

SISTEM ZA DIJAGNOSTIKU STANJA NAPONSKIH MERNIH TRANSFORMATORA BAZIRAN NA LabVIEW APLIKATIVNOM SOFTVERU SYSTEM FOR DIAGNOSTIC OF VOLTAGE MEASUREMENT TRANSFORMER CONDITION BASED ON LabVIEW APPLICATION SOFTWARE

Božidar Dimitrijević, Milan Simić, *Elektronski fakultet u Nišu*

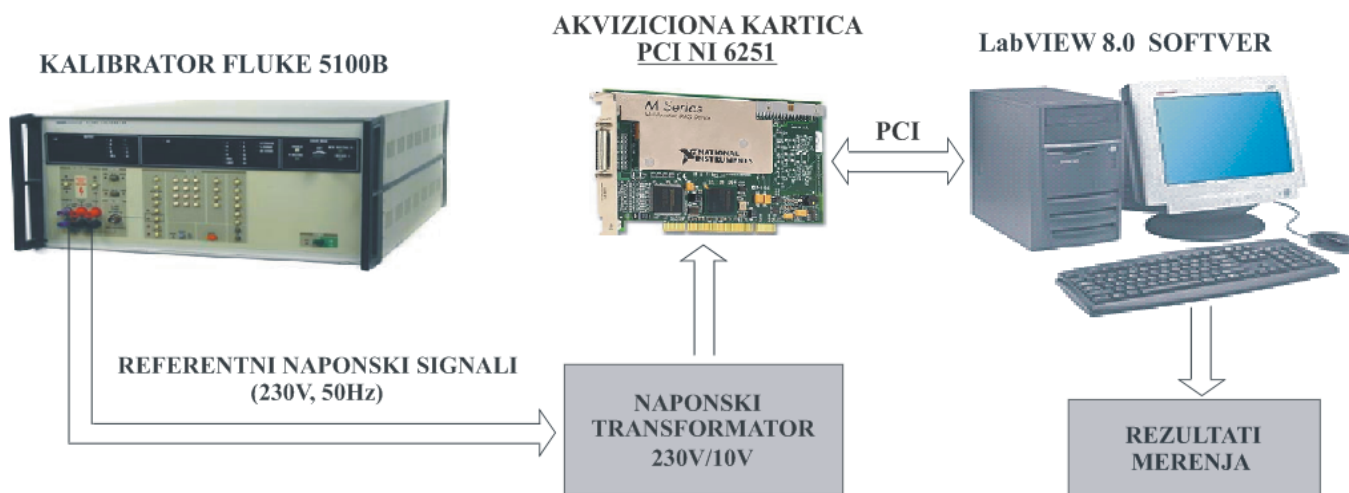
Sadržaj - U radu su predstavljene mogućnosti primene softvera za razvoj virtuelne merne instrumentacije u postupku ispitivanja naponskih mernih transformatora, na bazi softverski podržane analize rezultata merenja dobijenih merenjem osnovnih parametara izlaznog napona transformatora. Referentne vrednosti parametara napona na ulazu transformatora, propisane standardima (230V, 50Hz), obezbeđuju se multifunkcionalnim kalibratorom Fluke 5100B. Hardverski deo mernog sistema čine računar i akviziciona kartica PCI NI 6251. Naponski signali sa izlaznih priključaka transformatora vode se direktno na ulaz A/D konvertora primenjene akvizicione kartice. Softverska aplikacija u PC okruženju realizovana primenom LabVIEW 8.0 programskog paketa, omogućava merenje, memorisanje, prezentaciju i statističku obradu izmerenih efektivnih vrednosti, frekvencije, faze i viših harmonika izlaznog napona. Statistička obrada rezultata merenja, sa mogućnošću prezentacije vremenskih dijagrama i histograma izmerenih naponskih parametara, obezbeđuje proračun srednjih vrednosti merenih parametara napona, kao i proračun komponenata ukupne merne nesigurnosti dobijenih rezultata, u skladu sa relevantnim preporukama za procenu i prikazivanje nesigurnosti u merenju.

Abstract - Possibilities of using the virtual instrumentation development software in the procedure of voltage measurement transformer checking, based on software supported processing of measurement data obtained by measurement of transformer output voltage parameters, are presented in this paper. Reference voltage parameter values on transformer inputs, defined by standards (230V, 50Hz), are provided by multifunctional calibrator Fluke 5100B. Hardware segment of the measurement system includes computer and acquisition card PCI NI 6251. Voltage signals from transformer outputs are transferring directly to input of acquisition card A/D converter. Software application in PC environment, developed using LabVIEW 8.0 programming package, performs measurement, recording, presentation and statistical processing of the measured RMS values, frequency, phase and output voltage high-order harmonics. Statistical analysis of measurement data, with possibility for presentation of time diagrams and histograms of measured voltage parameters, perform calculation of the mean measured parameter values and estimation of measurement uncertainty components, according to the relevant recommendations for estimation and expression of uncertainty in measurement.

1. UVOD

U uslovima ubrzanog porasta potrošnje električne energije i ograničenih prirodnih energetskih potencijala potrebnih za njenu proizvodnju, imperativni zahtev jeste povećanje nivoa efikasnosti pri procesima proizvodnje, distribucije i potrošnje električne energije. Kao posledica sve izraženije liberalizacije tržišta električne energije, dolazi do uključivanja i integracije širih geografskih oblasti u poslovanje električnom energijom, što podrazumeva i povećan broj učesnika na tržištu električne energije, povećani obim finansijskih transakcija i znatno veću količinu korisnih informacija i podataka koje treba razmeniti, klasifikovati i obraditi. U postupcima ispitivanja parametara, dijagnostike stanja i verifikacije tačnosti transformatora, kao izuzetno bitnim aspektima za obezbeđenje pomenutih zahteva u pogledu energetske efikasnosti, naglašen je trend prelaska sa pojedinačnih postupaka merenja na sofisticiranija rešenja integrisanih softverski podržanih merno-akvizicionih sistema. Istovremeno, sa hronološki planiranog održavanja i kontrole transformatora prelazi se na odražavanje po trenutnom stanju, uz uvažavanje procene mogućih neželjenih događaja, trajanja životnog veka opreme i uz korišćenje savremenih računarskih i informacionih tehnologija, kao i globalnih baza podataka [1].

Za ispitivanje tačnosti naponskih mernih transformatora u odgovarajućim akreditovanim metrološkim laboratorijama ili institucijama, neophodna je odgovarajuća merna i kontrolna oprema, koja pre svega podrazumeva referentni instrument za generisanje standardima definisanih referentnih naponskih signala i kontrolni instrument za merenje vrednosti osnovnih parametara napona na izlaznim priključcima transformatora. U ovom radu je predstavljeno rešenje laboratorijskog merno-akvizicionog sistema za ispitivanje karakteristika i proveru tačnosti niskonaponskih mernih transformatora, bazirano na multikanalnoj univerzalnoj kartici za akviziciju podataka PCI NI 6251 [2], softverski podržanoj aplikacijom razvijenom u LabVIEW programskom okruženju [3]. Kao referentni uređaj za obezbeđenje naponskih test signala za ulaz transformatora koji se ispituje, efektivnih vrednosti 230V i frekvencije 50Hz, iskorišćen je multifunkcionalni kalibracioni instrument tipa Fluke 5100B [4]. Realizovanom programskom aplikacijom u PC okruženju obezbeđuje se kontinuirano merenje, grafička prezentacija, periodično memorisanje, kao i statistička obrada izmerenih vrednosti osnovnih naponskih parametara na izlazu mernog transformatora, shodno odgovarajućim međunarodno priznatim preporukama i dokumentima za proračunavanje i predstavljanje nesigurnosti dobijenih rezultata merenja.



Sl. 1. Hardverska blok konfiguracija rešenja eksperimentalnog merno-akvizicionog sistema

2. BLOK KONFIGURACIJA MERNOG SISTEMA

Uprošćena hadverska blokovska konfiguracija razvijenog eksperimentalnog merno-akvizicionog sistema, namenjenog za verifikaciju tačnosti naponskih mernih transformatora u laboratorijskim radnim uslovima, predstavljena je na Slici 1. Prikazano rešenje mernog sistema, realizovano na Katedri za merenja Elektronskog fakulteta u Nišu, uključuje kalibracioni referentni uređaj Fluke 5100B, akvizicionu karticu NI 6251 i standardnu računarsku konfiguraciju sa softverskim paketom za projektovanje virtuelne merne instrumentacije LabVIEW 8.0. Multifunkcionalni kalibracioni instrument Fluke 5100B je mikroprocesorski kontrolisan uređaj, koji je programabilan od strane korisnika posredstvom prednje ploče instrumenta. Zavisno od trenutnih zahteva samih korisnika, instrumentom se obezbeđuje generisanje referentnih AC naponskih signala, efektivnih vrednosti napona u opsegu od 1mV do 1100V, pri frekvenciji generisanih naponskih signala u rasponu od 50Hz do 1KHz [4]. U konkretnom slučaju kalibratorom se generišu referentni naponski signali, sa osnovnim parametrima koji su definisani prema odredbama evropskog standarda za kvalitet električne energije EN 50160 [5], efektivne vrednosti napona 230V i frekvencije od 50Hz. Ovi naponski signali generisani na izlazu kalibratora se pomoću standardnih BNC konektora vodi direktno na ulaz transformatora čija se tačnost ispituje.

U narednom segmentu datog postupka, naponski signali generisani na izlaznim priključcima transformatora u opsegu $\pm 10V$, šalju se na ulaze A/D konvertora u sklopu primenjene akvizicione kartice, 16-bitne rezolucije [2]. Multikanalna PCI kartica za akviziciju podataka NI 6251, sa mogućnošću A/D i D/A konverzije podataka, američkog proizvođača korporacije National Instruments, u ovoj konkretnoj aplikaciji koristi dva analogna ulazna kanala, za prihvatanje mernih signale sa dva izlaza transformatora nominalnih efektivnih vrednosti napona od 10V i 5V. Direktna dvosmerna komunikacija i razmena podataka između akvizicione kartice i računara obezbeđuje se posredstvom standardnog PCI komunikacionog interfejsa.

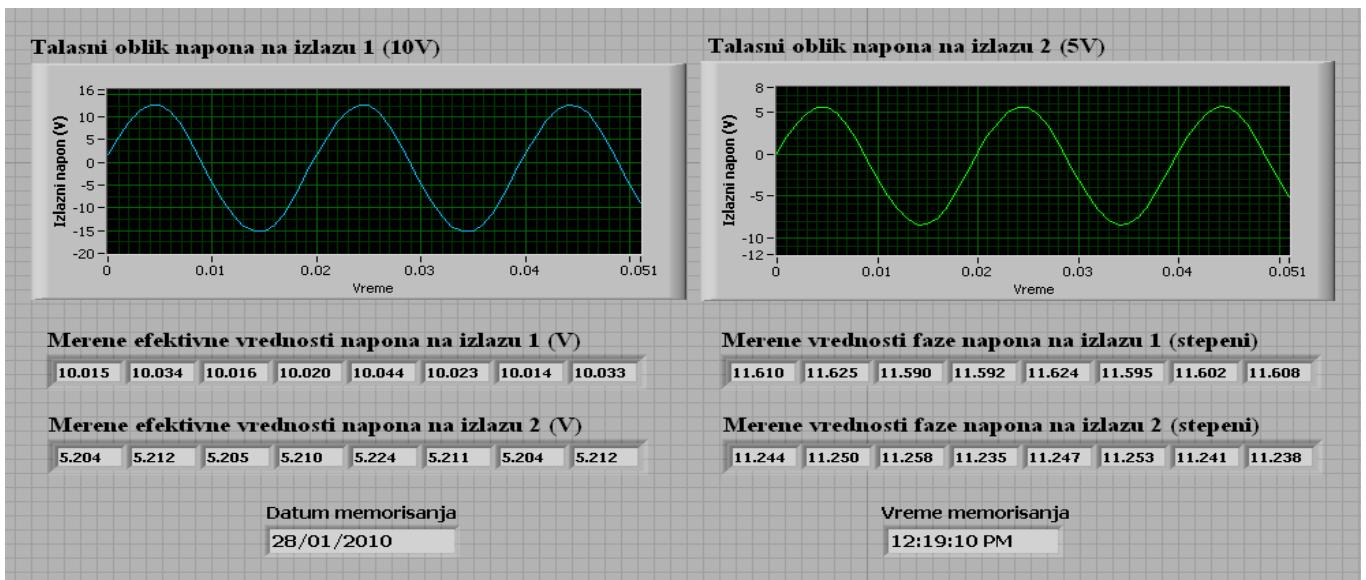
Prethodno opisana automatizovana procedura verifikacije tačnosti naponskih mernih transformatora, na osnovu merenja i statističke analize izmerenih vrednosti osnovnih parametara izlaznog napona, kontroliše se softverski pomoću programske

aplikacije projektovane u LabVIEW grafičkom programskom okruženju. Rešenja virtuelnih mernih instrumenata, razvijena kao softverska podrška opisanog merno-akvizicionog sistema prikazana su i detaljnije opisana u narednom poglavlju rada.

3. LabVIEW PROGRAMSKA PODRŠKA SISTEMA

Koncept virtuelne merne instrumentacije je metodologija za projektovanje mernih instrumenata koja koristi standardne PC računare ili industrijske radne stanice, prateće hardverske komponente za akviziciju mernih podataka i specijalizovane programske pakete za prikupljanje, analizu i grafički prikaz dobijenih rezultata merenja. Hardverski deo nekog virtuelnog instrumenta uključuje računar i akvizicionu karticu, pri čemu se softverski segment takvih instrumenata programira shodno potrebi, pri čemu korisnici na raspolaganju imaju univerzalne funkcionalne blokove, pojedinačne elemente prednjeg panela ili kompletne prednje panele mernih uređaja i druge funkcije koje se mogu iskoristiti pri realizaciji mernih i akvizicionih sistema. Jedna od najznačajnijih prednosti virtuelnih mernih instrumenata jeste mogućnost da se naknadne promene mogu obavljati jednostavnom korekcijom programskog algoritma, na osnovu koga se preko računara realizuje merna procedura.

Softverska aplikacija za upravljanje procesom čija je blok konfiguracija prethodno opisana, realizovana je posredstvom grafički orijentisanog programskog alata LabVIEW 8.0. Ova aplikacija virtuelne instrumentacije obezbeđuje kontinuirano merenje, periodično memorisanje, grafički prikaz i statističku analizu izmerenih vrednosti osnovnih parametara napona na izlazima transformatora. Prednji panel virtuelnog instrumenta u LabVIEW okruženju koji omogućava uporednu grafičku prezentaciju memorisanih talasnih oblika izlaznih naponskih signala transformatora, prikazan je na Slici 2. Pored prikaza talasnih oblika naponskih signala, na prednjem panelu datog virtuelnog instrumenta prikazani su neki od rezultata merenja efektivnih vrednosti i faza naponskih signala, na izlazima od 10V i 5V. Konkretno, na prednjem panelu ovog instrumenta od ukupno stotinu vrednosti, zbog preglednosti, predstavljeno je po osam uzastopno izmerenih efektivnih vrednosti i faza izlaznih naponskih signala, uključujući i dodatne informacije o tačnom datumu i vremenu memorisanja prikazanih talasnih oblika signala i izmerenih efektivnih vrednosti i faza napona.



Sl. 2. LabVIEW virtualni instrument za grafičku prezentaciju talasnih oblika i merenje parametara izlaznih napona

Rezultati softverski podržane analize efektivnih vrednosti napona na izlazu transformatora merenih prethodno opisanim virtuelnim mernim instrumentom, obavljene u LabVIEW 8.0 programskom okruženju, grafički su predstavljene na Slici 3. Prikazana programska aplikacija daje mogućnost za uporednu grafičku prezentaciju memorisanih vremenskih dijagrama za ukupno stotinu merenih efektivnih vrednosti izlaznog napona transformatora. Veći broj mernih podataka dobijenih na bazi ponovljenih postupaka merenja, zahteva da se posredstvom statističke analize izmerenih vrednosti naponskih parametara obezbede dodatni podaci o procenjenim srednjim izmerenim vrednostima i nesigurnostima dobijenih rezultata merenja. U skladu sa tim, putem prednjeg panela virtuelnog instrumenta prikazanog na Slici 3. obezbeđuje se indikacija minimalnih i maksimalnih efektivnih vrednosti izlaznih napona, dobijenih tokom procesa merenja, sa proračunavanjem i prezentacijom srednjih merenih efektivnih vrednosti napona i odgovarajućih komponentata mernih nesigurnosti po tipu A i tipu B. Procena komponenti nesigurnosti rezultata merenja izvršena je prema odredbama propisanim važećim uputstvom za izračunavanje i predstavljanje merne nesigurnosti, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [6], usvojenim od međunarodne

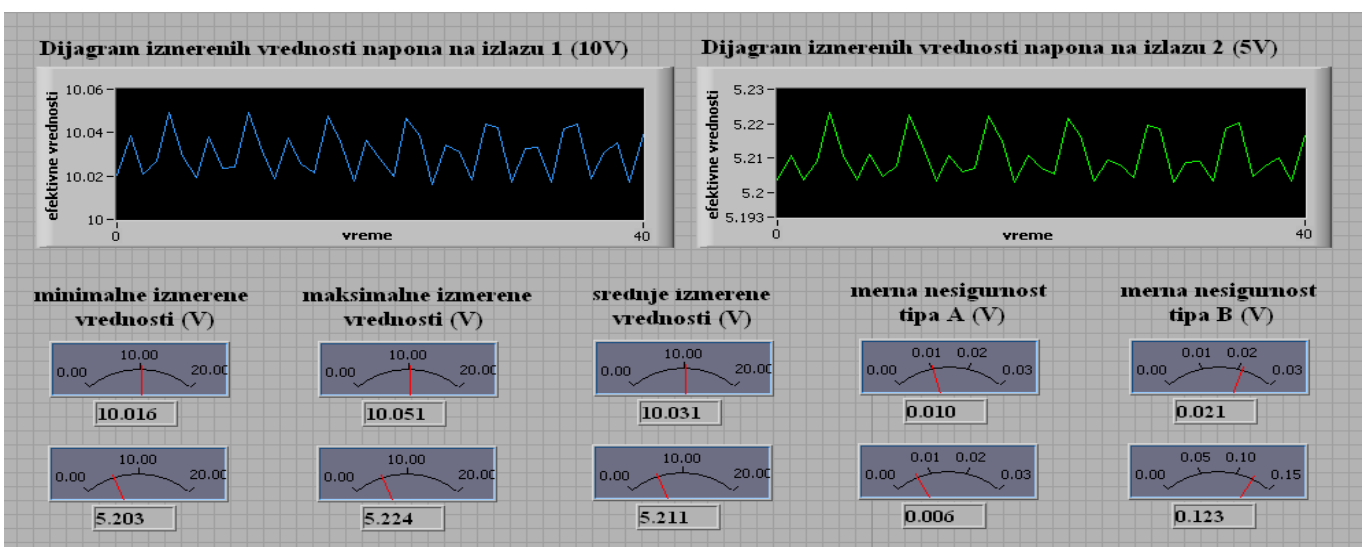
organizacije za standarde - ISO. Srednje vrednosti izmerenih parametara napona procenjene su na bazi aritmetičke sredine dobijenih rezultata merenja, odnosno prema sledećoj relaciji:

$$V_{srednje} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

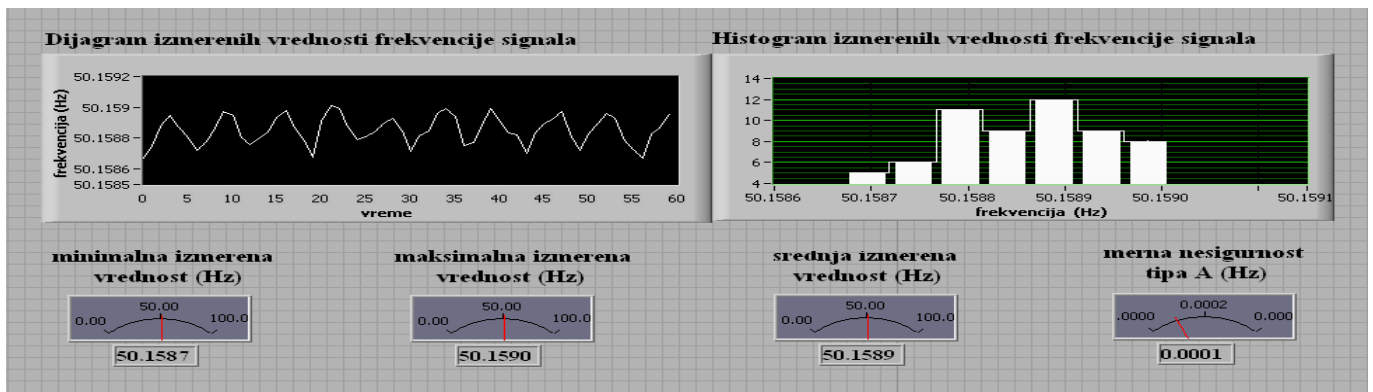
Komponente standardne nesigurnosti tipa A procenjene su primenom statističkih metoda za obradu rezultata višestruko ponovljenih postupaka merenja, odnosno iz procene vrednosti standardne devijacije niza rezultata merenja, shodno relaciji:

$$u_A(V) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (V_i - V_{srednje})^2} \quad (2)$$

Odgovarajuće vrednosti komponentata standardnih mernih nesigurnosti tipa B proračunate su na bazi podataka preuzetih iz specifikacija proizvođača referentnog mernog instrumenta, kalibratora tipa Fluke 5100B. Shodno datim specifikacijama, deklarirana nominalna tačnost pri generisanju referentnih AC naponskih signala, pri opsegu frekvencija od 50Hz do 1KHz, za ovaj uređaj iznosi 0,05% [4]. Na osnovu poznatog podatka o nominalnoj tačnosti kalibratora i proračunatih sistematskih grešaka, za nesigurnosti tipa B dobijaju se sledeće vrednosti:



Sl. 3. Statistička analiza izmerenih efektivnih vrednosti napona u LabVIEW programskom okruženju



Sl. 4. LabVIEW statistička analiza izmerenih vrednosti frekvencije izlaznog napona transformatora

$$u_{B1}(V) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{0.05}{100} 10V + \frac{0.031V}{\sqrt{3}} = 0.021V \quad (3)$$

$$u_{B2}(V) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{0.05}{100} 5V + \frac{0.211V}{\sqrt{3}} = 0.123V \quad (4)$$

Vrednosti kombinovanih mernih nesigurnosti dobijene su iz proračunatih pojedinačnih standardnih mernih nesigurnosti tipa A i tipa B, metodom korena sume kvadrata, odnosno:

$$u_{C1}(V) = \sqrt{u_{A1}^2 + u_{B1}^2} = 0.023V \quad (5)$$

$$u_{C2}(V) = \sqrt{u_{A2}^2 + u_{B2}^2} = 0.123V \quad (6)$$

Statistička analiza merenih vrednosti frekvencije izlaznog napona bazirana na primeni LabVIEW aplikativnog softvera, ilustrovana je na Slici 4. Slično kao u slučaju analize merenih efektivnih vrednosti, ovde su prikazani vremenski dijagram i histogram dobijenih rezultata, uključujući prikaz minimalne i maksimalne izmerene vrednosti, procenjene srednje vrednosti frekvencije i merne nesigurnosti tipa A. Prikazana softverska analiza uključuje merenje frekvencije signala na naponskom izlazu transformatora nominalne efektivne vrednosti od 10V. Konačni zbirni pregled rezultata merenja osnovnih naponskih parametara dobijenih tokom opisane procedure za ispitivanje tačnosti naponskih transformatora, u formi finalnog izveštaja, dat je u Tabeli 1. Pored rezultata merenja efektivnih vrednosti i frekvencije izlaznih naponskih signala, u tabeli su navedene i izmerene procentualne vrednosti nekih karakterističnih viših

neparnih harmonika izlaznog napona. Navedene maksimalne merene vrednosti viših harmonika su definisane u odnosu na maksimalnu vrednost osnovnog harmonika izlaznog napona.

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljeno rešenje eksperimentalnog merno-akvizicionog sistema, projektovanog za verifikaciju tačnosti naponskih mernih transformatora u laboratorijskim uslovima. Funkcionalna osnova datog rešenja obezbeđuje se primenom programskog paketa virtuelne instrumentacije LabVIEW 8.0. Ovo rešenje uključuje standardnu računarsku konfiguraciju sa aplikativnim softverom, kalibracioni instrument Fluke 5100B za zadavanje referentnih signala i akvizicionu karticu PCI NI 6251, koja koristi dva analogna ulazna kanala za prihvatanje naponskih signala sa izlaza transformatora. Opisani virtuelni instrumenti obezbeđuju merenje i statističku analizu rezultata merenja osnovnih parametara izlaznog napona. Ta statistička analiza izmerenih vrednosti uključuje prezentaciju snimljenih dijagrama dobijenih rezultata merenja, indikaciju minimalnih i maksimalnih izmerenih vrednosti, procenu srednjih merenih vrednosti, standardnih i kombinovanih mernih nesigurnosti. Prikazano rešenje na bazi standardnog računara i hardvera za akviziciju podataka eliminiše potrebu za praćenjem promena parametara izlaznog napona po svakoj tački promene ulaznog napona, pri procesima verifikacije tačnosti transformatora ili generalno pri etaloniranju mernih instrumenata, obezbeđujući kompletnu softversku automatizaciju pomenutih procedura.

merenje efektivnih vrednosti napona		
izmerene vrednosti	izlaz 1	izlaz 2
minimalne vrednosti	10.016 V	5.203 V
maksimalne vrednosti	10.051 V	5.224 V
srednje vrednosti	10.031 V	5.211 V
nesigurnost tipa A	0.010 V	0.006 V
nesigurnost tipa B	0.021 V	0.123 V
kombinov. nesigurnost	0.023 V	0.123 V
merenje frekvencije izlaznog napona		
minimalne vrednosti	50.1587 Hz	50.1596 Hz
maksimalne vrednosti	50.1590 Hz	50.1601 Hz
srednje vrednosti	50.1589 Hz	50.1598 Hz
merenje viših harmonika napona		
maksimalne izmerene vrednosti		
harmonik 3. reda	1.598 %	1.603 %
harmonik 5. reda	0,461 %	0,467 %
harmonik 7. reda	0,288 %	0,291 %

Tab. 1. Pregled izmerenih vrednosti naponskih parametara

LITERATURA

- [1] T. Chiulan, B. Pantelimon, *Power Transformer Units Condition Assessment Using Virtual Instrumentation*, Journal of Electronics and Electrical Engineering,, No. 6(86), 2008.
- [2] National Instruments Corporation, *Data Acquisition Card NI 6251, User Guide and Specifications*, USA, 2005.
- [3] National Instruments Corporation, *LabVIEW 8.0 User Manual*, USA, 2007, www.ni.com.
- [4] Fluke Corporation, *Multifunction Calibrator Fluke 5100 Series B Instruction Manual*, USA.
- [5] *EN 50160 Power Quality Standard, Power Quality Access Meters and EN50160*, Siemens, May, 2003.
- [6] ISO, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO organization , Geneva, Switzerland, 1993.