou: $\Delta P_{d75} = \Delta P_{d1} \cdot \frac{235 + t_1}{235 + 75}$.

Vlastní účinnost transformátoru se určí dle:

$$\eta_{75}(\%) = \frac{m U_2 I_x \cos \varphi \cdot 100}{m U_2 I_x \cos \varphi + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{j75} \cdot \frac{I_x^2}{I_2^2} + \Delta P_{d75} \cdot \frac{I_x^2}{I_2^2}}, \text{ kde } I_x - \text{ je libovolný proud.}$$

[10]

3.3 Schéma zapojení:



Obrázek 7 - Schéma zapojení vybrané úlohy

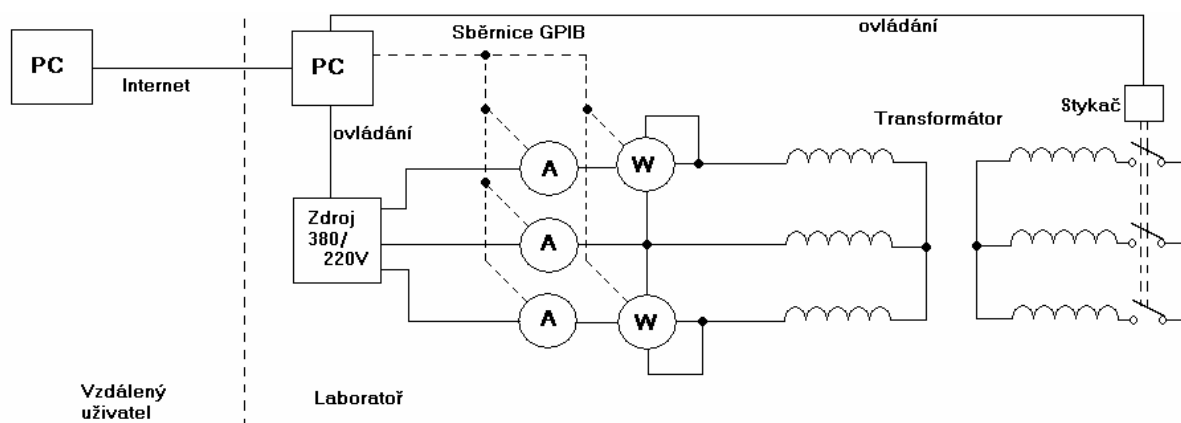
kde a) – je zapojení pro měř. naprázdno

b) – je pro měření nakrátko

4 VYPRACOVÁNÍ NÁVRHU SYSTÉMU VIRTUÁLNÍHO MĚŘENÍ.

4.1 Získání potřebných hodnot

Pro návrh systému je nutné nejprve získat hodnoty, se kterými se bude později pracovat. Tyto hodnoty lze získat více způsoby. Jeden z možných způsobů je měření na konkrétním transformátoru ve vzdálené laboratoři. Tento způsob je náročnější na přístrojové vybavení, ale není nutná fyzická přítomnost měřící osoby v laboratoři. Dále je schematicky naznačen princip vzdálené laboratoře, která je fyzicky napojená přes internet ke vzdálenému uživateli.



Obrázek 8 - Schéma zapojení měření ve vzdálené laboratoři

Tuto laboratoř je vhodné vybavit přístroji, které podporují komunikaci s počítačem

4.1.1 Potřebné komponenty:

Počítač

Internet

Počítač s rozhraním GPIB a software schopným komunikovat se sběrnici např. TestPoint

3 x multimetr s rozhraním GPIB

2 x wattmetr s rozhraním GPIB (například YOKOGAWA)

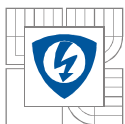
Zdroj třífázového napětí ovládaný počítačem

Stykač řízený počítačem

Měřený transformátor

4.1.2 Návrh principu měření:

Uživatel připojí svůj počítač na počítač umístěný v laboratoři pomocí vzdálené plochy. V programu TestPoint si zobrazí multimetry (v režimu měření proudu) a wattmetry. Pro měření naprázdno je třeba nastavit na zdroji 220V a stykač ponechat vypnutý. Pak odečíst požadované hodnoty. Pro měření nakrátko se nastaví na zdroji 380V a stykač se sepne, čímž se sekundární vinutí transformátoru zkratuje. Odečtení hodnot. Zbýlé požadavky zadání je třeba provést pomocí výpočtů.



4.1.3 Zpracování výsledků:

Štítkové hodnoty transformátoru:

Příkon: $S=2000 \text{ VA}$

Strana nižšího napětí: $U_1=380 \text{ V}$

Strana vyššího napětí: $U_2=220 \text{ V}$

Naměřené hodnoty odporu vinutí:

Strana nižšího napětí

$R = 0,33 \Omega$

$R_{UV} = 0,63 \Omega$

$R_{VW} = 0,69 \Omega$

$R_{UW} = 0,69 \Omega$

Strana vyššího napětí

$R = 0,75 \Omega$

$R_{UV} = 1,4 \Omega$

$R_{VW} = 1,6 \Omega$

$R_{UW} = 1,45 \Omega$

Tabulka 3 – Měření naprázdno $\vartheta = 20^\circ\text{C}$

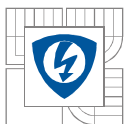
U [V]	160	180	200	240
I ₁ [A]	0.19	0.24	0.31	0.37
I ₂ [A]	0.26	0.32	0.41	0.73
I ₃ [A]	0.25	0.32	0.41	0.75
I [A]	0.23	0.29	0.38	0.62
P ₁ [W]	-8	-15	-25	-70
P ₂ [W]	25	35	50	105
P [W]	17	20	25	35

$$I_0 = \frac{\sum I}{n} = \frac{0,37 + 0,73 + 0,75}{3} = 0,62 \text{ A}$$

$$P_0 = \sum P = 105 - 70 = 35 \text{ W}$$

Ztráty v železe:

$$\Delta P_{Fe} = P_0 - 3 \cdot R \cdot I_0^2 = 35 - 3 \cdot 0,33 \cdot 0,62^2 = 34,87 \text{ W}$$



Tabulka 4 – Měření nakrátko $\vartheta = 20^\circ\text{C}$

I [A]	1.8	2	2.7	2.95	3.2
U _K [V]	6.5	7	9	10	10.6
I ₁ [A]	1.8	2	2.7	2.95	3.2
I ₂ [A]	2.25	2.4	3	3.5	3.6
I ₃ [A]	2	2.2	2.8	3.25	3.5
I _K [A]	2.02	2.20	2.83	3.23	3.47
P ₁ [W]	4	5	8	10	12
P ₂ [W]	4	4.5	7	9	10
P _K [W]	8	9.5	15	19	22

$$P_K = P_1 + P_2 = 12 + 10 = 22\text{W}$$

Jouleovy (tepelné) ztráty:

$$\Delta P_{jk} = 3 \left(R_1 \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} \right)^2 + R_2 \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} \right)^2 \right) = 3 \left(0,75 \cdot \left(\frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 380} \right)^2 + 0,33 \cdot \left(\frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 220} \right)^2 \right) = 48,05\text{W}$$

Jouleovy ztráty přepočtené na teplotu okolí 75°C :

$$\Delta P_{j75} = \Delta P_{jk} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 48,05 \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 58,41\text{W}$$

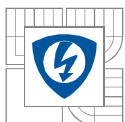
dodatečné ztráty:

$$\Delta P_d = P_0 - \Delta P_{jk} = 55 - 48,05 = 6,95\text{W}$$

dodatečné ztráty přepočtené na teplotu okolí 75°C :

$$\Delta P_{d75} = \Delta P_d \cdot \frac{235 + 20}{235 + 75} = 6,95 \cdot \frac{235 + 20}{235 + 75} = 5,72\text{W}$$

Účinnost pro $\cos\varphi_x=1$ a $\cos\varphi_x=0,8$:



Tabulka 5 – Vypočtené hodnoty k

k	$I_x[\text{A}]$	$\eta_{75}[\%]$	
		$\cos \varphi_x=1$	$\cos \varphi_x=0,8$
0,1	0,525	90.7041	88.6440
0,2	1,050	94.8748	93.6746
0,3	1,575	96.2372	95.3403
0,4	2,100	96.8462	96.0886
0,5	2,625	97.1454	96.4571
0,6	3,149	97.2873	96.6320
0,7	3,674	97.3390	96.6957
0,8	4,199	97.3339	96.6895
0,9	4,724	97.2910	96.6366
1,0	5,249	97.2217	96.5511
1,1	5,774	97.1333	96.4421
1,2	6,299	97.0307	96.3157
1,3	6,824	96.9172	96.1760
1,4	7,349	96.7954	96.0261
1,5	7,874	96.6670	95.8682

Příklad výpočtu pro první řádek:

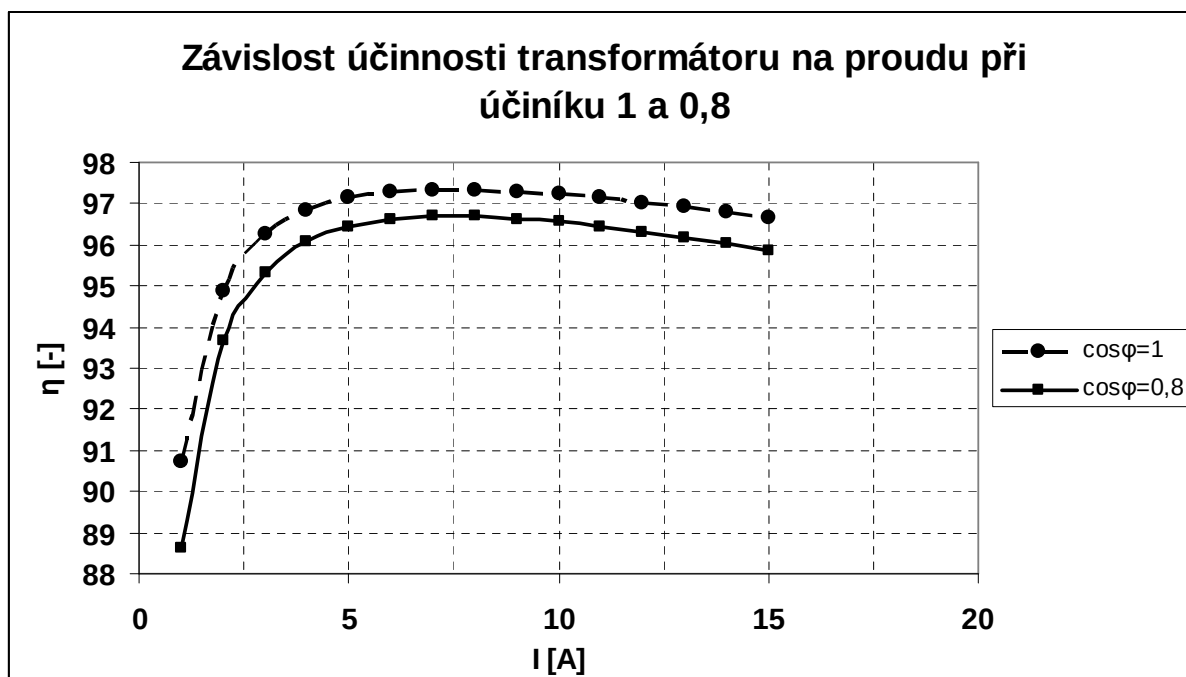
$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 5,249 \text{ A}$$

$$I_x = k \cdot I_2 = 0,1 \cdot 5,249 = 0,525 \text{ A}$$

Výpočet účinnosti:

$$\eta_{75a} = \frac{mU_2 k I_2 \cos \varphi_x 100}{mU_2 k I_2 \cos \varphi_x + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{j75} (I_x / I_2)^2 + \Delta P_{d75} (I_x / I_2)^2} =$$
$$= \frac{3 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 0,525 \cdot 100}{3 \cdot 220 \cdot 5,25 \cdot 1 + 34,87 + 85,41 \cdot \left(\frac{0,525}{5,249}\right)^2 + 5,72 \cdot \left(\frac{0,525}{5,249}\right)^2} = 90,7041\%$$

$$\eta_{75b} = \frac{mU_2 k I_2 \cos \varphi_x 100}{mU_2 k I_2 \cos \varphi_x + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{j75} (I_x / I_2)^2 + \Delta P_{d75} (I_x / I_2)^2} =$$
$$= \frac{3 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 0,525 \cdot 100}{3 \cdot 220 \cdot 5,25 \cdot 0,8 + 34,87 + 85,41 \cdot \left(\frac{0,525}{5,249}\right)^2 + 5,72 \cdot \left(\frac{0,525}{5,249}\right)^2} = 88,6440\%$$



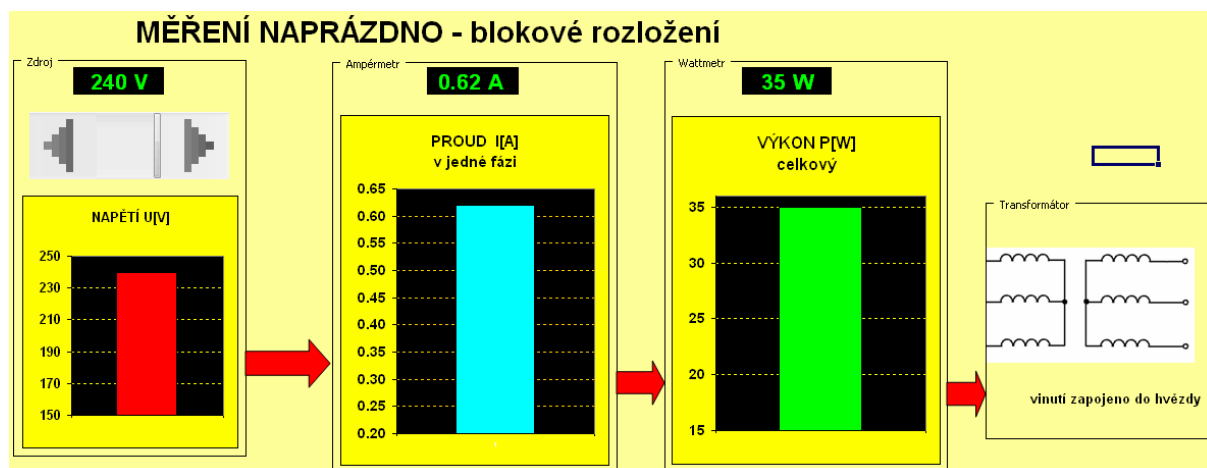
Obrázek 9 - Graf závislosti účinnosti na proudu

4.2 Zpracování hodnot

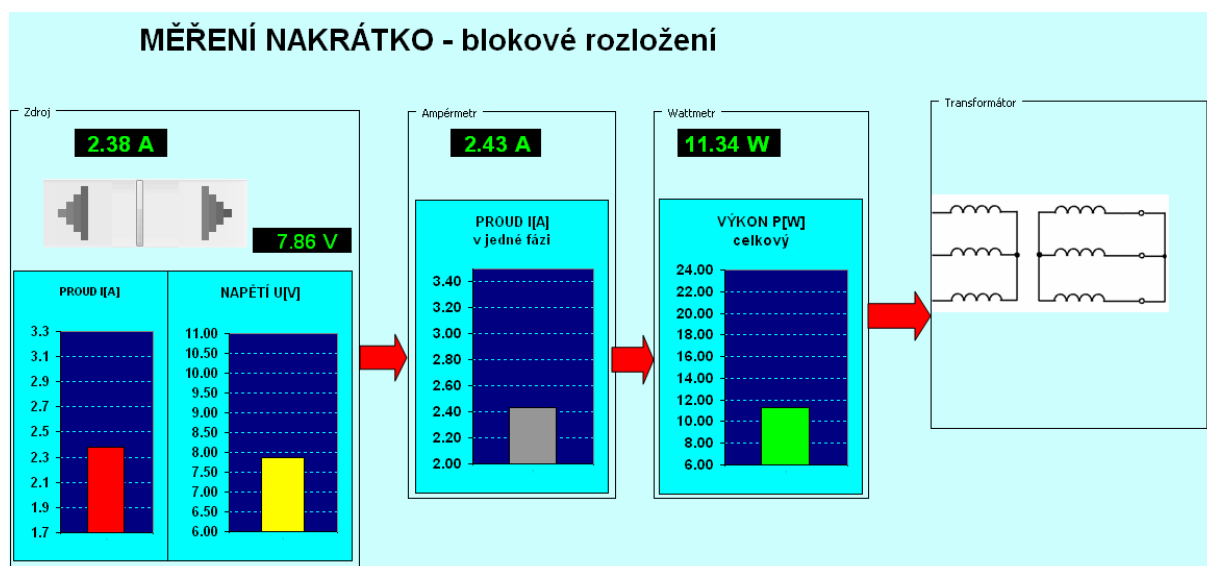
Již jsme získali naměřené hodnoty, které jsou potřebné pro virtuální měření. Nyní je třeba uvést návrh postupu virtuálního měření.

4.2.1 Práce s datovým souborem

Naměřené hodnoty se uloží do datového souboru. Soubor bude obsahovat hodnoty, které nastavujeme: v tomto případě napětí U [V] pro měření naprázdno a proud I [A] pro měření nakrátko. Soubor pak každé nastavené hodnotě přiřadí hodnotu, kterou potřebujeme odečíst: to jsou proudy a výkony. Toto lze provádět jen pro ty konkrétní hodnoty, které jsou naměřené. Pokud uživatel zvolí jinou nastavovanou hodnotu, než obsahuje datový soubor, je potřeba tuto hodnotu dopočítat. Jedna z možných variant dopočítávání hodnot je interpolace pomocí Lagrangeova interpolačního polynomu, který aproximuje funkcí procházející přesně v naměřených bodech. [11] Tento výpočet byl proveden v programu Excel. Celkový vzhled je vyobrazen níže na obrázcích 9 a 10. Při simulaci měření stačí posuvníkem nastavovat hodnoty napětí nebo proudu a program dopočítává hodnoty, které potřebujeme odměřit.



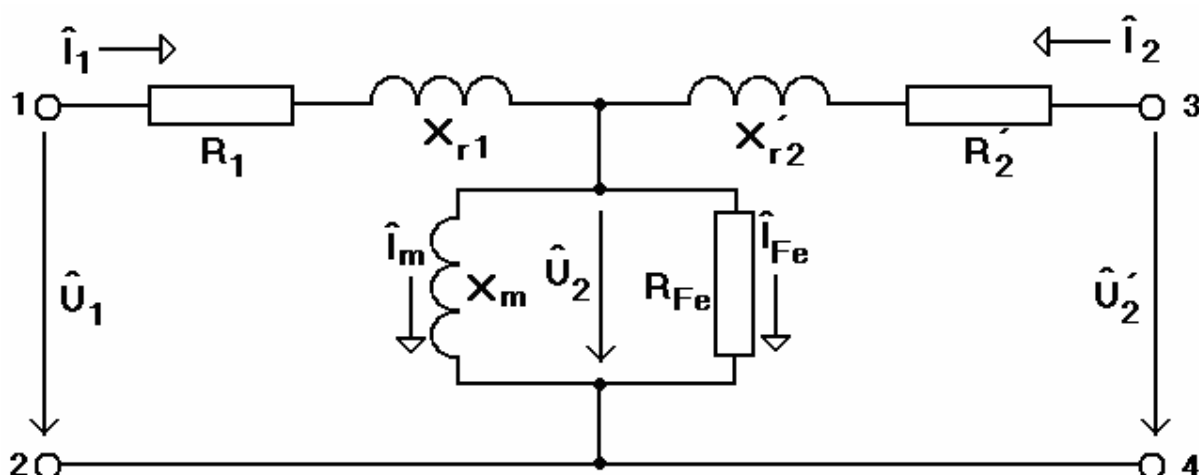
Obrázek 10 - Program Excel - simulace měření naprázdno



Obrázek 11 - Program Excel - simulace měření nakrátko

4.2.2 Simulace měření pomocí náhradního schématu

Ze získaných hodnot měření lze určit výpočtem parametry náhradního schématu transformátoru. Tyto hodnoty se poté zadají do simulačního programu Electronics Workbench Multisim 10.0 ve formě schématu. Na svorky 1,2 zapojíme napájecí zdroj a svorky 3,4 ponecháme volné pro měření naprázdno a pro měření nakrátko je propojíme zkratem. Potřebné odměřované veličiny potom odečteme pomocí funkce Measurement Probe, což je vlastně sonda, se kterou najíždíme do míst v obvodu a ona nám ukazuje aktuální obvodové veličiny. Způsob zjištění dalších veličin lze dosáhnout přidáním přístrojů Multimeter a Wattmeter do vhodných míst obvodu podle základního schématu zapojení úlohy.



Obrázek 12 - Náhradní schéma transformátoru

Výpočet konstant náhradního schématu transformátoru

Štítkové hodnoty, hodnoty získané měřením nebo výpočtem uvedeným výše:

$S_2 = 2000\text{VA}$; $U_1 = 380\text{V}$; $U_2 = 220\text{V}$; $P_0 = 35\text{W}$; $I_0 = 0,62\text{A}$; $P_K = 22\text{W}$; $U_K = 10,6\text{V}$;
 $I_K = 3,47\text{A}$

Vlastní výpočty:

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{2000}{220} = 9,09\text{A} \quad p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{380}{220} = 1,73$$

$$I_1 = \frac{I_2}{p} = \frac{9,09}{1,73} = 5,25\text{A} \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} = \frac{35}{380 \cdot 0,62} = 0,149$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} = 0,989$$

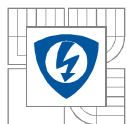
$$R_{Fe} = \frac{U_1}{I_{Fe}} = \frac{U_1}{I_0 \cdot \cos \varphi_0} = \frac{380}{0,62 \cdot 0,149} = \underline{\underline{4113\Omega}}$$

$$X_M = \frac{U_1}{I_M} = \frac{U_1}{I_0 \cdot \sin \varphi_0} = \frac{380}{0,62 \cdot 0,989} = \underline{\underline{619,7\Omega}}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K} = \frac{22}{10,6 \cdot 3,47} = 0,598 \quad \sin \varphi_K = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_K} = 0,801$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} \cdot (\cos \varphi_K + j \sin \varphi_K) = \frac{10,6}{3,47} \cdot (0,598 + 0,801j) = (1,8267 + 2,4464j)\Omega$$

$$R_1 = R_2' = \frac{\text{Re}\{Z_K\}}{2} = \frac{1,8267}{2} = \underline{\underline{0,913\Omega}} \quad R_2 = R_2' \cdot \frac{1}{p^2} = 0,913 \cdot \frac{1}{1,73^2} = \underline{\underline{0,305\Omega}}$$



$$X_{r1} = X_{r2} \cdot \frac{\operatorname{Im}\{Z_K\}}{2} = \frac{2,4464}{2} = \underline{\underline{1,223\Omega}} \quad X_{r2} = X_{r2} \cdot \frac{1}{p^2} = 1,223 \cdot \frac{1}{1,73^2} = \underline{\underline{0,409\Omega}}$$

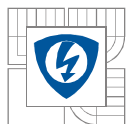
[10]

5 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem vytvořil návrh způsobu realizace praktické laboratorní výuky elektrických strojů. Zadaná forma virtuální laboratoře se pro distanční způsob výuky jeví jako optimální. Prakticky skoro každý student má možnost přístupu k počítači s připojeným internetem, přes který se odehrává komunikace s virtuální laboratoří. Tato laboratoř se musí nejprve vytvořit ve vhodném programu. Z tohoto důvodu jsem vypracoval přehled dostupného softwaru. Každý z výčtu programů má svá specifika, vhodná pro konkrétní účely. Například program LabView nevyžaduje přímou znalost programování, celé programování probíhá pomocí vytváření schématu ze samostatně fungujících bloků. Pracuje na platformách Windows, Linux, MacOS, SUN a HP-UX. Další program Control Web má hlavní výhodu v tom, že dokáže vytvářet své aplikace fungující v běžném internetovém prohlížeči. V místech, kde není dostupný internet, lze ovládat zařízení pomocí SMS. Program ScopeWin pracuje jen v prostředí Windows, ale je vhodný pro rozsáhlá integrovaná nasazení. Program TestPoint funguje podobně jako LabView, ale není tak široce rozpracován, funguje pouze v prostředí Windows. Program Electronics Workbench Multisim funguje zcela odlišně od předchozích. Pomocí komponent lze vytvořit schéma zapojení úlohy a poté spustit napájení a sledovat obvodové veličiny.

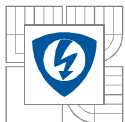
Jako vhodnou úlohu pro virtuální řešení jsem zvolil: měření účinnosti třífázového transformátoru. Důvody výběru byly tyto: při měření nastavují pouze vstupní veličiny (není třeba jinak zasahovat do průběhu měření), měří se pouze ustálené stavy efektivních hodnot veličin a vlastní určení účinnosti je provedeno následným výpočtem.

Pro vypracování návrhu systému jsem použil naměřené hodnoty, které jsem dále zpracoval v programu Excel. Veličiny potřebné pro získání výsledků měření jsem popsal funkcí. Funkce je vytvořena pomocí Lagrangeova interpolačního polynomu jako závislost nastavovaných veličin k veličinám výsledným. Vstupní veličiny pak lze nastavovat pomocí posuvníku v rozmezí fyzicky odměřených veličin a grafy pak znázorňují hodnoty výstupních veličin. Jako další jsem vypočítal hodnoty náhradního zapojení transformátoru. Tyto hodnoty by mohly být dále využitelné v oblasti simulace pro jiné hodnoty veličin než ty, které byly odměřeny v minulosti. Poté by se však zanedbávaly jisté rušivé vlivy jako např. teplota okolí, nelinearita feromagnetického jádra transformátoru.



LITERATURA

- [1] LAN-PROJEKT Plzeň – Produkty a služby – Sítě LAN [online]. [cit. 12. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.lanprojekt.cz/katalog/web.nsf/vwProdukty/lan>>.
- [2] Ministerstvo vnitra – časopis Veřejná správa [online]. [cit. 18. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.mvcr.cz/casopisy/s/2003/0040/tema_1.html>
- [3] Seznam Encyklopedie – Wide Area Network [online]. [cit. 18. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/514085-wan>>
- [4] Dewetron Praha NI Software [online]. [cit. 29. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.dewetron.cz/ni/nisoft.htm>>
- [5] RNDr. František Lustig, CSc. infovek.sk: Celoštátna konferencia Infovek 2001 – Zborník z konferencie, Katedra didaktiky fyziky, MFF-UK Praha [online]. [cit. 4. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.infovek.sk/konferencia/2001/zbornik/lustig.html>>
- [6] Moravské přístroje a.s. :: Co je Control Web? [online]. [cit. 15. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mii.cz/art?id=380&cat=1&lang=405>>
- [7] ing. Pavel Jurák, Systém ScopeWin, , CSc. ÚPT AVČR, Brno [online]. [cit. 15. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.isibrno.cz/~jurak/scopewin.html>>
- [8] Igor Luhan Vývojové prostředí TestPoint , INTEGRACE MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ, Praha [online]. [cit. 18. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ippmeasure.com/testpt.htm>>
- [9] Martin Pihrt, Electronics Workbench Multisim 10.0, 2007, [online]. [cit. 20. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mereni.souepl.cz/multisim%2010.php>>
- [10] Doc. Ing. Josef Lapčík, CSc. Elektrické stroje – laboratorní cvičení, [online]. [cit. 10. duben 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.uvee.feec.vutbr.cz/Predmety/BESB/Navody/Elektricke_stroje_L.pdf>
- [11] RNDr. Břetislav Fajmon, Ph.D., Mgr. Irena Ružicková, Matematika 3 [online]. Dostupné na World Wide Web: <https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/umat/Matematika_3_S.pdf>



PŘÍLOHY

Soubor programu Excel:

Simulace měření na transformátoru.xls