

# PROCEDURA VERIFIKACIJE TAČNOSTI STRUJNIH MERNIH TRANSFORMATORA PODRŽANA SOFTVEROM VIRTUELNE INSTRUMENTACIJE PROCEDURE FOR VERIFICATION OF CURRENT MEASURING TRANSFORMER ACCURACY SUPPORTED BY VIRTUAL INSTRUMENTATION SOFTWARE

Milan Simić, Dragan Denić, Dragan Živanović, Goran Miljković, *Elektronski fakultet u Nišu*

**Sadržaj** - U ovom radu je predstavljena procedura za verifikaciju tačnosti strujnih mernih transformatora, funkcionalno bazirana na primeni softvera virtuelne merne instrumentacije LabVIEW. Hardverska struktura sistema uključuje regulacioni izvor AC napona frekvencije 50Hz, mrežni transformator 150A/0.4V i računarsku konfiguraciju sa karticom NI 6251 i aplikativnim softverom. Virtuelni instrumenti realizovani u LabVIEW okruženju obezbeđuju prezentaciju signala, merenje i statističku obradu rezultata merenja osnovnih parametara ulaznih i izlaznih signala transformatora. Softverska obrada rezultata merenja uključuje snimanje ulazno-izlaznih karakteristika transformatora i vremenskih dijagrama izmerenih vrednosti parametara, sa proračunom grešaka merenja, odnosno merne nesigurnosti.

**Abstract** – Procedure for verification of current measuring transformer accuracy, which is functionally based on the virtual instrumentation software LabVIEW, is presented in this paper. System hardware configuration includes regulation source of AC voltage with 50Hz frequency, power transformer 150A/0.4V and computer configuration with acquisition card NI 6251 and application software. Virtual instruments developed in LabVIEW environment perform signal presentation, measurement and statistical analysis of measurement results related to basic parameters of input and output transformer signals. Software processing of measurement data includes recording of transformer characteristics and time diagrams for measured parameter values, with calculation of the measurement errors and uncertainty.

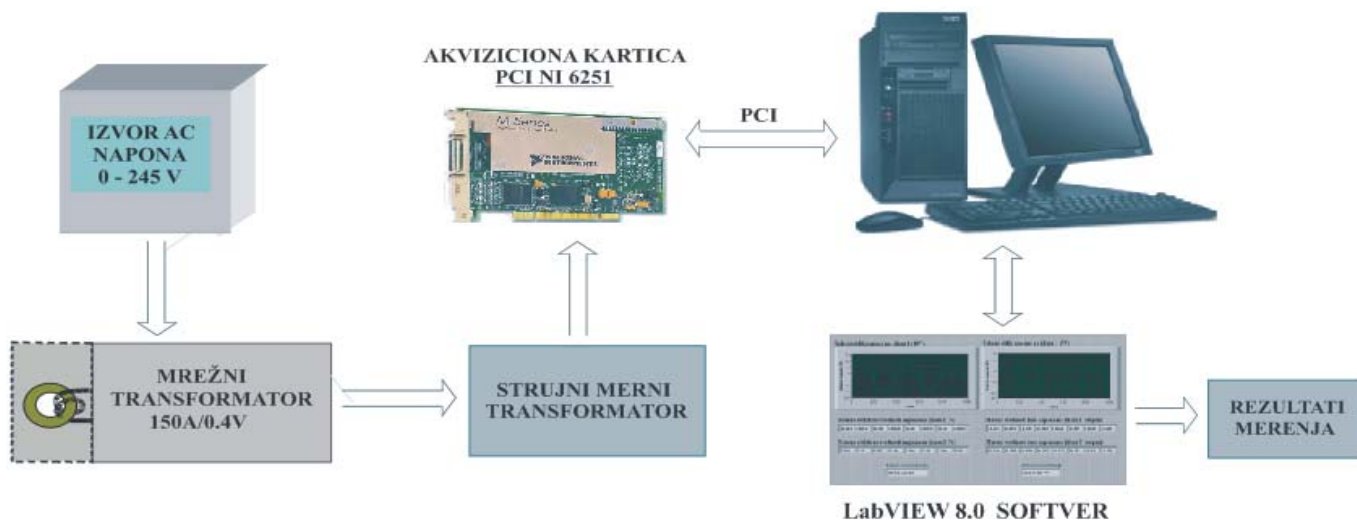
## 1. UVOD

Izbor odgovarajućih metoda merenja i merne opreme koja će se koristiti u postupcima verifikacije osnovnih metroloških parametara naponskih i strujnih mernih transformatora jeste izuzetno značajan i složen zadatak. Poseban naglasak na ovu vrstu problema treba staviti kada se radi o procesima merenja i analize osnovnih parametara kvaliteta električne energije, sa ciljem povećanja energetske efikasnosti procesa proizvodnje, prenosa i isporuke električne energije krajnjim potrošačima. Bitne metrološke karakteristike samih mernih transformatora koji se primenjuju u navedenim procesima imaju dominantan uticaj i na ukupni nivo tačnosti kompletnih mernih procedura, pa je shodno tome neophodna primena mernih transformatora visoke klase tačnosti. Obzirom na sve te prethodno navedene činjenice sasvim je jasno da postupak metrološke verifikacije osnovnih karakteristika mernih transformatora predstavlja vrlo značajnu aktivnost, koja je i zakonski precizno utvrđena [1].

Odgovarajući merni instrumenti i oprema za ove namene moraju imati nominalno deklarisanu grešku merenja, odnosno standardnu mernu nesigurnost koja je minimalno za jedan red veličine bolja od deklarisanе tačnosti mernog transformatora koji je potrebno ispitati. Pored osnovnog početnog ispitivanja karakteristika strujnih mernih transformatora odmah prilikom procesa njihove fabričke proizvodnje, neophodno je sprovesti periodično proveravanje karakteristika mernih transformatora u definisanim zakonskim rokovima. Ovo je moguće obavljati u akreditovanim metrološkim laboratorijama ili čak i direktno na izdvojenim lokacijama pojedinačnih mernih stanica. Merni

i kontrolni instrumenti treba da budu prilagodljivi za različite terenske radne uslove, koji se mogu značajno razlikovati od laboratorijskih uslova rada. To između ostalog podrazumeva i prilagođenost mernih instrumenata i uređaja na najrazličitije moguće uslove transporta i otpornost na eventualne vibracije i potrese. Ova merna i prateća oprema prvenstveno uključuje referentni instrument koji obezbeđuje generisanje referentnih ulaznih mernih signala, sa nominalnim vrednostima osnovnih parametara koji su definisani standardima, kao i kontrolni instrument za merenje vrednosti osnovnih parametara signala sa izlaza kontrolisanog strujnog mernog transformatora [2,3].

Rešenje laboratorijskog mernog sistema opisano u ovom radu, realizovano za proveru metroloških parametara strujnih mernih transformatora, uključuje primenu akvizicione kartice NI 6251 [4], softverski podržane aplikacijom razvijenom u LabVIEW programskom paketu [5]. Referentna komponenta sistema kojom se obezbeđuje generisanje strujnih referentnih signala za ulaz ispitivanog mernog transformatora, je mrežni transformator sa nominalnom deklarisanom izlaznom strujom vrednosti do maksimalno 150A. Napajanje samog mrežnog transformatora obezbeđuje se primenom regulacionog izvora naizmeničnog napona efektivne vrednosti granično do 245V i frekvencije signala od 50Hz. Programska aplikacija softvera virtuelne merne instrumentacije u standardnom PC okruženju upravlja algoritmom toka same verifikacione procedure. Ovo uključuje kontinuirano merenje, grafički prikaz i periodično memorisanje izmerenih vrednosti, kao i statističku obradu podataka dobijenih merenjem vrednosti osnovnih parametara ulaznih i izlaznih signala ispitivanog strujnog transformatora.



Sl. 1. Hardverska blok konfiguracija realizovanog laboratorijskog merno-akvizicionog sistema

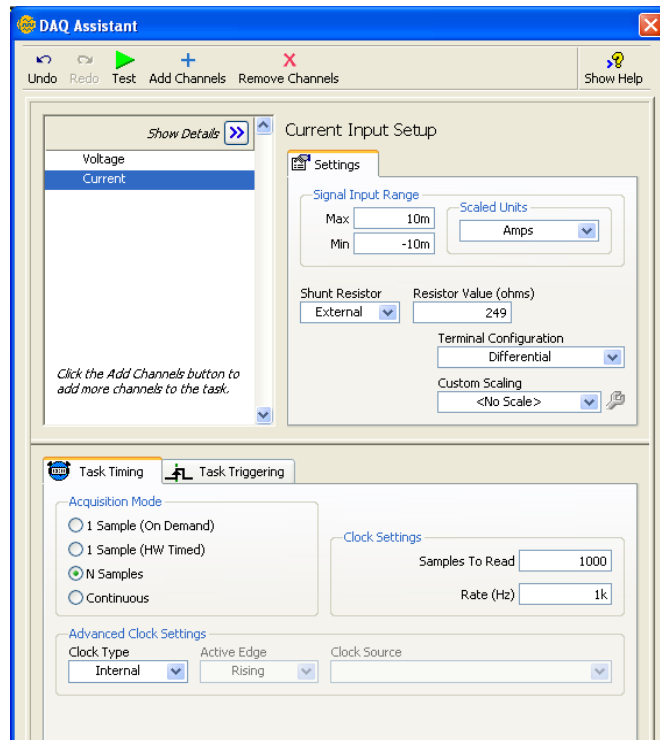
## 2. HARDVERSKA KONFIGURACIJA REŠENJA

Uprošćena hardverska blok konfiguracija laboratorijskog merno-akvizicionog sistema koji je realizovan za primenu u procesu ispitivanja osnovnih metroloških parametara strujnih mernih transformatora, predstavljena je na Slici 1. Prikazano rešenje mernog sistema, koje je projektovano na Katedri za merenja Elektronskog fakulteta u Nišu, uključuje regulacioni izvor AC napona napajanja, mrežni strujni transformator koji se koristi kao izvor referentnih strujnih ulaznih signala, PCI karticu za akviziciju podataka NI 6251 i standardnu PC računarsku konfiguraciju sa instalacijom programskog paketa za projektovanje virtuelne merne instrumentacije LabVIEW.

U zavisnosti od potreba i zahteva korisnika regulacionim izvorom AC napajanja obezbeđuje se kontinuirana regulacija struje i napona na ulazu strujnog mernog transformatora, pri čemu je gornja granična vrednost ulazne struje koja se može obezbediti na ovaj način 150A. Praćenjem promena vrednosti osnovnih parametara strujnih i naponskih signala na izlazima datog mernog transformatora sa kontinuiranom promenom parametara ulazne struje, obezbeđuje se memorisanje strujnih i naponskih prenosnih karakteristika mernog transformatora. U narednom segmentu predstavljene procedure signali koji su generisani na izlaznim priključcima transformatora šalju se direktno na ulaze analogno-digitalnog konvertora primenjene akvizicione kartice, koja poseduje 16-bitnu rezoluciju, a ima i mogućnost digitalno-analogne konverzije ulaznih signala [4]. Ova 16-kanalna kartica za akviziciju podataka PCI NI 6251, američkog proizvođača kompanije National Instruments, za ovu konkretnu aplikaciju koristi nekoliko analognih ulaznih kanala, kojima se obezbeđuje prihvatanje signala sa izlaza strujnog mernog transformatora. Dvosmerna komunikacija i razmena informacija između kartice i računara obezbeđeni su standardnim PCI komunikacionim interfejsom, pri čemu se definisanje osnovnih parametara za akviziciju mernih signala obavlja preko kontrolne softverske aplikacije DAQ Assistant, što je korisničkim prednjim panelom i ilustrovano na Slici 2.

Prethodno prikazana procedura za ispitivanje metroloških karakteristika strujnih mernih transformatora koja uključuje merenje i statističko procesiranje merenih vrednosti osnovnih parametara izlaznih signala, kontroliše se programski pomoću

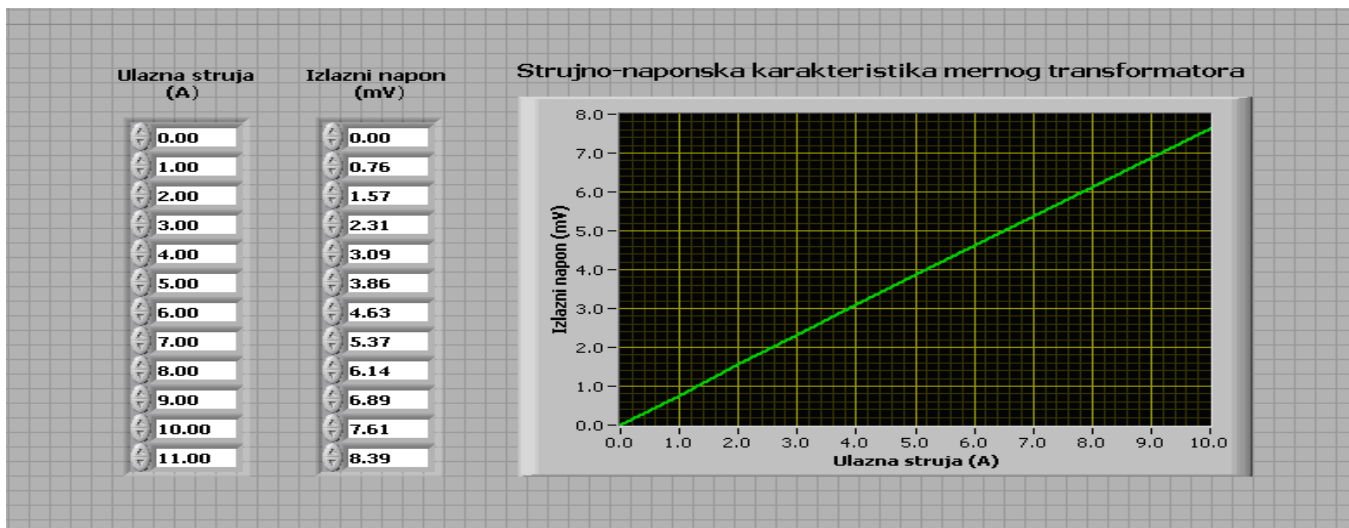
programske aplikacije u LabVIEW softverskom okruženju. Rešenja virtuelnih instrumenata projektovanih kao softverska podrška prikazanog merno-akvizicionog sistema ilustrovana su i detaljnije analizirana u sledećem segmentu ovog rada.



Sl. 2. Prednji panel programske aplikacije za definisanje osnovnih parametara pri akviziciji mernih signala

## 3. PROGRAMSKA PODRŠKA MERNOG SISTEMA

Pod virtuelnom mernom instrumentacijom podrazumeva se programski orijentisana metodologija za realizaciju mernih instrumenata, koja je zasnovana na korišćenju standardnih računara, pratećih hardverskih komponenata za akviziciju mernih podataka i specijalnih programskih alata za merenje, softversku analizu i grafičku prezentaciju dobijenih rezultata merenja. Softverski segment virtuelnih mernih instrumenata programira se shodno potrebi korisnika na bazi pojedinačnih funkcionalnih elemenata i kompletnih blokova ili front panela



Sl. 3. Strujno-naponska prenosna karakteristika mernog transformatora snimljena u LabVIEW okruženju

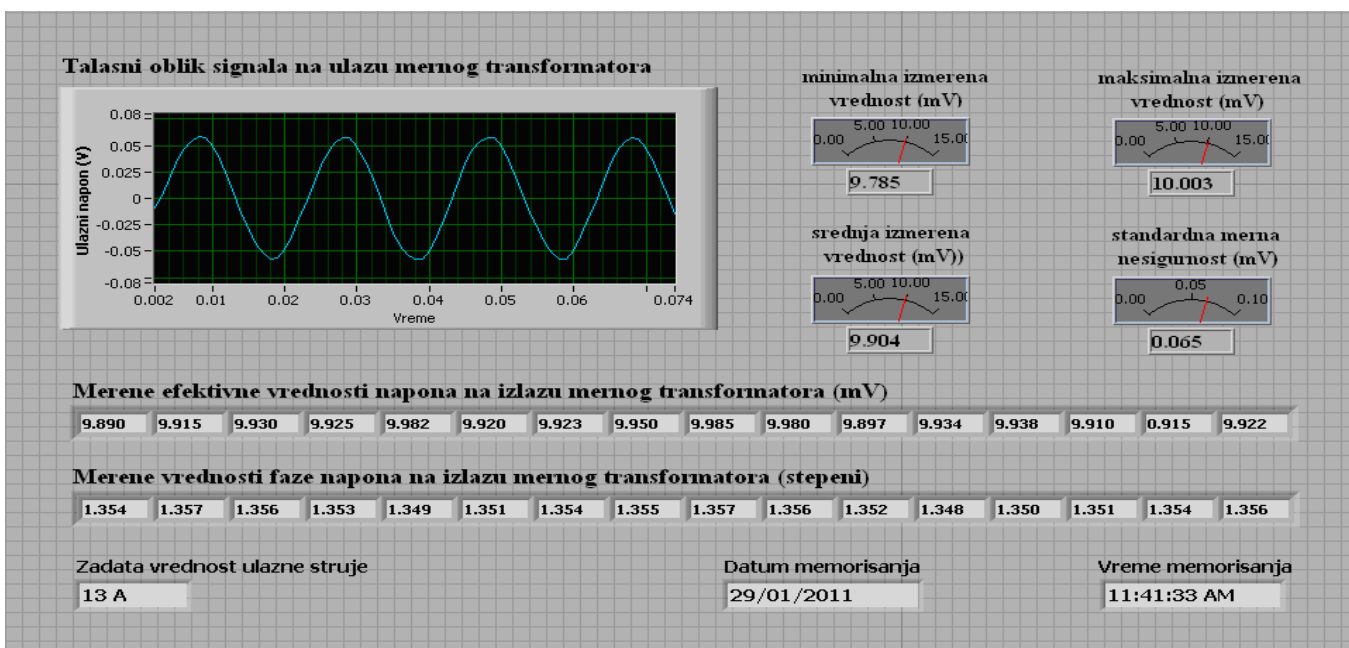
iz programskih baza podataka [6]. Jednostavnom korekcijom softverskog algoritma putem koga se pod kontrolom računara realizuje određena merna procedura može se vršiti naknadna izmena funkcionalnosti datog virtuelnog mernog instrumenta.

Programska aplikacija realizovana primenom softverskog paketa virtuelne merne instrumentacije LabVIEW, kojom se omogućava automatsko memorisanje i grafička prezentacija prenosne karakteristike strujnog mernog transformatora, kao funkcionalne zavisnosti efektivnih vrednosti izlaznog napona od promene ulazne struje, ilustrovana je prednjim panelom na Slici 3. Pored dijagrama snimljene strujno-naponske prenosne karakteristike na ilustrovanom panelu virtuelnog instrumenta su predstavljeni i rezultati merenja efektivne vrednosti ulazne struje i izlaznog napona mernog transformatora. Ovi rezultati su dobijeni u dvanaest uzastopnih mernih ciklusa pri promeni efektivnih vrednosti struje u mernom opsegu od 0 do 11A.

Prednji panel LabVIEW virtuelnog mernog instrumenta, koji istovremeno obezbeđuje grafičku prezentaciju snimljenih talasnih oblika i merenje osnovnih parametara signala napona

sa ulaza i izlaza mernog transformatora prikazan je na Slici 4. Sem grafičke prezentacije talasnog oblika ulaznog naponskog signala, na prednjem panelu datog virtuelnog instrumenta su prikazani pojedini od rezultata merenja efektivnih vrednosti i faza naponskog signala sa izlaza mernog transformatora. Konkretno, od ukupno stotinu izmerenih vrednosti svakog od parametara napona na ovom prednjem panelu zbog što bolje preglednosti predstavljeno je samo po šestnaest uzastopno izmerenih efektivnih vrednosti i faza datog izlaznog signala.

Pored datih izmerenih vrednosti naponskih parametara na virtuelnom instrumentu sa Slike 4 naznačene su neke prateće informacije koje su odnose na tačan datum, odnosno vreme memorisanja prikazanog talasnog oblika signala i izmerenih efektivnih vrednosti i faza napona. Pri tome treba posebno napomenuti da su prikazani talasni oblik signala i izmerene vrednosti osnovnih parametara dobijeni u slučaju prethodno definisane efektivne vrednosti signala struje na ulazu mernog transformatora od 13A. Ovako definisana efektivna vrednost ulazne struje se definiše od strane korisnika i može se dosta jednostavno korigovati i menjati prema trenutnim zahtevima.



Sl. 4. Virtuelni instrument za merenje i softversku analizu osnovnih parametara signala u LabVIEW okruženju

Kontrolna programska aplikacija virtuelne instrumentacije upravlja mernom procedurom, uz obezbeđenje hronološkog memorisanja, grafičkog prikaza i statističke obrade dobijenih rezultata merenja. Pojedini od rezultata statističke analize i obrade merenih efektivnih vrednosti izlaznog napona mernog transformatora prikazani su i na prednjem panelu virtuelnog instrumenta na Slici 4. Konkretna softverska analiza rezultata merenja daje mogućnost snimanja i prezentacije vremenskih dijagrama i odgovarajućih statističkih histograma izmerenih vrednosti osnovnih parametara signala. Veliki broj rezultata merenja dobijenih na osnovu ponovljenih postupaka merenja nameće potrebu da se posredstvom statističkih procedura za obradu rezultata merenja obezbede i dodatne informacije o proceni srednjih izmerenih vrednosti parametara signala i vrednosti grešaka merenja, odnosno komponenata standardne merne nesigurnosti. U skladu sa ovim navedenim zahtevima pomoću prednjeg panela virtuelnog instrumenta prikazanog na Slici 4. obezbeđuje se utvrđivanje i indikacija minimalnih i maksimalnih efektivnih vrednosti izlaznog napona mernog transformatora dobijenih tokom prethodno opisanog procesa merenja. Osim toga, statistička obrada uključuje sračunavanje i indikaciju srednje izmerene efektivne vrednosti napona, kao i odgovarajuće vrednosti za standardnu mernu nesigurnost.

Proračun standardne merne nesigurnosti je izvršen prema odredbama važećeg uputstva za izračunavanje i prikazivanje nesigurnosti rezultata merenja, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [7], koje je usvojeno od strane međunarodne organizacije za standardizaciju - ISO. Srednja, odnosno najverovatnija vrednost od niza dobijenih rezultata merenja proračunata je na bazi procene vrednosti aritmetičke sredine svih dobijenih rezultata merenja. Vrednost standardne merne nesigurnosti je proračunata na bazi primene statističkih postupaka analize i obrade rezultata višestruko ponovljenih postupaka merenja, odnosno na osnovu procenjene vrednosti standardne devijacije niza izmerenih vrednosti parametara.

Na kraju neophodno je napomenuti da su eksperimentalni rezultati ilustrovani u ovom radu deo tek početnog segmenta u fazi razvoja ovakvog merno-akvizicionog sistema. Naredni segmenti biće orijentisani u pravcu nadgradnje i dodatnog usavršavanja opisanog mernog sistema, pri čemu će posebna pažnja da bude usmerena na merenje i softversku analizu izmerenih vrednosti fazne razlike i viših harmonika signala.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano rešenje mernog sistema za ispitivanje metroloških parametara strujnih mernih transformatora, koje je funkcionalno podržano softverskim paketom za realizaciju virtuelnih instrumenata LabVIEW. Hardverska konfiguracija

datog rešenja eksperimentalnog merno-akvizicionog sistema uključuje promenljivi izvor naizmeničnog naponskog signala, mrežni transformator koji je u konkretnom slučaju primenjen kao generator referentnih strujnih ulaznih signala, karticu za akviziciju podataka PCI NI 6251 i računarsku konfiguraciju. Upravljačka programska aplikacija u PC okruženju, razvijena posredstvom LabVIEW softverskog paketa, upravlja tokom procedure merenja i omogućava memorisanje, grafički prikaz i statističku obradu izmerenih vrednosti osnovnih parametara signala datog mernog transformatora. Ova statistička obrada rezultata merenja uključuje snimanje i prezentaciju strujno-naponskih prenosnih karakteristika, detektovanje i indikaciju minimalnih i maksimalnih izmerenih vrednosti, sračunavanje srednjih izmerenih vrednosti parametara, kao i standardnih mernih nesigurnosti shodno važećem uputstvu za proračun i prikazivanje nesigurnosti. Primenom ovakvog rešenja na bazi računara i relativno jeftinijih hardverskih komponenata za akviziciju mernih podataka, obezbeđuje se značajan stepen softverske automatizacije u postupcima ispitivanja osnovnih metroloških karakteristika strujnih mernih transformatora.

#### LITERATURA

- [1] S. Škundrić, D. Vuković, D. Kovačević, "Uloga i važnost mernih transformatora u merenju električnih veličina", *Savetovanje o distributivnim mrežama*, Herceg Novi, 2004.
- [2] T. Chiulan and B. Pantelimon, "Power Transformer Units Condition Assessment Using Virtual Instrumentation", *Journ. of Electronics and Electrical Engineer., Telecommunications Engineering*, No. 6(86), 2008.
- [3] S. Skundric, D. Kovacevic and D. Naumovic, "The Role and Importance of Software Application in Instrument Transformers Accuracy Testing", *XVIII IMEKO World Congress*, Rio de Janeiro, September 17-22, 2006.
- [4] NI, *DAQ PCI 6251 – User Specifications*, National Instruments Corporation, USA, (<http://www.ni.com>), 2005.
- [5] NI, *LabVIEW 8.0 User Manual*, National Instruments Corporation, USA, (<http://www.ni.com>), .2007.
- [6] S. Tumanski, *Principles of Electrical Measurements, Chapter 6. Computer Measuring Systems, Virtual Measuring Systems*, pp.426-456, Taylor & Francis Group, 2006.
- [7] ISO, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, International Standard Organization, Geneva, Switzerland, 1993.