

**ETALONIRANJE JEDNOSMERNIH MERNIH MOSTOVA KAO USLOV
ZA IZVOĐENJE NASTAVNE VEŽBE "JEDNOSMERNI VITSTONOV
MOST"****Nemanja Gazivoda¹, Ivan Gutai², Bojan Vujičić³, Dragan Pejić⁴, Marjan Urekar⁵,
Platon Sovilj⁶, Marina Subotin⁷, Stefan Mirković⁸, Đorđe Novaković⁹**^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija¹nemanjagazivoda@uns.ac.rs, ²gutai@uns.ac.rs, ³bojanvuj@uns.ac.rs, ⁴pejicdra@uns.ac.rs, ⁵urekarm@uns.ac.rs,
⁶platon@uns.ac.rs, ⁷marina.bulat@uns.ac.rs, ⁸mirkovicst@uns.ac.rs, ⁹djordjenovakovic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U nastavnoj vežbi "Jednosmerni Vitstonov most", iz predmeta električna merenja, obrađeni su teorijski i praktični aspekti upotrebe mostne merne metode, uz upotrebu osnovnog mernog mosta - Vitstonovog jednosmernog mosta. Kako bi se ostvarilo poverenje u rezultate merenja dobijene mernim mostom koji se koristi u nastavnoj vežbi predviđeno je njegovo periodično etaloniranje u Laboratoriji za metrologiju - akreditovanoj metrološkoj laboratoriji. Na ovaj način je ostvarena sledivost dobijenih rezultata merenja do nacionalnih i međunarodnih referentnih etalona. U ovom radu je predstavljen postupak etaloniranja jednosmernih mernih mostova u Laboratoriji za metrologiju i obrazložen je njegov uticaj na proces izvođenja nastavne vežbe "Jednosmerni Vitstonov most".

Ključne reči: Edukacija / Etaloniranje / Metrologija / Akreditacija / Merni mostovi / Vitstonov most

**CALIBRATION OF DC MEASURING BRIDGES AS A PREREQUISITE FOR
PERFORMING TEACHING PRACTICE TITLED „DC WHEATSTONE BRIDGE“**

Abstract: In teaching exercise "DC Wheatstone Bridge", used in course Electrical Measurement, theoretical and practical aspects of the use of the bridge measuring method are explored, using the basic measuring bridge - the Wheatstone DC bridge. In order to gain confidence in the measurement results obtained by the measuring bridge used in the teaching exercise, its periodic calibration is envisioned in the Laboratory for Metrology - an accredited metrology laboratory. In this way, the traceability of the obtained measurement results was achieved up to national and international reference standards. This paper presents the procedure for calibration of DC measuring bridges in the Laboratory for Metrology and explains its impact on the process of performing the teaching exercise "DC Wheatstone Bridge".

Key Words: Education / Calibration / Metrology / Accreditation / Measuring Bridges / Wheatstone Bridge

1. UVOD

Etaloniranje predstavlja skup postupaka kojima se, pod tačno određenim uslovima, uspostavlja odnos između vrednosti veličina koje pokazuje merilo ili merni sistem, ili vrednosti koje prikazuje neka materijalna mera ili neki referentni materijal i odgovarajućih vrednosti ostvarenih etalonima koji su sledivi do državnih ili međunarodnih etalona [1].

Etaloniranje uz izdavanje Uverenja o etaloniranju mogu vršiti isključivo metrološke laboratorije akreditovane po standardu ISO/IEC 17025, u kojem su dati zahtevi za kompetentnost pri etaloniranju.

Periodično etaloniranje mernih instrumenata je važno kako bi se utvrdila greška merenja i održalo poverenje u pouzdanost rezultata dobijenih merenjem.

Svi instrumenti greše, samo je bitno kvantifikovati koliko je odstupanje njihovog pokazivanja u odnosu na etalonsku vrednost (greška merenja) i kolika je vrednost procenjene merne nesigurnosti tog postupka [2].

Pri izvođenju nastavnih vežbi iz predmeta električna merenja koristi se veliki broj različitih mernih instrumenata. Redovnom upotrebom uz uticaj spoljašnjih faktora (temperature i vlage) tačnost pokazivanja instrumenata se smanjuje, pa se samim tim smanjuje i pouzdanost rezultata merenja.

Primenom sistema za obezbeđenje kvaliteta na Fakultetu tehničkih nauka (prema standardu ISO 9001) sprovodi se periodično etaloniranje svih mernih uređaja.

2. ISTORIJSKI PREGLED RAZVOJA VITSTONOVOG MOSTA

Naučnik i matematičar Semjuel Hanter Kristi (Samuel Hunter Christie) je razvio električno kolo mosta za merenje otpornosti i prvi put ga opisao 1833. godine. Most se zasnivao na specifičnom rasporedu četiri otpornika u obliku dijamanta. Kolo se napajalo baterijskim izvorom jednosmernog napona. Kako su se u jednoj grani nalazila dva otpornika poznatih vrednosti otpornosti a u drugoj grani jedan otpornik poznate vrednosti otpornosti i drugi čiju vrednost otpornosti je trebalo utvrditi, Kristi je korišćenjem galvanometra ujednačavao struje u dvema granama mosta i jednostavnim proračunom je određivao vrednost nepoznatog otpornika.

Drugi Britanski naučnik, Čarls Vitston (Charles Wheatstone), je bio upoznat sa Kristijevim opisom instrumenta, koji je on nazvao "diferencijalnim merilom otpornosti". Kao istaknuti član Londonskog kraljevskog društva Vitston je odavajući priznanje Kristijevom pronalasku na jednom od svojih predavanja 1843. godine doprineo tome da se pročuje glas o ovom pronalasku. Međutim iako je Vitston odao priznanje Kristiju, vremenom je ovaj pronalazak prepoznat kao "Vitstonov most".

Osim približavanja pronalaska javnosti, Vitston je unapredio dizajn mosta (razvio je reostat - promenljivi otpornik) i pronašao nekoliko novih primena.

Daljem razvoju su doprineli naučnici Vilijam Tomson (William Thomson - Lord Kelvin) i Džejms Maksvel (James Clerk Maxwell) [3].

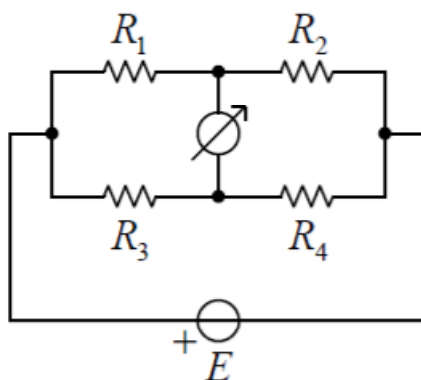
3. PREGLED METODE ETALONIRANJA JEDNOSMERNIH MERNIH MOSTOVA

Merni mostovi su električna kola koja omogućuju neposredno poređenje poznatih i nepoznatih veličina. Pri tome se koristi indikator nule koji se dovodi na nulu ručnim ili automatskim podešavanjem poznatih veličina. Merne metode koje koriste merne mostove se nazivaju mostne metode.

Merni mostovi, iako davno razvijeni, predstavljaju pouzdane merne metode. I danas se često koriste kada postoji potreba za postizanjem vrhunskih merenja nepoznatih otpornosti (impedansi).

Merni mostovi su zasnovani na principu izjednačavanja (balansiranja) otpornosti. Kada se most dovede u ravnotežu, tada je razlika potencijala između određenih tačaka u kolu jednaka nuli.

Ravnoteža se detektuje mernim instrumentom, a tada postoji sistem bazičnih jednačina, koje daju odnos između otpornosti u kolu. Ukoliko jedna od tih otpornosti nije poznata, lako se određuje iz pomenutog sistema jednačina [4].



Slika 1. Vitstonov most

Uslov ravnoteže Vitstonovog mosta se definiše izrazom:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (1)$$

Određivanje nepoznate otpornosti je definisano izrazom:

$$R_x = R_4 = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

Do ovog izraza za određivanje nepoznate otpornosti je došlo na osnovu :

Prvog Kirhofovog zakona, kako bi se odredili izrazi za struje u dva čvora mosta:

$$\begin{aligned} I_3 - I_x + I_g &= 0 \\ I_1 - I_2 - I_g &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

gde je I_g struja indikatora nule (ampermetra).

Drugog Kirhofovog zakona, kako bi se odredili naponi u dvema granama mosta:

$$\begin{aligned} (I_3 \cdot R_3) - (I_g \cdot R_g) - (I_1 \cdot R_1) &= 0 \\ (I_x \cdot R_x) - (I_2 \cdot R_2) + (I_g \cdot R_g) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Kada je most u ravnoteži $I_g = 0$, pa izraz 4 postaje:

$$\begin{aligned} I_3 \cdot R_3 &= I_1 \cdot R_1 \\ I_x \cdot R_x &= I_2 \cdot R_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Odavde je izraz za nepoznatu otpornost:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot R_3}{R_1 \cdot I_1 \cdot I_x} \quad (6)$$

Iz Prvog Kirhofovog zakona sledi da su $I_3 = I_x$ i $I_1 = I_2$, pa izraz 6 postaje:

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (7)$$

Osetljivost Vitstonovog mosta je opisana izrazom:

$$S = E \cdot \frac{R_2/R_1}{(1 + R_2/R_1)^2} \quad (8)$$

Najbolje mogućnosti merenja pri etaloniranju jednosmernih mostova su date u tabeli 1.

Tabela 1 Najbolje mogućnosti merenja

Veličina	Predmet merenja	Opseg	Merna nesigurnost ²⁷
Otpornost	Jednosmerni merni mostovi	od 100 $\mu\Omega$ do 10 m Ω	od 150 ppm do 100 ppm
		od 10 m Ω do 10 k Ω	50 ppm
		od 10 k Ω do 10 M Ω	100 ppm

Jednosmerni merni most se etalonira tako što se na njegove odgovarajuće ulazne krajeve (dvožično ili četvorožično) priključuju etalon otpornici i njihove vrednosti se porede sa rezultatima merenja etaloniranim mostom. Razlike etalonskih i izmerenih vrednosti nose informacije o greškama koje se iskazuju u uverenju o etaloniranju [5].

Matematički model rezultata merenja R_x je dat izrazom:

$$g = (R_m + \delta R_m) - (R_s + k_{R_s} + k_e) \quad (9)$$

gde su:

R_m - rezultat merenja otpornosti etaloniranim mostom,
 δR_m - korekcija rezultata merenja zbog ograničene rezolucije,
 R_s - otpornost etalon otpornika,
 k_{R_s} - korekcija zbog greške etalon otpornika,
 k_e - korekcija zbog parazitnih elektromotornih sila tokom merenja i
 g - greška merenja etaloniranog mosta.

U nastavku je dat primer priloga uz uverenje o etaloniranju Vitstonovog mosta.

Tabela 2 Prilog uz uverenje o etaloniranju jednosmernog Vitstonovog mosta

Etalon		Pokazivanje DUT	Obrada rezultata	
Pokazivanje etalona	Radna struja	Očitavanje	Greška DUT	*Nesigurnost
mΩ	A	mΩ	mΩ	μΩ
0.1	10	0.090	-0.010	1.3
1	10	0.980	-0.020	1.3
10	5	9.99	-0.01	2.6
100	2	100.3	0.3	23
1000	0.5	1021	21	230

4. ZAKLJUČAK

U okviru nastavne vežbe "Jednosmerni Vitstonov most" studentima su predstavljene osnovne konfiguracije uravnoteženog i neuravnoteženog Vitstonovog mosta sa ciljem merenja nepoznate otpornosti.

Praktičnom realizacijom električne šeme studenti vrše višestruka merenja u cilju određivanja nepoznate otpornosti i daljeg proračuna sigurnih granica greške merenja.

Validnost rezultata merenja, pa samim tim i krajnjih rezultata proračuna zavise direktno od periodičnog etaloniranja merila koja se koriste u nastavnoj vežbi.

5. LITERATURA

- [1] Preben Horwath, Fiona Redgrave, "Metrologija-ukratko" treće izdanje (prevod na srpski), EURAMET e.V., ISBN 978-87-988154-5-7, 2008.
- [2] "METROLOŠKI VODIČ, Uverenja o etaloniranju: analiza, tumačenje i upotreba", Direkcija za mere i dragocene metale.
- [3] Jesse Russell, Ronald Cohn, "Wheatstone Bridge", ISBN: 5511083526, 2012.
- [4] Marjan Urekar, Dragan Pejić, "Uputstvo za laboratorijske vežbe iz predmeta Električna merenja".
- [5] Radno uputstvo Q3.LM27 "Etaloniranje jednosmernih mernih mostova".