

ETALONIRANJE OTPORNIKA KAO USLOV ZA IZVOĐENJE NASTAVNE VEŽBE "UTICAJ SISTEMATSKE GREŠKE NA REZULTAT MERENJA"

Jelena Đorđević Kozarov¹, Marjan Urekar², Bojan Vujičić³, Nemanja Gazivoda⁴,
Marina Subotin⁵, Stefan Mirković⁶, Đorđe Novaković⁷

¹Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

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

¹kozarov@elfak.ni.ac.rs, ²urekarm@uns.ac.rs, ³bojanvuj@uns.ac.rs, ⁴nemanjagazivoda@uns.ac.rs,

⁵marina.bulat@uns.ac.rs, ⁶mirkovicst@gmail.com, ⁷djordjenovakovic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U nastavnoj vežbi "Uticaj sistematske greške na rezultat merenja", iz predmeta Električna merenja, zadatak je da se izmeri otpornost priloženog otpornika i analizira uticaj sistematske greške. U cilju korektno realizacije nastavne vežbe i dobijanja rezultata usklađenih sa međunarodnim sistemom jedinica, potrebno je da korišćeni otpornici budu periodično etalonirani u akreditovanoj laboratoriji za metrologiju.

U ovom radu je predstavljen postupak etaloniranja otpornika u akreditovanoj Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, primenom U/I metode. 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. Dat je tabelarni prikaz primera analize merne nesigurnosti etaloniranja otpornika, nominalne vrednosti 10 mΩ, U/I metodom. Svi termini i definicije su u skladu sa SRPS ISO 9001:2015, IEC 17025:2017 i Međunarodnim rečnikom osnovnih i opštih termina u metrologiji.

Ključne reči: Edukacija / Etaloniranje / Metrologija / Akreditacija / Otpornici / Merna nesigurnost

RESISTANCE CALIBRATION AS A REQUIREMENT FOR PERFORMANCE OF THE TEACHING EXERCISE "THE INFLUENCE OF THE SYSTEMATIC ERROR IN THE RESULT OF MEASUREMENT"

Abstract: In the teaching exercise "Influence of the Systematic Error in the Measurement Result", in the Electrical Measurement course, the task is to measure the resistance of the attached resistor and to analyze the impact of the systematic error. In order to properly implement the teaching exercise and obtain results aligned with the international system of units, the used resistors should be periodically calibrated in an accredited metrology laboratory.

The paper presents an example of the procedure for the calibration of resistors in the Accredited Metrological Laboratory at the Faculty of technical sciences in Novi Sad, using the U / I method. It demonstrates the optimal ways of measuring. As well, paper offers a description of the preparation for measuring and lists the measuring equipment that has been used. It also features a description of the measuring procedure that need to be applied, and it shows the processing of the measurement results. The table given in the paper shows an example of the measurement uncertainty analysis of resistor calibration, with a nominal value of 10 mΩ, by the U / I method. All the terms and definitions meet the requirements of SRPS ISO 9001:2015, SRPS ISO/IEC 17025:2017 and follow International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.

Keywords: Education / Calibration / Metrology / Accreditation / Resistors / Measurement Uncertainty

1. UVOD

Po načinu nastanka, greške se mogu podeliti na sistematske, slučajne i grube. Grube greške nastaju usled lošeg povezivanja, neispravne instrumentacije, pogrešne metode ili pogrešnog očitavanja. Rezultat koji sadrži grubu grešku se veoma lako prepoznaje, jer je neočekivan i nelogičan, i odbacuje.

Slučajne greške se uočavaju kod višestrukih merenja. Naime, kada se merenje izvodi više puta, pod istim referentnim uslovima, dobijaju se približno isti rezultati – nekada veći, nekada manji od prave vrednosti merene veličine. Razlika koja postoji među njima je posledica niza faktora koji utiču na merenje. Usrednjavanjem dobijenih rezultata merenja postiže se smanjenje uticaja slučajnih grešaka.

Sistematske greške utiču na rezultat merenja uvek na isti način. Ukoliko je mehanizam nastanka sistematske greške poznat, moguće je izvršiti korekciju rezultata i na taj način otkloniti uticaj sistematske greške.

Iz predmeta *Električna merenja*, u nastavnoj vežbi „Uticaj sistematske greške na rezultat merenja“ zadatak je da se izmeri otpornost priloženog otpornika U/I metodom. Nakon dobijenih rezultata potrebno je analizirati uticaj sistematske greške, koja nastaje zbog konačnih unutrašnjih otpornosti upotrebljenih instrumenata. U cilju korektne realizacije ove nastavne vežbe i dobijanja rezultata usklađenih sa međunarodnim sistemom jedinica, potrebno je da korišćeni otpornici budu periodično etalonirani u akreditovanoj laboratoriji za metrologiju.

U ovom radu prikazan je način etaloniranja otpornosti U/I metodom u akreditovanoj Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu (u daljem tekstu: Laboratorija).

U Tabeli 1. prikazane su merne mogućnosti etaloniranja otpornika raspoloživom opremom Laboratorije. Merna nesigurnost iskazana u ovom radu 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 1 - Najbolje mogućnosti merenja

Veličina	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost
Otpornost	Otpornik, šant	100 $\mu\Omega$ do 1 m Ω	do 1,0 $\mu\Omega$
Otpornost	Otpornik, šant	1 m Ω do 10 m Ω	do 2,3 $\mu\Omega$
Otpornost	Otpornik, šant	10 m Ω do 100 m Ω	do 23 $\mu\Omega$
Otpornost	Otpornik, šant	100 m Ω do 1 Ω	do 230 $\mu\Omega$
Otpornost	Otpornik, šant	1 Ω do 10 Ω	do 350 $\mu\Omega$
Otpornost	Otpornik	10 Ω do 100 Ω	do 3,5 m Ω
Otpornost	Otpornik	100 Ω do 1 k Ω	do 19 m Ω
Otpornost	Otpornik	1 k Ω do 10 k Ω	do 190 m Ω
Otpornost	Otpornik	10 k Ω do 100 k Ω	do 1,9 Ω
Otpornost	Otpornik	100 k Ω do 1 M Ω	do 28 Ω
Otpornost	Otpornik	1 M Ω do 10 M Ω	do 980 Ω
Otpornost	Otpornik	10 M Ω do 100 M Ω	do 120 k Ω
Otpornost	Otpornik	100 M Ω do 1 G Ω	do 12 M Ω
Otpornost	Otpornik	1 G Ω do 10 G Ω	do 600 M Ω
Otpornost	Otpornik	10 G Ω do 100 G Ω	do 6 G Ω
Otpornost	Otpornik	100 G Ω do 1 T Ω	do 60 G Ω

2. PRIPREMA ZA RAD

Priprema za ispitivanja otpornika podrazumeva vizuelni pregled objekta ispitivanja, konstataciju da je objekat pripremljen za ispitivanje i proveru referentnih uslova ispitivanja. Potrebno je, radi aklimatizacije, da objekat ispitivanja bude u Laboratoriji najmanje dvanaest sati pre početka ispitivanja. Vizuelnim pregledom utvrđuje se opšte stanje objekta ispitivanja: konstatuju se eventualna oštećenja i postojanje identifikacionih oznaka. Utvrđuje se, takođe, i postojanje dokumentacije relevantne za ispitivanje.

Referentni uslovi za merenje u Laboratoriji su:

1. Temperatura okoline: (23 ± 2) °C;
2. Relativna vlažnost vazduha: (45 ± 15) %.

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

3. MERNA OPREMA

Oprema koja je se koristi za etaloniranje otpornika metodom U/I u Laboratoriji navedena je u Tabeli 2.

Tabela 2. Spisak merne opreme za etaloniranje otpornika U/I metodom

Naziv	Tip
Digitalni multimetar	HP 3458 A
Kalibrator	5025

4. POSTUPAK MERENJA

4.1 Metod merenja

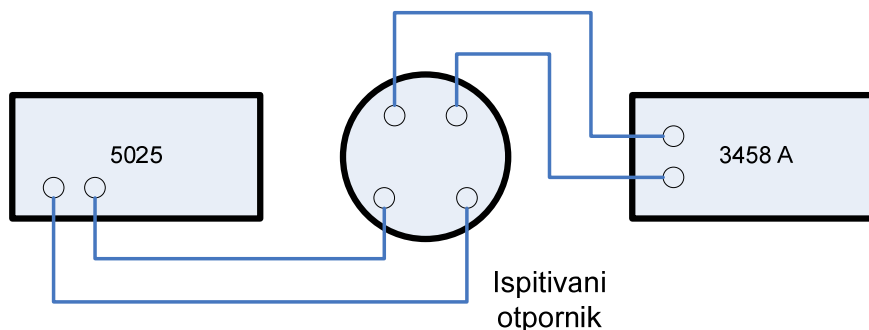
U Laboratoriji se etaloniranje otpornika vrši:

- poređenjem njegove otpornosti sa otpornošću etalona otpornosti, ili
- direktnim merenjem otpornosti etalonskim instrumentom za merenje otpornosti, ili
- merenjem etalonskim instrumentima struje kroz otpornik, odnosno napona na otporniku (U/I metoda).

Otpornik se etalonira poštujući referentne uslove specifične za dati otpornik.

4.2 Merenje otpornosti U/I metodom

Za etaloniranje otpornika čije se vrednosti otpornosti nalaze u intervalu za koji nije pogodno direktno merenje, primenjuje se U/I metoda. Ovakav postupak je primenljiv, bilo da se otpornik vezuje dvožično ili četvorožično. Tipična šema merenja je data je na slici 1.



Slika 1. Etaloniranje otpornika U/I metodom

Otpornost ispitivanog otpornika meri se indirektno tako što se etalonskim instrumentom (5025) zadaje vrednost napona/struje, pa se etalonskim digitalnim multimetrom (3458 A) meri struja kroz ispitivani otpornik, odnosno napon na ispitivanom otporniku. Nakon toga, jednostavnom primenom Omovog zakona izračunava se otpornost otpornika koji se etalonira.

Merena vrednost sadrži sistematsku grešku zbog postojanja konačne otpornosti etalonskog multimetra. Razlika nominalne i izmerene vrednosti nosi informaciju o greški, koja se iskazuje u uverenju o etaloniranju.

Model izračunavanja greške $G(R)$ dat je izrazom

$$G(R) = R_n - \frac{U + k_U}{I + k_i} \quad (1)$$

gde su:

$G(R)$ - greška merenja otpornosti,

R_n - nominalna vrednost otpornosti otpornika koji se etalonira,

U - napon izmeren etalonskim voltmetrom,
 k_U - korekcija rezultata merenja napona,
 I - struja zadana/izmerena etalonskim instrumentom,
 k_I - korekcija rezultata zadavanja/merenja struje.

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja izračunava se kao

$$u(R) = \sqrt{\left(\frac{1}{I} u(k_U)\right)^2 + \left(\frac{U}{I^2} u(k_I)\right)^2} \quad (2)$$

5. PRIMER REZULTATA MERENJA

Primer analize merne nesigurnosti etaloniranja otpornika, nominalne vrednosti 10 mΩ, U/I metodom prikazan je u Tabeli 3.

Tabela 3. Analiza merne nesigurnosti rezultata etaloniranja otpornika od 100 mΩ, primenom U/I metode.

Naziv veličine	Simbol	Vrednost	Parcijalna nesigurnost	Tip nesigurnosti	Raspodela	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
Nominalna otpornost otpornika	R_n	100 mΩ	-				
Rezultat merenja napona	U	100,0025 mV					
Korekcija vrednost merenja napona	k_U	0	1,0 μV	B	pravo-ugaona	1 A ⁻¹	1,0 μΩ
Rezultat merenja struje	I	1 A					
Korekcija vrednost merenja struje	k_I	0	150 μA	B	pravo-ugaona	0,1 $\frac{V}{A^2}$	15 μΩ
Greška merenja napona	$G(R)$	-2,5 μΩ					15 μΩ

Proširena merna nesigurnost, za faktor obuhvata $k = 2$, iznosi 30 μΩ.

6. LITERATURA

- [1] Q3.LM.07, v2, „Etaloniranje otpornika“, Radno uputstvo, Laboratorija za metrologiju.
- [2] Marjan Urekar, Dragan Pejić, *Uputstvo za laboratorijske vežbe iz predmeta Električna merenja, Merenja u elektronici, Električna i elektronska merenja u industriji*, Praktikum, FTN, Novi Sad, 2019.