

Postupak etaloniranja mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage

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

Apstrakt—Laboratorija za metrologiju (FTN) vrši etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage. Snaga koja se izmeri mernim pretvaračem poredi se sa ulaznom referentnom snagom, i na osnovu toga se određuje greška pretvarača. U radu su prikazane mogućnosti etaloniranja, postupak pripreme za etaloniranje, dokumentovana je merna oprema kao i postupci merenja. Prikazani su specifični rezultati etaloniranja praćeni odgovarajućim mernim nesigurnostima.

Ključne reči— merni pretvarač; aktivna snaga; reaktivna snaga; kalibrator; multimetar; etaloniranje; merna nesigurnost; budžet merne nesigurnosti; metrologija.

I. UVOD

U Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu vrši se etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage, što je opisano u ovom radu. Kao krajnji proizvod etaloniranja Laboratorija izdaje dokument Uverenje o etaloniranju koje se izdaje klijentu saglasno dokumentovanom sistemu kvaliteta. Etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage, kao i sam postupak, određen je radnim uputstvom izrađenim od strane tima saradnika Laboratorije za metrologiju, na osnovu EURAMET-ovih saveta, kao i uputstava iz [1]. U radnom uputstvu laboratorije 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 snage koji na svom izlazu daju jednosmernu struju srazmernu električnoj snazi koja se razvija na njegovim ulazima su tema ovog rada. Nazivni opsezi ulaznih, odnosno izlazne veličine kao i klasa tačnosti označeni su najčešće na samom pretvaraču. Praksa je da se etaloniranje vrši korišćenjem mernih instrumenata čija tačnosti je najmanje pet puta veća od tačnosti overavanog pretvarača.

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: 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).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: 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).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: 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).

Overa se vrši u najmanje pet ekvidistantnih tačaka koje prolaze kroz ceo nazivni opseg ulaznih veličine uz napomenu da je fazni stav ulaznih veličina jednak nominalnoj vrednosti (ako je reč o pretvaraču aktivne snage $\varphi = 0$ rad, odnosno ako je reč o pretvaraču reaktivne snage $\varphi = (\pi/2)$ rad).

II. MERNE MOGUĆNOSTI I MERNA OPREMA

Merne mogućnosti u vidu mernih nesigurnosti etaloniranja mernih pretvarača aktivne i reaktivne snage, raspoloživom opremom Laboratorije prikazane su u tabeli ispod.

TABELA I
MERNE MOGUĆNOSTI

Veličina	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost*
Aktivna snaga	Merni pretvarač aktivne snage	0 W do 1500 W	0,1 %
Reaktivna snaga	Merni pretvarač reaktivne snage	0 VAr do 1500 VAr	0,1 %

*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

Oprema Laboratorije koja se koristi za etaloniranje prikazana je u Tabeli II.

TABELA II
MERNA OPREMA

Naziv	Tip
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Konvertor snage	MSP-1
Dvokanalni izvor funkcija	
Etalon otpornik	
Dekadna kutija otpornosti	

III. ETALONIRANJE

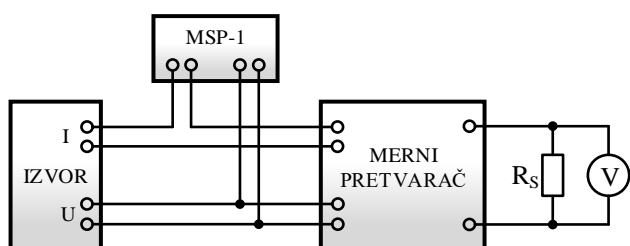
Pre etaloniranja, vizuelnim pregledom objekta etaloniranja vrši se konstatacija da je objekat pripremljen za etaloniranje i

provera referentnih uslova etaloniranja unutar Laboratorije. Utvrđuje se opšte stanje objekta etaloniranja, konstatuju se eventualna oštećenja, kao i postojanje dokumentacije o objektu etaloniranja, relevantne za etaloniranje. Objekt etaloniranja mora da bude u Laboratoriji najmanje 12 sati pre početka etaloniranja, da bi se njegova temperatura izjednačila sa temperaturom okoline. Uslovi za merenje u Laboratoriji su:

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

Ovi uslovi se održavaju stalno, i podrazumeva se ispunjenje navedenih referentnih uslova neposredno pre merenja.

Merni pretvarač aktivne snage



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača aktivne snage u jednosmernu struju

Model izračunavanja greške $G(P_{IN})$ merenja ulazne aktivne snage:

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

gde je:

- K_N Nazivna vrednost faktora prenosa;
- U_{OUT} Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- δU_{OUT} Korekcija napona na izlazu pretvarača;
- R_S Otpornost etalonskog otpornika;
- δR_S Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- P_{IN} Zadana/izmerena vrednost aktivne snage na ulazu pretvarača;
- δP_{IN} Korekcija aktivne snage na ulazu pretvarača;

Vrednost ulazne snage P_{IN} meri se digitalnim vatmetrom MSP-1 sa granicama greške $G(P_{IN})$. Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim vatmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta P_{IN}) = \frac{G(P_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Vrednost izlaznog napona U_{OUT} meri se digitalnim

voltmetrom sa granicama greške $G(U_{OUT})$. Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim voltmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

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

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

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

Koeficijenti osetljivosti su:

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

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

$$c_3 = \frac{\partial G(P_{IN})}{\partial \delta P_{IN}} = 1 \quad (7)$$

Merna nesigurnost određivanja greške $G(I_{IN})$ je:

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

Proširena merna nesigurnost U definisana je sa:

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

Kao primer etaloniran je merni pretvarač aktivne snage dometa 1500 W, u jednosmernu struju dometa 10 mA.

TABELA III
 REZULTATI ETALONIRANJA

Ulazna aktivna snaga	Izlazna struja	Greška	Merna nesigurnost*	Faktor obuhvata
P_{IN} (W)	I_{OUT} (mA)	$G(U_{OUT})$ (W)	U (W)	k
0	0,000	0,000	1,5	2
300	1,970	-4,500	1,5	2
600	3,950	-7,500	1,5	2
900	5,970	-4,500	1,5	2
1200	8,020	3,000	1,5	2
1500	10,060	9,000	1,5	2

*Proširena merna nesigurnost, gde je standardna kombinovana merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata $k=2$, što za slučaj normalne raspodele greške

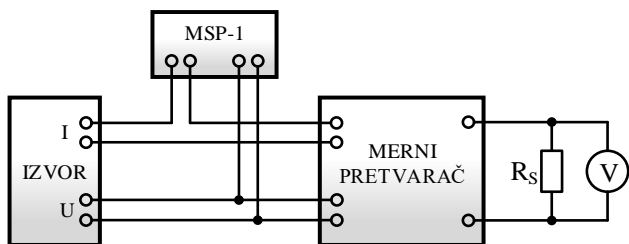
odgovara verovatnoći od približno 95 %. Tabela III ujedno Laboratorija prikazuje i prilog uz Uverenje o etaloniranju koje izdaje

TABELA IV
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ETALONIRANJA ZA ULAZNU SNAGU OD 1200 W

Naziv veličine	Simbol	Ocena	Parcijalna nesigurnost	Tip nesigurnosti	Raspodela	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
Nazivna vrednost prenosnog odnosa	K_N	$\frac{1500 \text{ W}}{10 \text{ mA}}$					
Izlazni napon	U_{OUT}	80,2 mV					
Korekcija izlaznog napona	δU_{OUT}	0 V	$5,8 \cdot 10^{-6} \text{ V}$	B	ravnomerna	$15 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{V}^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ W}$
Otpornost etalonskog otpornika	R_S	10 Ω					
Korekcija otpornost etalonskog otpornika	δR_S	0 Ω	$0,58 \cdot 10^{-3} \Omega$	B	ravnomerna	$-120 \text{ W} \cdot \Omega^{-1}$	$70 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
Ulazna aktivna snaga	P_{IN}	1200 W					
Korekcija ulazne snage	δP_{IN}		0,75 W	B	ravnomerna	-1	$750 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
Greška merenja ulazne aktivne snage	$G(P_{IN})$	3 W	Kombinovana merna nesigurnost				$760 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
			Proširena merna nesigurnost ($k=2$)				1,5 W

Merni pretvarač reaktivne snage

Kod etaloniranja mernih pretvarača reaktivne snage, šema povezivanja je identična kao u prethodnom slučaju.



Sl. 2. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača reaktivne snage

Blok šema sa Sl. 2 identična je šemi sa Sl. 1, prema kojima se vrši etaloniranje. Izvor naizmenične struje i napona povezan je na referentni (etalonski) vatmetar MSP-1, kao i na ispitivani merni pretvarač. Ako bi se umesto MSP-1 koristilo merilo reaktivne električne snage, model računanja greške bi imao istu formu kao u prethodnom slučaju. Pošto se i kod merenja reaktivne snage koristi MSP-1 zbog svojih dobrih metroloških karakteristika, model za računanje greške dobija malo drugačiju formu.

Model izračunavanja greške $G(Q_{IN})$ merenja ulazne reaktivne snage:

$$G(Q_{IN}) = K_N \frac{(U_{OUT} + \delta U_{OUT})}{(R_S + \delta R_S)} - (P_{IN} + \delta P_{IN}) \tan(\varphi + \delta\varphi) \quad (9)$$

gde je:

- K_N Nazivna vrednost faktora prenosa;
- U_{OUT} Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- δU_{OUT} Korekcija napona na izlazu pretvarača;
- R_S Otpornost etalonskog otpornika;
- δR_S Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- P_{IN} Zadana/izmerena vrednost aktivne snage na ulazu pretvarača;
- δP_{IN} Korekcija aktivne snage na ulazu pretvarača;
- φ Zadata fazna razlika između napona i struje izvora;
- $\delta\varphi$ Korekcija fazne razlike između napona i struje izvora;

Ulazna aktivna snaga P_{IN} meri se digitalnim vatmetrom MSP-1 sa granicama greške $G(P_{IN})$. Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim vatmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta P_{IN}) = \frac{G(P_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Vrednost izlaznog napona U_{OUT} meri se digitalnim voltmetrom sa granicama greške $G(U_{OUT})$. Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim voltmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

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

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

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

Ako se smatra da se fazna razlika poznaje sa granicama greške $G(\varphi)$, gde raspodela greška ima uniformu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja fazne razlike:

$$u(\delta\varphi) = \frac{G(\varphi)}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (14)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (15)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta P_{IN}} = \tan(\varphi) \quad (16)$$

$$c_4 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta \varphi} = \frac{P_{IN}}{\cos^2 \varphi} \quad (17)$$

Merna nesigurnost određivanja greške mernog pretvarača reaktivne snage je:

$$u(Q_{IN}) = \sqrt{\left(\frac{K_N}{R_S}\right)^2 u^2(\delta U_{OUT}) + \left(\frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2}\right)^2 u^2(\delta R_S) + \tan^2(\varphi) u^2(\delta P_{IN}) + \left(\frac{P_{IN}}{\cos^2(\varphi)}\right)^2 u^2(\delta \varphi)} \quad (18)$$

IV. ZAKLJUČAK

Etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage saglasno je dokumentovanom sistemu kvaliteta Laboratorije za metrologiju. Pored raznih modulacija električnih šema povezivanja za etaloniranje, merne nesigurnosti i ovako opisanih metoda ispunjavaju većinu zahteva klijenata Laboratorije, kada su u pitanju konvencionalni merni pretvarači, koji se najviše i sreću kod klijenata i ispunjavaju njihove potrebe.

ZAHVALNICA

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

LITERATURA

- [1] "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008
- [2] "International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 200:2012
- [3] 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.

- [4] "8845A/8846A Digital Multimeter Users Manual", Fluke Corporation, USA, July 2006
- [5] "ETALONIRANJE MERNIH PRETVARAČA", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

ABSTRACT

The Laboratory for metrology (FTN) deals with active and reactive electrical power transducers calibration. The power measured with transducer is compared to the input reference power, and based on results of comparison, the transducer error is determined. The paper presents the possibilities of calibration, the procedure of preparation for calibration, and documented measuring procedures. Specific calibration results are presented, accompanied by appropriate measurement uncertainties.

Procedure for Calibration of Active and Reactive Power Transducers

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