

ETALONIRANJE MERILA FAKTORA SNAGE KAO USLOV ZA IZVOĐENJE NASTAVNE VEŽBE „MERENJE AKTIVNE SNAGE I FAKTORA SNAGE“

Marina Subotin¹, Nemanja Gazivoda², Bojan Vujičić³, Marjan Urekar⁴, Stefan Mirković⁵,
Ivan Gutai⁶, Đorđe Novaković⁷, Platon Sovilj⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹marina.bulat@uns.ac.rs, ²nemanjagazivoda@uns.ac.rs, ³bojanvuj@uns.ac.rs, ⁴urekarm@uns.ac.rs,

⁵mirkovicst@uns.ac.rs, ⁶gutai@uns.ac.rs, ⁷djordjenovakovic@uns.ac.rs, ⁸platon@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U ovom radu je prikazan postupak etaloniranja merila faktora snage u cilju izvođenja nastavne vežbe "Merenje aktivne snage i faktora snage" u akreditovanoj Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu. Prikazane su najbolje mogućnosti merenja, opisana je priprema za merenje i navedena je merna oprema koja je korišćena. 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.

Ključne reči: etaloniranje, električna merenja, faktor snage, metrologija, merna oprema, merna nesigurnost

CALIBRATION OF THE INSTRUMENT MEASURING POWER FACTOR AS A PRECONDITION FOR THE LABORATORY EXERCISE "MEASURING ACTIVE POWER AND POWER FACTOR"

Abstract: The paper offers the procedure for the calibration of measuring power factor for the purpose of the laboratory exercise "Measuring Active Power and Power Factor" in the accredited laboratory for metrology at the Faculty of Technical Sciences, the University of Novi Sad. It demonstrates the optimal possibilities for measuring, describes the preparation for measuring, and lists the equipment used in the exercise. The terminology and definitions follow SRPS ISO/IEC 9000:2015, SRPS ISO/IEC 17025:2017, and the International Vocabulary of Metrology.

Key Words: calibration, electrical measurements, power factor, metrology, measuring equipment, measuring uncertainty

1. UVOD

Pri svakom merenju nastaje greška, tako da rezultat merenja ne predstavlja broj, nego interval u kom se nalazi stvarna vrednost merene veličine. Metrološki gledano, kvalitetnijem merenju, u pogledu tačnosti i preciznosti, odgovara uži interval u kojem se nalazi prava vrednost. Gledano kroz istoriju, korišćeni su različiti načini iskazivanja granica intervala. Pored poznatih koncepata, kao što su sigurne i statističke granice greške merenja, postojali su mnogi drugi načini. Zbog ovakve neusaglašenosti, često su nastajali problemi prilikom međulaboratorijskih i međudržavnih poređenja. U cilju standardizacije postupaka definisanja merne nesigurnosti, Međunarodna organizacija za standardizaciju je 1995. godine objavila dokument pod nazivom "Uputstvo za izražavanje merne nesigurnosti" (eng. *The Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*).

ISO (eng. *The International Bureau of Weights and Measures*) najveća svetska organizacija koja se bavi razvojem i izdavanjem internacionalnih standarda, predstavlja mrežu nacionalnih instituta za standardizaciju 162 zemlje, po principu jedan član iz svake države, sa Centralnim sekretarijatom u Ženevi u Švajcarskoj, koji koordinira sistemom.

Zbog ujednačavanja obrade rezultata merenja i izražavanja merne nesigurnosti, ISO je 1993. izdao GUM, zasnovano na preporukama BIPM. Sada je izdavanje i revidiranje tog Uputstva u nadležnosti JCGM.

GUM su podržali u razvoju i publikovanju BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML organizacije.

Primena merne nesigurnosti i sledivost su obavezne za akreditovane laboratorije. Organizacije koje imaju sistem upravljanja kvalitetom prema ISO 9001:2015, su obavezne da obezbede sledivost rezultata merenja, a praktično su obavezne i na korišćenje merne nesigurnosti.

Etaloniranje predstavlja skup postupaka kojima se uspostavlja odnos između vrednosti veličina koje pokazuje merilo ili merni sistem i odgovarajućih vrednosti ostvarenih etalonima pod određenim uslovima, i koji su sledivi do državnih ili međunarodnih etalona. Periodično etaloniranje mernih instrumenata je neophodno zbog usklađenosti sa međunarodnim sistemom jedinica.

Priprema za rad podrazumeva vizuelni pregled objekta etaloniranja odnosno merenja, konstataciju da li je objekt pripremljen za etaloniranje i proveru referentnih uslova etaloniranja. Vizuelnim pregledom se utvrđuje opšte stanje objekta etaloniranja odnosno merenja i konstatuju se eventualna oštećenja. Utvrđuje se i postojanje dokumentacije o objektu etaloniranja, relevantne za etaloniranje.

Laboratorija mora da ima sistem za jednoznačnu identifikaciju predmeta ispitivanja ili etaloniranja. Takođe, ona mora da se čuva sve dok je laboratorija odgovorna za predmet. Sistem mora da obezbedi da predmeti ne mogu da budu pomešani fizički ili kada se na njih poziva u zapisima ili drugim dokumentima. Sistem, ako je odgovarajuće, treba biti prilagođen podeli predmeta ili grupe predmeta i transferu predmeta.

Laboratorija mora da ima proceduru za transport, prijem, rukovanje, zaštitu, skladištenje, čuvanje i odlaganje ili vraćanje predmeta ispitivanja ili etaloniranja, uključujući sve što je neophodno za zaštitu integriteta predmeta ispitivanja ili etaloniranja, i za zaštitu interesa laboratorije i korisnika. Mere predostrožnosti moraju da se preduzimaju kako bi se izbegli kvarenje, kontaminacija, gubitak ili oštećenje predmeta za vreme rukovanja, transporta, skladištenja/čekaња i pripreme za ispitivanje ili etaloniranje. Moraju da se slede instrukcije za rukovanje dobijene sa predmetom.

Nakon prijema predmeta ispitivanja ili etaloniranja, moraju da se zapišu odstupanja u odnosu na specificirane uslove. Kada postoji sumnja u pogodnost predmeta ispitivanja ili etaloniranja, ili kada predmet nije usaglašen sa datim opisom, laboratorija mora da konsultuje korisnika za dalje instrukcije pre nego što nastavi sa radom i mora da zapiše rezultate te konsultacije. Kada korisnik zahteva da predmet bude ispitan ili etaloniran, prihvatajući odstupanja od specificiranih uslova, laboratorija mora da u izveštaj uključi izjavu o odricanju od odgovornosti, ukazujući na rezultate na koje bi moglo da utiče ovo odstupanje.

Kada je potrebno da se predmeti skladište pod specifičnim uslovima okoline, ovi uslovi moraju da se održavaju, prate i zapisuju.

Objekt etaloniranja treba da bude u laboratoriji dvanaest sati pre početka etaloniranja, kako bi se njegova temperatura izjednačila sa temperaturom okoline.

Referentni uslovi za merenje su:

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

Referentni uslovi se održavaju neprekidno, a provera podrazumeva ispunjenje navedenih zahteva neposredno pre merenja. Oprema koja je neophodna za zadavanje odnosno merenje faktora snage je navedena u Tabeli 1.

Tabela 1. Spisak merne opreme za etaloniranje merila faktora snage

Oznaka	Naziv	Tip
DMM	Digitalni multimetar	HP 3458A
KonvS	Konvertor snage	MSB
Izvor	Kalibrator faznog ugla	-

Svaki zahtev za izveštaje (ispitivanje, etaloniranje ili uzorkovanje) mora da sadrži najmanje sledeće informacije, čime se svodi na najmanju meru svaka mogućnost za nesporazum ili zloupotrebu, osim ako laboratorija ima opravdane razloge da ne uradi tako:

- A. naslov (npr. „izveštaj o ispitivanju”, „sertifikat o etaloniranju” ili „izveštaj o uzorkovanju”);
- B. naziv i adresu laboratorije;
- C. lokaciju izvođenja laboratorijskih aktivnosti, uključujući i one situacije kada se laboratorijska aktivnost izvodi u objektima korisnika ili na lokacijama udaljenim od stalnih objekata laboratorije, ili u povezanim privremenim ili pokretnim objektima;
- D. jedinstvenu identifikaciju da se svi njegovi delovi prepoznaju kao sastavni deo kompletnog izveštaja i jasnu identifikaciju kraja izveštaja;
- E. naziv i informacije za kontakt sa korisnikom;
- F. identifikaciju korišćene metode;
- G. opis, jednoznačnu identifikaciju i, kada je neophodno, stanje predmeta;
- H. datum prijema predmeta ispitivanja ili etaloniranja i datum uzorkovanja, gde je to kritično za validnost i primenu rezultata;

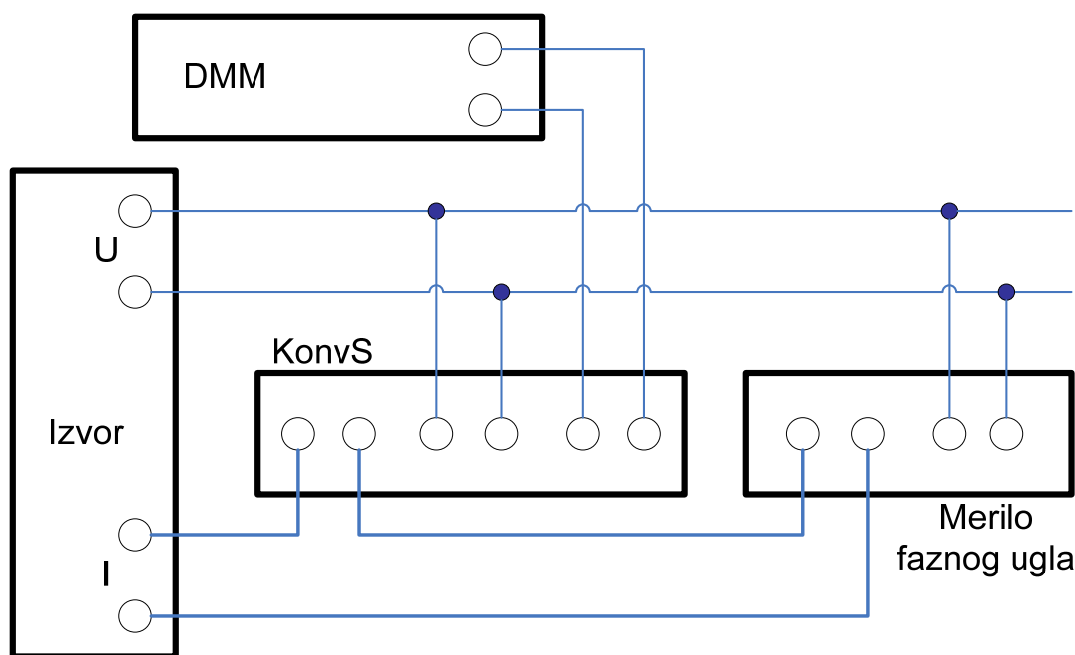
- I. datum(e) obavljanja laboratorijske aktivnosti;
- J. datum izdavanja izveštaja;
- K. pozivanje na plan uzorkovanja i metodu uzorkovanja koju laboratorija ili druga tela koriste, ukoliko su oni relevantni za validnost ili primenu rezultata;
- L. izjavu o tome da se rezultati odnose samo na predmete koji su ispitivani, etalonirani, ili uzorkovani;
- M. rezultate sa mernim jedinicama, tamo gde je odgovarajuće;
- N. dodatke, odstupanja ili izostavljanja u odnosu na metodu;
- O. identifikaciju osoba koje odobravaju izveštaj;
- P. jasnu identifikaciju kada su rezultati dobijeni od eksternih isporučilaca.

Merna nesigurnost predstavlja parametar koji karakteriše disperziju vrednosti količine koje se pripisuju merenoj veličini, na osnovu korišćenih informacija. Izvor informacija o mernoj nesigurnosti su uverenja o etaloniranju merila, laboratorijske opreme, instrumentacije i druga uverenja, zatim podaci iz prethodnih merenja, specifikacija proizvođača, nesigurnost propisana referentnim podacima preuzetim iz literature, podaci iz validacije metoda i kontrole.

Uverenje o etaloniranju određenog merila je jedino sredstvo koje pruža dokaz sledivosti merenja kada se ovo merilo koristi.

2. POSTUPAK MERENJA

Pokazivanje merila koje se etalonira poredi se sa vrednošću merene veličine zadatom kalibratorom. Šema etaloniranja je data na Slici 1.



Slika 1. Etaloniranje merila faktora snage

Željeni napon U , struja I , frekvencija f i fazni ugao θ_z između napona i struje zadaju se sa tastature dvokanalnog izvora. Pri svakoj promeni napona, struje ili frekvencije vrši se kalibracija sistema odnosno određuje se korekcija K_{θ_z} koju treba dodati zadatom faznom uglu θ_z sa ciljem da se dobije korigovana zadata vrednost.

Kalibracija sistema se vrši zadavanjem faznog ugla θ_0 pri kome konvertor snage KonvS (kome DMM služi kao displej) pokazuje nultu vrednost. Na taj način je u sistemu postignuto da je prava vrednost faznog ugla jednaka $\pi / 2$ (Sličan postupak može da se sprovede i tražeći uslove za fazni ugao od). Korekcija K_{θ_z} se u tom slučaju izračunava pomoću izraza:

$$K_{\theta_z} = \pi / 2 - \theta_0$$

3. ETALONIRANJE MERILA FAKTORA SNAGE

Model izračunavanja greške merila faktora snage E_x je predstavljen preko izraza:

$$E_x = (pf_x + \delta(pf_x)) - \cos(\theta_z + K_{\theta z})$$

gde je:

pf_x - Rezultat merenja faznog ugla merilom koje se etalonira;

$\delta(pf_x)$ - Greška očitavanja na etaloniranom merilu, nastala zbog konačne rezolucije očitavanja;

Izrazi za koeficijente osetljivosti:

$$c_{\delta pf_x} = \frac{\partial E_x}{\partial pf_x} = 1$$

$$c_{\theta z} = \frac{\partial E_x}{\partial \theta_z} \approx \sin(\theta_z)$$

$$c_{K_{\theta z}} = \frac{\partial E_x}{\partial K_{\theta z}} \approx \sin(\theta_z)$$

Izraz za nesigurnost merenja faze φ :

$$u_{Ex} = \sqrt{(c_{\delta pf_x} \cdot u_{\delta pf_x})^2 + (c_{\theta z} \cdot u_{\theta z})^2 + (c_{K_{\theta z}} \cdot u_{K_{\theta z}})^2}$$

4. ZAKLJUČAK

Laboratorija predstavlja telo koje obavlja jednu ili više od sledećih aktivnosti: ispitivanje, etaloniranje, uzorkovanje, povezano sa ispitivanjem ili etaloniranjem koje sledi nakon toga. Mernu opremu je potrebno etalonirati kada tačnost merenja ili merna nesigurnost utiču na validnost rezultata o kojima se izveštava, i/ili kada se zahteva etaloniranje da bi se uspostavila metrološka sledljivost rezultata o kojima se izveštava. Proces etaloniranja je u upotrebi u industriji, laboratorijama, ocenjivanju usaglašenosti tela i preduzećima, sa ciljem ispunjenja zahteva standarda i drugih regulatornih i pravnih zahteva. Pravilnim etaloniranjem mernog uređaja je moguće povećati produktivnost, optimizaciju izvora, obezbeđenje kvaliteta, primenljivost i kompatibilnost proizvoda. Kvalitet proizvoda i usluga zavisi od tačnosti i pouzdanosti merenja, provere i kontrole. Postupak etaloniranja praćen je i procenom merne nesigurnosti određivanja pripisane vrednosti ili korekcije, pa se u ovom postupku obuhvataju sve relevantne komponente merne nesigurnosti koje se najčešće prikazuju preko budžeta mernih nesigurnosti. Uverenje o etaloniranju određenog merila je jedino sredstvo koje pruža dokaz sledivosti merenja. U nastavnoj vežbi iz predmeta Električna merenja "Merenje aktivne snage i faktora snage" koristi se merilo faktora snage. Da bi funkcionisanje ovog mernog instrumenata uvek bilo usklađeno sa međunarodnim sistemom jedinica, potrebno je da on bude periodično etaloniran. U ovom radu je predstavljen postupak etaloniranja merila faktora snage u akreditovanoj Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka.

5. LITERATURA

- [1] ZUPUNSKI, I. Z.; HOLICEK, L. M.; VUJICIC, V. V. *Power-factor calibrator*. IEEE transactions on instrumentation and measurement, 1997, 46.2: 408-411.
- [2] ZUPUNSKI, Ivan; MILJANIC, Petar N. *AC power calibrator with a precision digital wattmeter in the feedback loop*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1987, 2: 354-356.
- [3] HESS, Donald T.; CLARKE, Kenneth K. *Circuit techniques for use in a digital phase-angle generator*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1987, 2: 394-399.
- [4] TURGEL, Raymond S.; OLDHAM, N. Michael. *High-precision audio-frequency phase calibration standard*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1978, 27.4: 460-464.
- [5] CLARKE, Kenneth K.; HESS, Donald T. *Phase measurement, traceability, and verification theory and practice*. In: 6th IEEE Conference Record., Instrumentation and Measurement Technology Conference. IEEE, 1989. p. 214-218.