

# Postupak etaloniranja mernih pretvarača AC struje i napona i električne otpornosti

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj

**Apstrakt**—Ovaj rad opisuje postupak etaloniranja mernih pretvarača električne otpornosti, struje i napona u električnu struju u uslovima unutar metrološke laboratorije. Prikazane su najbolje mogućnosti merenja, opisana je priprema za merenje, navedena je merna oprema koja se koristi, opisani su postupci merenja koje treba sprovesti i prikazana je obrada dobijenih rezultata.

**Ključne reči**—merni pretvarač; etalonski otpornik; multimetar; etaloniranje; merna nesigurnost; budžet merne nesigurnosti; metrologija.

## I. UVOD

Ovaj rad ima cilj da prikaže jedan od načina na koji Laboratorija za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu vrši etaloniranje mernih pretvarača struje, napona i otpornosti. Krajnji proizvod etaloniranja je dokument Uverenje o etaloniranju koje se izdaje klijentu saglasno dokumentovanom sistemu kvaliteta.

Postupak etaloniranja pokaznih mernih pretvarača određen je radnim uputstvom izrađenim od strane tima saradnika Laboratorije za metrologiju. U radnom uputstvu, svi termini i definicije su u skladu sa SRPS ISO/IEC 9000:2015, SRPS ISO/IEC 17025:2017 i Međunarodnim rečnikom osnovnih i opštih termina u metrologiji.

Merni pretvarači su uređaji koji pretvaraju energiju iz jednog oblika u drugi. Iako se termin pretvarač obično upotrebljava da označi senzor ili detektor, zapravo bilo koji uređaj koji konvertuje energiju može se smatrati pretvaračem. Pretvarači se npr. obilno koriste u mernim instrumentima i nazive dobijaju prema oblicima energije između kojih se obavlja transformacija. Tako npr. postoje termo-električni, hemijsko-akustički, tenzo-magnetski itd.

Opisane metode etaloniranja u ovom radu odnose se na merne pretvarače sa električnom strujom, naponom ili

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [mirkovicst@uns.ac.rs](mailto:mirkovicst@uns.ac.rs)).

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [nemanjagazivoda@uns.ac.rs](mailto:nemanjagazivoda@uns.ac.rs)).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [bojanvuj@uns.ac.rs](mailto:bojanvuj@uns.ac.rs)).

Marina Subotina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [marina.bulat@uns.ac.rs](mailto:marina.bulat@uns.ac.rs)).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs)).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [platon@uns.ac.rs](mailto:platon@uns.ac.rs)).

električnom otpornošću na ulazu, i jednosmernom strujom na izlazu. Etaloniranje se vrši tako što se na ulaz mernog pretvarača dovede poznata veličina za koju je predviđen, zatim se meri odgovarajuća izlazna veličina, i vrši se poređenje empirijskih rezultata sa rezultatima na osnovu nominalnog faktora prenosa. Merenje se vrši na početku i kraju mernog opsega pretvarača i još u najmanje četiri tačke koje ekvidistantno dele opseg mernog pretvarača. Prenosna karakteristika mernog pretvarača mora biti označena na samom pretvaraču, a u slučaju da su označeni samo ulazni opseg vrednosti naizmenečne struje i izlazni opseg jednosmerne struje tada se podrazumeva da je prenosna karakteristika linearna, te da se za maksimalnu vrednost ulazne veličine dobija na izlazu maksimalna vrednost izlaza.

## II. MERNE MOGUĆNOSTI I MERNA OPREMA

U Tabeli I prikazane su merne mogućnosti etaloniranja.

TABELA I  
MERNE MOGUĆNOSTI

Veličina	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost*
Naizmenečni napon	Merni pretvarač naizmenečnog napona	0 V do 250 V	0,02 %
Naizmenečna struja	Merni pretvarač naizmenečne struje	0 A do 6 A	0,1 %
Električna otpornost	Merni pretvarač električne otpornosti	0 Ω do 1 MΩ	0,02 %

\*Merna nesigurnost je proširena merna nesigurnost, gde je standardna merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k=2$ , što za slučaj normalne raspodele greške odgovara verovatnoći od približno 95 %.

### Merna oprema

TABELA II  
MERNA OPREMA

Naziv	Tip
Kalibrator	Time Electronics 5025
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Etalon otpornik	
Dekadna kutija otpornosti	

### III. ETALONIRANJE

Priprema za etaloniranje u Laboratoriji podrazumeva vizuelni pregled objekta etaloniranja, konstataciju da je objekt pripremljen za etaloniranje i proveru referentnih uslova etaloniranja. Potrebno da objekt etaloniranja bude u Laboratoriji najmanje 12 sati pre početka etaloniranja, da bi se njegova temperatura izjednačila sa temperaturom okoline. Vizuelnim pregledom se utvrđuje opšte stanje objekta etaloniranja i konstatuju se eventualna oštećenja. Utvrđuje se, takođe, i postojanje dokumentacije o objektu etaloniranja, relevantne za etaloniranje. Referentni uslovi za merenje u Laboratoriji su:

Temperatura okoline:  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ;  
 Relativna vlažnost vazduha:  $(45 \pm 15) \%$ .

Referentni uslovi u Laboratoriji se održavaju stalno, i podrazumeva se ispunjenje navedenih zahteva neposredno pre merenja.

#### Merni pretvarači struje u struju

U slučaju etaloniranja mernih pretvarača struje, šema povezivanja je kao na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača naizmenične struje na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(I_{IN})$  merenja ulazne struje pretvaračem:

$$G(I_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (I_{IN} + \delta I_{IN}) \quad (1)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- $I_{IN}$  Izmerena vrednost struje na ulazu pretvarača;
- $\delta I_{IN}$  Korekcija zbog netačnosti merenja struje na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom Fluke 8846A sa granicama greške

$G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Vrednost struje na ulazu pretvarača  $I_{IN}$  meri se digitalnim multimetrom Fluke 8846A sa granicama greške  $G(I_{IN})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta I_{IN}) = \frac{G(I_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (5)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (6)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta I_{IN}} = 1 \quad (6)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta I_{IN})]^2} \quad (7)$$

Proširena merna nesigurnost  $U$  definisana je sa:

$$U = k \cdot u(I_{IN}) \quad (8)$$

Etaloniran je merni pretvarač naizmenične struje dometa 5 A, u jednosmernu struju dometa 10 mA.

TABELA III  
 REZULTATI ETALONIRANJA

Ulazna struja	Izlazna struja	Greška	Merna nesigurnost*	Faktor obuhvata
$I_{IN}$ (A)	$I_{OUT}$ (mA)	$G(U_{OUT})$ (mA)	$U$ (mA)	$k$
0	0,000	0	10	2
1	2,070	35	10	2
2	4,060	30	10	2
3	6,000	0	10	2
4	7,950	-25	10	2

\*Merna nesigurnost je proširena merna nesigurnost, gde je standardna merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k=2$ , što za slučaj normalne raspodele greške odgovara

verovatnoći od približno 95 %. Tabela V ujedno prikazuje i prilog uz Uverenje o etaloniranju koje izdaje Laboratorija.

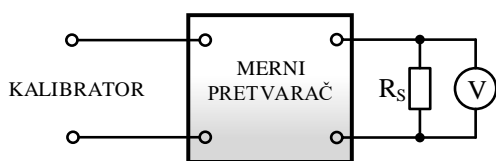
TABELA IV  
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ETALONIRANJA ZA ULAZNU STRUJU 5 A

Naziv veličine	Simbol	Ocena	Parcijalna nesigurnost	Tip nesigurnosti	Raspodela	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
Nazivna vrednost prenosnog odnosa	$K_N$	$\frac{5 \text{ A}}{10 \text{ mA}}$					
Izlazni napon	$U_{OUT}$	99,3 mV					
Korekcija izlaznog napona	$\delta U_{OUT}$	0 V	$5,8 \cdot 10^{-6} \text{ V}$	B	ravnomerna	$50 \Omega^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ A}$
Otpornost etalonskog otpornika	$R_S$	10 $\Omega$					
Korekcija otpornost etalonskog otpornika	$\delta R_S$	0 $\Omega$	$0,58 \cdot 10^{-3} \Omega$	B	ravnomerna	$-0,5 \text{ V} \cdot \Omega^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ A}$
Ulazna struja	$I_{IN}$	5 A					
Korekcija ulazne struje	$\delta I_{IN}$	0 A	$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$	B	ravnomerna	-1	$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
Greška merenja ulazne struje	$G(I_{IN})$	-0,035 A	Kombinovana merna nesigurnost				$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
			Proširena merna nesigurnost ( $k=2$ )				$8,8 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

Na veoma sličan način se vrši etaloniranje mernih pretvarača napona u struju i električne otpornosti u struju.

#### Merni pretvarači napona u struju

Tipična šema za etaloniranje mernog pretvarača napona data je na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača napona na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(U_{IN})$  merenja ulaznog napona pretvaračem:

$$G(U_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (U_{IN} + \delta U_{IN}) \quad (9)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija zbog netačnosti merenja etalonske otpornosti;
- $U_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost napona na ulazu pretvarača;
- $\delta U_{IN}$  Korekcija napona na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Vrednost napona na ulazu pretvarača  $U_{IN}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(I_{IN})$ , ili koristi uverenje o etaloniranju. Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{IN}) = \frac{G(U_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (13)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (14)$$

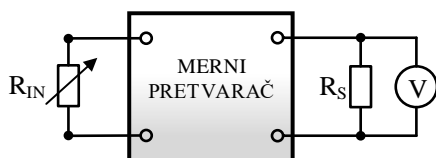
$$c_3 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta U_{IN}} = 1 \quad (15)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta U_{IN})]^2} \quad (16)$$

Merni pretvarači električne otpornosti u struju

Tipična šema za etaloniranje mernog pretvarača električne otpornosti data je na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača električne otpornosti na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(R_{IN})$  merenja ulazne otpornosti pretvaračem:

$$G(R_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (R_{IN} + \delta R_{IN}) \quad (17)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija zbog netačnosti merenja etalonske otpornosti;
- $R_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost otpornosti na ulazu pretvarača;
- $\delta R_{IN}$  Korekcija otpornosti na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja etalonske otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja ulazne otpornosti  $G(R_{IN})$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja ulazne otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_{IN}) = \frac{G(R_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (21)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (22)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta R_{IN}} = 1 \quad (23)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta R_{IN})]^2} \quad (24)$$

#### IV. ZAKLJUČAK

Postupak etaloniranja mernih pretvarača električne otpornosti, struje i napona saglasno je dokumentovanom sistemu kvaliteta Laboratorije za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Merne nesigurnosti opisanih metoda zadovoljavaju zahteve većine korisnika usluga Laboratorije, pa samim tim se takve i implemetiraju. Dalja istraživanja i razvoj novih mernih metoda unutar Laboratorije su vizija budućeg rada.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

## LITERATURA

- [1] "Etaloniranje mernih pretvarača", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008
- [3] "International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 200:2012
- [4] A. Dunjić, J. Pantelić-Babić, M. Pavićević, "Postupak etaloniranja ampermetara i kalibratora jednosmerne električne struje u dokumentovanom sistemu kvaliteta ZMDM", *Zbornik radova 50. Konferencije za ETRAN*, vol. III, Beograd, 2006.
- [5] "8845A/8846A Digital Multimeter Users Manual", Fluke Corporation, USA, July 2006

- [6] "ETALONIRANJE MERNIH PRETVARAČA", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

## ABSTRACT

The paper describes the procedure for calibration of electrical resistance, current and voltage measuring transducers under conditions inside the metrology laboratory. The best measurement possibilities and measurement equipment are presented, the preparation for measurements and measurement procedures is described, and processing of the obtained results is shown.

### **Procedure for Calibration of AC Current and Voltage and Electrical Resistance Measuring Transducers**

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj