

Etaloniranje milivoltnog opsega AC kalibratora JF 5200A

1. Nikola Jović
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
nikolajovic26@gmail.com
0009-0001-2641-7600

2. Slobodan Subotić
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
slobodansubotic80@gmail.com
0009-0008-3389-2451

Abstract—U ovom radu su opisane metode merenja milivoltnih opsega AC napona kalibratora u metrološkoj laboratoriji za osnovne električne veličine u Tehničkom opitnom centru. Dat je spisak opreme koja se koristi, kao i dobijeni rezultati merenja.

Ključne reči—etaloniranje, AC napon, odnos deljenja

I. UVOD

U savremenim metrološkim laboratorijama potreba za preciznim i stabilnim izvorima signala postaje sve izraženija, posebno kada je reč o malim iznosima naizmeničnog napona. Kalibratori, kao ključni izvori referentnih vrednosti, moraju obezbediti tačne napone čak i u opsegu od svega nekoliko milivolti. Etaloniranje takvih uređaja predstavlja izazovan zadatak, jer se pri niskim naponima pojavljuju brojni neželjeni efekti.

Zbog toga se u praksi često koriste specifične metode koje omogućavaju precizno etaloniranje kalibratora u opsegu 1 mV do 1 V. Jedan od najpouzdanijih pristupa zasniva se na korišćenju naponskih delitelja i metoda naponskog odnosa. Ove metode omogućuju dobijanje manjih napona iz većih, koji se potom upoređuju i prilagođavaju putem preciznog pojačavača i voltmetra.

U metrološkoj laboratoriji za osnovne električne veličine Tehničkog opitnog centra se javila potreba za primenu ove metode zbog posedovanja AC kalibratora JF 5200A koji ima mogućnost generisanja malih AC napona sa velikom tačnošću. U ovom radu je opisana primena te metode, sa naglaskom na uslove merenja, podešavanje mernog lanca, analizu faktora koji mogu uticati na tačnost rezultata i opisom opreme koja je korišćena. Vremenom su nabavljena dva savremenija uređaja univerzalni kalibrator JF 5730A i digitalni multimetar Agilent 3458A. Ovi instrumenti omogućili su dodatna poboljšanja u tačnosti i pouzdanosti merenja. U okviru ovog rada biće prikazano poređenje rezultata dobijenih primenom sve tri metode, kako bi se analizirale razlike u tačnosti i performansama kroz različite pristupe etaloniranju malih AC napona. Cilj je prikazati postupak kojim se obezbeđuje poverenje u izlazne vrednosti kalibratora u domenu niskih AC napona.

II. MERNJA OPREMA

Za realizaciju metoda etaloniranja milivoltnih opsega AC napona korišćena je sledeća oprema:

- AC kalibrator JF 5200A – predmet etaloniranja. Ovaj kalibrator omogućava generisanje AC napona u rasponu od 1 mV do 1000 V sa frekvencijama od 10 Hz do 1 MHz. Posebno se koristi za precizno definisanje napona u opsegu od 1 mV do 1 V, što ga čini pogodnim za proveru i kalibraciju visokoosetljivih mernih sistema. (Sl. 1)



Sl. 1 AC kalibrator JF 5200A

- Naponski delitelj ESI DT 72A – korišćen za precizno umanjenje višeg AC napona na ciljani nivo. Ovaj delitelj se odlikuje visokim odnosom stabilnosti i niskim uticajem faznih pomeraja u radnom frekventijskom opsegu. (Sl. 2)



Sl. 2 AC delitelj ESI DT 72A

- AC voltmetar HP 400F – korišćen kao niskošumni pojačavač u mernom lancu. U ovom kontekstu voltmetar je poslužio za pojačavanje izlaznog napona iz naponskog delitelja i AC kalibratora, kako bi se omogućila stabilna i pouzdana merenja malih napona na nivou milivolta. (Sl. 3). Iako je HP 400F konstruisan prvenstveno kao AC voltmetar, njegova unutrašnja struktura omogućava efikasnu primenu i u ulozi pojačavača. Ova mogućnost proizilazi iz činjenice da uređaj sadrži niz niskobučnih linearnih pojačavačkih stepeni, koji prethode logaritamskom konvertoru i mernoj skali. HP 400F je korišćen tako da se preuzme njegov pojačani izlazni signal i to pre logaritamske obrade, čime je omogućeno

direktno sprovođenje signala ka diferencijalnom voltmetru JF 931B. Na taj način voltmetar funkcioniše kao analogni pojačavač, koji pojačava vrlo nizak napon na nivo koji je pogodan za dalju obradu i poređenje.



Sl. 3 AC voltmetar HP 400F

- Diferencijalni voltmetar JF 931B – korišćen za precizno merenje razlike između referentnog i mernog napona. Zahvaljujući visokoj rezoluciji i stabilnosti, omogućio je tačno određivanje trenutka kada je napon sa kalibratora usklađen sa izlazom iz delitelja. (Sl. 4)



Sl. 4 Diferencijalni voltmetar JF 931B

- Univerzalni kalibrator JF 5730A – savremeni kalibrator visoke preciznosti, korišćen kao referentni izvor za poređenje. Njegov AC napon od 1 V koristi se kao stabilna i poznata referenca koja se, pomoću naponskog delitelja, upoređuje sa naponom generisanim iz JF 5200A. (Sl. 5)



Sl. 5 Univerzalni kalibrator JF 5730A

- Digitalni multimeter Agilent 3458A – koristi se kod metode direktnog poređenja, gde napon koji generiše JF 5200A u rasponu od 1 mV do 100 mV direktno meri. Zbog svoje visoke tačnosti i stabilnosti pri merenju malih AC napona, omogućava pouzdano poređenje bez potrebe za dodatnim deljenjem ili pojačanjem signala. (Sl. 6)



Sl. 6 Digitalni multimeter Agilent 3458A

Kombinacijom ovih uređaja omogućena je primena metode naponskog odnosa u cilju etaloniranja AC kalibratora JF 5200A, na niskonaponskim AC opsezima. Sistem je konfigurisao stabilan merni lanac koji omogućava poređenje signala sa visokom osetljivošću i niskom nesigurnošću.

III. PRIMENA METODA

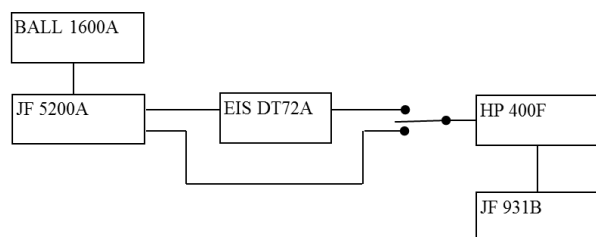
U cilju ispitivanja tačnosti AC kalibratora JF 5200A u milivoltnom opsegu, primenjene su tri različite metode etaloniranja. Svaka od njih koristi specifičan pristup generisanju i merenju referentnog signala, uz odgovarajuću konfiguraciju mernog sistema. Poređenje rezultata dobijenih različitim metodama omogućava dublju analizu tačnosti i pouzdanosti merenja.

1. Metoda sa deljenjem i pojačavanjem

Kod ove metode koristi se samo jedan izvor JF 5200A, koji generiše stabilan AC napon od 1 V. Taj napon se zatim deli pomoću AC delitelja ESI DT-72A na niže vrednosti, kao što su 100 mV, 10 mV ili 1 mV. Pojačani signal sa izlaza delitelja vodi se na diferencijalni voltmetar JF 931B, gde se upoređuje sa direktnim izlazom kalibratora, a podešavanje se vrši dok se razlika ne svede na nulu.

Da bi se obezbedila tačnost početne vrednosti od 1 V, koristi se AC/DC transfer standard Ballantine 1600A, koji omogućava verifikaciju i stabilizaciju napona pre deljenja. Na taj način, ceo merni lanac se oslanja na referentno potvrđen ulazni napon, čime se povećava pouzdanost rezultata i smanjuje nesigurnost merenja.

Ova metoda je razvijena i korišćena u Tehničkom opitnom centru još pre više godina, u vreme kada su upravo ovi uređaji bili dostupni laboratoriji. Inženjeri tog perioda osmislili su funkcionalan i efikasan sistem merenja koji je omogućavao pouzdano etaloniranje milivoltnih opsega u skladu sa tehničkim zahtevima. Bloke šema povezivanja je data na Sl. 7.



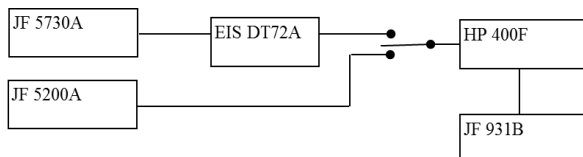
Sl. 7 Metoda sa deljenjem i pojačanjem – blok šema

2. Metoda naponskog odnosa sa referentnim kalibratorom JF 5730A

Ova metoda koristi stabilan napon od 1 V sa kalibratora JF 5730A, koji se putem AC delitelja ESI DT-72A smanjuje na niže vrednosti 100 mV, 10 mV ili 1 mV. Napon sa delitelja se pojačava pomoću AC voltmetra HP 400F i dovodi na diferencijalni voltmetar JF 931B, gde se upoređuje sa naponom

koji generiše AC kalibrator JF 5200A. Ova metoda omogućava direktno poređenje između dva kalibratora kroz preciznu kontrolu odnosa napona.

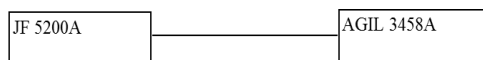
Po svojoj strukturi, ova metoda je slična prethodnoj, ali se razlikuje po tome što koristi dodatni refereni kalibrator JF 5730A umesto internog napona iz JF 5200A. Laboratorija je dobila mogućnost primene ove metode nabavkom savremenije opreme, čime je omogućeno jednostavnije izvođenje poređenja, uz smanjenje ukupne nesigurnosti. Takođe, postupak je pojednostavljen jer više nije potrebna kontrola ulaznog napona, već se koristi stabilna izlazna vrednost iz JF 5730A. Bloke šema povezivanja je data na Sl. 8.



Sl. 8 Metoda naponskog odnosa sa JF 5730A – blok šema

3. Metoda direktnog poređenja pomoću digitalnog multimetra Agilent 3458A

U ovoj metodi AC kalibrator JF 5200A direktno generiše željeni AC napon u opsegu od 1 mV do 100 mV, a merenje se obavlja pomoću preciznog multimetra Agilent 3458A. Zahvaljujući svojoj visokoj tačnosti, stabilnosti i niskom nivou šuma, ovaj instrument omogućava direktno očitavanje bez potrebe za dodatnim deljenjem ili pojačanjem signala. Metoda je jednostavna za primenu, jer ne zahteva odatnu konfiguraciju mernog lanca sa pojačavačima, deliteljima i referentnim izvorima. U našoj laboratoriji ova metoda je najzastupljenija nakon nabavke visokopreciznog multimetra. Bloke šema povezivanja je data na Sl. 9.



Sl. 9 Metoda direktnog poređenja sa AGIL 3458A – blok šema

Kod prve metode najznačajniji izvori merne nesigurnosti su specifikacija AC/DC transfer etalona Ballantine 1600A, specifikacija delitelja i rezolucija diferencijalnog voltmetra. Za razliku od prve metode kod druge se umesto specifikacije AC/DC transfer etalona Ballantina 1600A, uzima specifikacija univerzalnog kalibratora JF 5730A. Dok se kod treće metode kao glavni izvor merne nesigurnosti uzima specifikacija digitalnog multimetra Agilent 3458A. Zbog visoke preciznosti referentnog kalibratora JF 5730A kod izlaznog AC napona od 1 V, i preciznom kontrolisanju odnosa deljenja druga metoda ima najveću tačnost to jest njena merna nesigurnost je najniža.

IV. POREĐENJE REZULTATA

Rezultati etaloniranja milivoltnih opsega AC kalibratora JF 5200A dobijeni su primenom tri različite metode. Cilj poređenja je bio da se utvrdi slaganje rezultata između različitih metoda, kao i da se oceni njihov uticaj na ukupnu nesigurnost merenja. U tabeli su prikazani rezultati merenja na tri referentne tačke 100 mV, 10 mV i 1 mV, na frekvenciji od 1 kHz.

TABELA I.

POREĐENJE DOBIJENIH REZULTATA

OPSEG (mV)	100		10		1
U_{POST} (mV)	100	10	10	1	1
U_{MV1} (mV)	99,983	10,0003	9,9986	0,9935	0,9929
U_{MV2} (mV)	99,991	10,0014	10,0002	1,0035	0,9990
U_{MV3} (mV)	100,001	10,0026	10,0013	1,0009	1,0007
G_{DOZ} (mV)	0,030	0,0120	0,0120	0,0102	0,0102
N_1 (mV)	0,017	0,0017	0,0017	0,0002	0,0002
N_2 (mV)	0,009	0,0009	0,0009	0,0001	0,0001
N_3 (mV)	0,010	0,0031	0,0031	0,0015	0,0015

Gde su:

U_{POST} – postavljena vrednost AC napona

U_{MV1} – izmerena vrednost AC napona merenog metodom 1

U_{MV2} – izmerena vrednost AC napona merenog metodom 2

U_{MV3} – izmerena vrednost AC napona merenog metodom 3

G_{DOZ} – dozvoljena greška merenja prema specifikaciji

N_1 – proširena merna nesigurnost kod prve metode ($k=2$)

N_2 – proširena merna nesigurnost kod druge metode ($k=2$)

N_3 – proširena merna nesigurnost kod treće metode ($k=2$)

Analizom prikazanih rezultata uočava se da su rezultati međusobno saglasni, uz minimalne razlike. Kod tačke od 1 mV, prirodno se javlja najveće odstupanje zbog veće osetljivosti sistema na šum i smanjeni odnos signal/šum.

V. ZAKLJUČAK

Etaloniranje AC kalibratora JF 5200A u milivoltnim opsezima izvršeno je primenom tri metode: naponskog odnosa, metode sa deljenjem i pojačavanjem, te direktnog poređenja pomoću digitalnog multimetra. Poređenjem rezultata dobijenih na naponskim tačkama od 100 mV, 10 mV i 1 mV uočeno je da sve tri metode daju međusobno usaglašene rezultate.

Analiza pokazuje da su prve dve metode, metoda naponskog odnosa sa JF 5730A i metoda sa AC/DC transfer standardom Ballantine 1600A, pouzdanije kod merenja jako niskih napona jer im je merna nesigurnost vrlo niska. Njihova tačnost proizilazi iz mogućnosti kontrole i stabilizacije ulaznog napona, kao i korišćenja visokopreciznih mernih lanaca.

Sa druge strane, metoda direktnog poređenja pomoću multimetra Agilent 3458A pokazala se kao najjednostavnija za primenu, jer ne zahteva dodatnu opremu za deljenje i pojačavanje signala. Ova metoda je posebno pogodna za brzu i efikasnu proveru viših milivoltnih vrednosti, i korisna je u svakodnevnoj laboratorijskoj primeni.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] "Measurement and generation of small AC voltages with inductive voltage dividers" Calibration Guide EURAMET cg-9, Version 2.0 (03/2011)
- [2] AC calibrator JF 5200A, Instruction Manual, Fluke
- [3] Electro Scientific Industries Model DT 72A, Decade Transformer, Instruction Manual, September 1975
- [4] Ballantine Model 1600A Autobalance True RMS AC/DC Transfer Standard, Instruction Manual, May 1984
- [5] Multifunction Calibrator 5730A, Calibration Manual, Fluke, August 2014
- [6] Multimeter 3458A, Calibration Manual, Agilent Technologies, Manual Part Number 03458-90017

ABSTRACT

This paper describes the methods for measuring milivolt-range AC voltages of a calibrator in the metrology laboratory for basic electrical quantities at the Technical Test Center. A list of the equipment used is provided, as well as the measurement results obtained.

**Calibration of milivolt ranges of an AC calibrator JF
5200A**

Nikola Jovičić, Slobodan Subotić