

# Еталонирање калибратора DC струје у Техничком опитном центру

Зоран Кнежевић, Славко Вуканић и Милана Николић, *Технички опитни центар, Београд*

**Апстракт**— Предмет ове анализе је еталонирање и одређивање мерне несигурности еталонирања калибратора DC струје у Сектору за метрологију у Техничком опитном центру. Дат је пример прорачуна мерне несигурности еталонирања DC струје 1 А за калибратор Fluke 5500A на два начина.

**Кључне речи**— једносмерна електрична струја; дигитални волтметар; еталон отпорник; еталонирање; мерна несигурност; буџет мерне несигурности.

## I. УВОД

У Техничком опитном центру, Сектору за метрологију, Метролошкој лабораторији за основне електричне величине МЛ-01 еталонирају се калибратори једносмерне електричне струје (калибратори DC струје). У зависности од резолуције и тачности калибратора DC струје једна од метода еталонирања је метода директног мерења струје, а друга је методом мерења пада напона на еталон отпорнику. Код директне методе одговарајући референтни еталон амперметар - мултиметар Agilent 3458A [1] се директно повезује на калибратор DC струје који се еталонира Fluke 5500A [2]. Методом мерења пада једносмерног електричног напона (мултиметар Agilent 3458A) на еталон отпорнику, мери се DC струја (калибратор Fluke 5500A) индиректним методом.

Прорачун мерне несигурности ради се у складу са документима који прописују одређивање несигурности код еталонирања [3] и [4], упутством за руковање дигиталним мултиметром Agilent 3458A, упутством за руковање Fluke 5500A, упутством за еталон отпорнике Hartman&Braun [5] и упутством за еталон отпорнике Tinsley [6].

## II. МЕТОДЕ (ПОСТУПАК) ЕТАЛОНИРАЊА

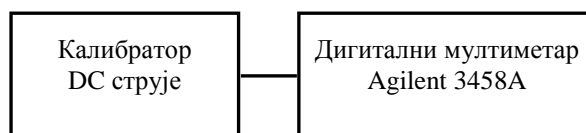
Код директне методе калибратор DC струје, (Fluke 5500A) код кога се еталонира једносмерна електрична струја, повезује се са одговарајућим референтним дигиталним мултиметром према блок шеми на слици 1. На DUT калибратору треба одабрати функцију и опсег да одговарају вредности мерне тачке једносмерне

Зоран Кнежевић – Технички опитни центар, Београд, Војводе Степе 445, 11221 Београд, Србија (e-mail: metrologija@toc.vs.rs).

Славко Вуканић – Технички опитни центар, Београд, Војводе Степе 445, 11221 Београд, Србија (e-mail: metrologija@toc.vs.rs).

Милана Николић – Технички опитни центар, Београд, Војводе Степе 445, 11221 Београд, Србија (e-mail: metrologija@toc.vs.rs).

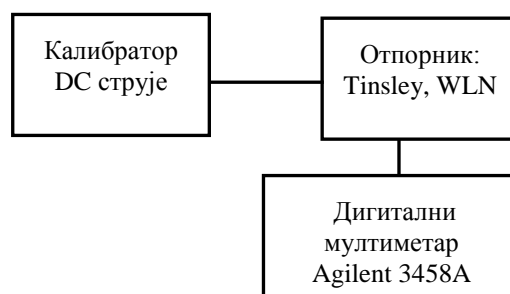
електричне струје. Овом методом се може еталонирати једносмерна електрична струја од 100 nA до 1 А.



Сл. 1. Блок шема еталонирања DC струје директним методом

Код методе мерења пада једносмерног електричног напона на еталон отпорнику блок шема везе дата је на слици 2. Мерење вредности једносмерне електричне струје код еталонираног калибратора DC струје врши се индиректним методом, коришћењем референтних еталон отпорника. Струја из калибратора пропушта се кроз струјне прикључке еталон отпорника и на његовим напонским крајевима мери се пад напона на референтном дигиталном мултиметру. Струја се одређује из Омовог закона  $I = U/R$ . На калибратору DC струје постави се функција и опсег који одговарају вредностима мерне тачке која се еталонира. На референтном мултиметру се постави функција једносмерног електричног напона. Изабере се опсег AUTO и време интегралења 100 NPLC на референтном мултиметру. На калибратору се очита и забележи DC струја као и једносмерни електрични напон на референтном мултиметру. На оба инструмента потребно је да се истовремено забележе измерене вредности. Према Омовом закону се израчуна колика је вредност референтне струје. Цео поступак је потребно поновити за све мерне тачке специфициране у захтеву за еталонирање од стране корисника.

Овом методом се могу еталонирати DC струје код калибратора DC струје од 100  $\mu$ A до 20 А.



Сл. 2. Блок шема еталонирања DC струје индиректним методом мерењем пада напона на референтном еталон отпорнику

Сви референтни еталони су еталонирани у метролошкој лабораторији у Техничком опитном центру.

Еталонирање је извршено у Фарадејевом кавезу и услови околине који се одржавају константним су:

- температура  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ,
- релативна влажност  $(50 \pm 15) \%$ .

Мерна опрема која се користи при еталонирању треба да буде у референтним условима најмање 24 сата пре еталонирања ради температурне стабилизације.

ТАБЕЛА 1.  
МЕРНА ОПРЕМА КОЈА СЕ КОРИСТИ ПРИ ЕТАЛОНИРАЊУ

| Ред. бр. | Мерна опрема           |  |                                 |   |
|----------|------------------------|--|---------------------------------|---|
|          | Назив                  | Тип  | Произвођач                      | Напомена  |
| 1.       | Универзални калибратор | 5500A  | Fluke                           | /   |
| 2.       | Отпорници              | 5684D<br>WLN 4<br>WLN 5<br>WLN 6<br>WLN 7<br>WLN 8 | Tinsley, SAD<br>H&B,<br>Germany | 1 k $\Omega$ , 30 mA<br>100 $\Omega$ , 300 mA<br>10 $\Omega$ , 1 A<br>1 $\Omega$ , 3 A<br>100 m $\Omega$ , 10 A<br>10 m $\Omega$ , 50 A |
| 3.       | Дигитални мултиметар   | 3458A  | Agilent                         | /   |

Референтни еталони треба да буду прикључени на напајања најмање 2 сата пре почетка еталонирања. Калибратор DC струје се пре еталонирања загрева најмање онолико колико је предвидео произвођач у упутству за руковање, а ако упутством није предвиђено време загревања, онда се загрева најмање 2 сата.

Мерне тачке у којима се врши еталонирање дефинисане су захтевом корисника. Ако корисник захтева усклађеност са спецификацијама у упутству за амперметар, онда се мерне тачке бирају према дефинисаним мерним тачкама које је предвидео произвођач у упутству.

Дигитални мултиметар Agilent 3458A мора бити укључен да се загреје најмање 4 сата пре почетка процедуре еталонирања. Аутокалибрација дигиталног волтметра мора се урадити претходно пре еталонирања. Време интеграљења на дигиталном волтметру је 100 NPLC.

### III. МЕРНА НЕСИГУРНОСТ ЕТАЛОНИРАЊА ДИРЕКТНОМ МЕТОДОМ

Да би се утврдила мерна несигурност еталонирања DC струје калибратора треба размотрити све могуће изворе мерне несигурности.

Еталонирана вредност једносмерне електричне струје коју генерише калибратор DC струје (Fluke 5500A), дата је математичким моделом који је дат изразом:

$$I_{DUT} = I_{RE} + \delta I_{RE} + \delta I_{RE-tk} + \delta I_{RE-rez} + \delta I_{RE-cal} \quad (1)$$

Где је:

- $I_{DUT}$  - постављена вредност DC струје на калибратору,
- $I_{RE}$  - измерена вредност DC струје на мултиметру,

- $\delta I_{RE}$  - несигурност услед грешке мерења DC струје са мултиметром,
- $\delta I_{RE-tk}$  - несигурност услед грешке мерења DC струје са мултиметром услед промене температуре,
- $\delta I_{RE-rez}$  - несигурност услед резолуције дигиталног мултиметра и
- $\delta I_{RE-cal}$  - несигурност услед следљивости мултиметра.

Извори мерне несигурности које улазе у буџет мерне несигурности су наведени појединачно, а збирно у табели 2.

#### A. Несигурност због специфициране грешке мерења DC струје са мултиметром ( $\delta I_{RE}$ )

Вредност DC струје која се генерише на излазу калибратора мери се са мултиметром Agilent 3458A. Дозвољена грешка мерења на опсегу 1 А за годину дана је  $\pm (110 \cdot 10^{-6} izlaza + 10 \cdot 10^{-6} opsega)$ .

За номиналну вредност струје  $I_{nom} = 1$  А, мултиметар мери ову вредност струје у границама грешке  $\pm 134,9 \mu\text{A}$ .

Расподела је униформна (правоугаона) па се стандардна несигурност израчуна тако што се  $134,9 \mu\text{A}$  подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $77,88 \mu\text{A}$ . Коефицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial (\delta I_{RE})} = 1, \quad u = 77,88 \mu\text{A}. \quad (2)$$

#### B. Несигурност због грешке мерења струје мултиметром услед промене температуре ( $\delta I_{RE-tk}$ )

Грешка измерене вредности DC струје са мултиметром услед промене температуре израчунава се на основу температурног коефицијента који износи  $\pm (2 \cdot 10^{-6} izlaza + 2 \cdot 10^{-6} opsega) / ^\circ\text{C}$ , за опсег 1 А. Промена температуре околине  $\Delta t$  је највише  $2 ^\circ\text{C}$ . Узимајући да се температура променила за максималну вредност  $2 ^\circ\text{C}$  добиће се  $8 \mu\text{A}$  и када се подели са  $\sqrt{6}$  због троугаоне расподеле, добиће се да је стандардна несигурност  $3,27 \mu\text{A}$ . Коефицијент осетљивости  $c$  и несигурност  $u$  су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial (\delta I_{RE-tk})} = 1, \quad u = 3,27 \mu\text{A}. \quad (3)$$

#### C. Несигурност због резолуције дигиталног мултиметра ( $\delta I_{RE-rez}$ )

Грешка услед резолуције дигиталног мултиметра на опсегу 1 А је  $0,1 \mu\text{A}$  и због тога се уноси грешка постављања од  $0,05 \mu\text{A}$  која износи половину вредности наведене резолуције. Расподела је униформна па се стандардна несигурност добије када се  $0,05 \mu\text{A}$  подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $0,03 \mu\text{A}$ . Коефицијент осетљивости  $c$  и несигурност  $u$  су:

ТАБЕЛА 2.  
ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ ЗА ДИРЕКТНУ МЕТОДУ ЕТАЛОНОРАЊА DC СТРУЈЕ 1 А ЗА КАЛИБРАТОР FLUKE 5500А (РЕФЕРЕНТНИ МУЛТИМЕТАР DC СТРУЈЕ AGILENT 3458А)

| Утицајна величина $X_i$ | Процена $x_i$    | Стандардна несигурност $u(x_i)$ | Функција расподеле | Коефицијент осетљивости $s_i$ | Допринос стандардној несигурности $u_i(y) = s_i u(x_i)$ |
|-------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|
| $I_{RE}$                | 1,00000 А        | 77,88 $\mu$ А                   | униформна          | 1                             | 77,88 $\mu$ А   |
| $\delta I_{RE-ik}$      | 0 А              | 3,27 $\mu$ А                    | троугаона          | 1                             | 3,27 $\mu$ А  |
| $\delta I_{RE-rez}$     | 0 А              | 0,03 $\mu$ А                    | униформна          | 1                             | 0,03 $\mu$ А  |
| $\delta I_{RE-cal}$     | 0 А              | 32,5 $\mu$ А                    | нормална           | 1                             | 32,5 $\mu$ А  |
| $I_{DUT}$               | <b>1,00000 А</b> |                                 |                    | $k = 1$                       | <b>84,45 <math>\mu</math>А</b>                          |

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial (\delta I_{RE-rez})} = 1, \quad u = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0,03 \mu\text{А} \quad (4)$$

D. Несигурност услед следљивости мултиметра ( $\delta I_{RE-cal}$ )

Следљивост референтног еталона за DC струју обезбеђена је еталонирањем у МЛ-01. Мерна несигурност се добија дељењем са 2 вредности несигурности еталонирања, која је дата у Записнику о еталонирању. У Записнику о еталонирању за 1 А, несигурност је 65  $\mu$ А и када се подели са 2 добија се несигурност од 32,5  $\mu$ А.

Ово је тип В несигурности, расподела је нормална. Коефицијент осетљивости  $c$  и несигурност  $u$  су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial (\delta I_{RE-cal})} = 1, \quad u = 32,5 \mu\text{А}. \quad (5)$$

#### IV. МЕРНА НЕСИГУРНОСТ ЕТАЛОНИРАЊА МЕТОДОМ МЕРЕЊА ПАДА ЈЕДНОСМЕРНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ НАПОНА НА ЕТАЛОН ОТПОРНИКУ

И код ове методе разматрани су сви могући извори мерне несигурности.

Еталонирана вредност DC струје коју генерише калибратор дата је изразом:

$$I_{DUT} = (U_{RE} + \delta U_{RE} + \delta U_{RE-ik} + \delta U_{RE-lin} + \delta U_{RE-rez} + \delta U_{RE-cal} + \delta U_{th}) / (R_S + \delta R_{st} + \delta R_{tk} + \delta R_S) \quad (6)$$

Где су поједини чланови израза:

- $I_{DUT}$  - измерена (израчуната) вредност DC струје,
- $U_{RE}$  - измерена вредност DC напона са мултиметром на еталон отпорнику,
- $\delta U_{RE}$  - несигурност услед грешке измерене вредности DC напона са мултиметром на еталон отпорнику,
- $\delta U_{RE-ik}$  - несигурност услед грешке измерене вредности DC напона мултиметром услед промене температуре,
- $\delta U_{RE-lin}$  - несигурност услед грешке линеарности мултиметра
- $\delta U_{RE-rez}$  - несигурност услед резолуције мултиметра,
- $\delta U_{RE-cal}$  - несигурност услед следљивости мултиметра,
- $\delta U_{th}$  - несигурност услед термоелектромоторних сила каблова,

- $R_S$  - вредност отпорности еталон отпорника,
- $\delta R_S$  - несигурност вредности отпорности еталон отпорника услед следљивости,
- $\delta R_{st}$  - несигурност услед промене отпорности еталон отпорника са временом,
- $\delta R_{tk}$  - несигурност услед промене отпорности еталон отпорника услед промене температуре.

Извори мерне несигурности које улазе у буџет мерне несигурности су наведени појединачно, а збирно у табели 3.

A. Несигурност због специфициране грешке мултиметра ( $\delta U_{RE}$ )

Ако је генерисана вредност DC струје на калибратору 1 А, на еталон отпорнику (струјном шенту) називне вредности 1  $\Omega$  се ствара пад напона ( $U_{RE}$ ) који се мери мултиметром. Измерена вредност DC напона је 1 V и читава се на опсегу 1 V. Дозвољена грешка мерења на опсегу 1 V за годину дана је  $\pm(4 \cdot 10^{-6} \text{ оџ} + 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ опсега})$  при изабраном броју дигита  $8\frac{1}{2}$ , што одговара резолуцији од 10 nV и времену интеграљења 100 NPLC. Дакле, напон 1 V меримо са грешком  $\pm 4,3 \cdot 10^{-6}$  V.

Расподела је униформна (правоугаона) па се стандардна несигурност израчуна тако што се  $4,3 \cdot 10^{-6}$  V подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $2,48 \cdot 10^{-6}$  V. Коефицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial (\delta U_{RE})} = 1/R_S = 1/\Omega, \quad u = 2,48 \cdot 10^{-6} \text{ V}. \quad (7)$$

B. Несигурност због промене напона на мултиметру услед промене температуре ( $\delta U_{RE-ik}$ )

Грешка измерене вредности DC напона услед промене температуре израчунава се на основу температурног коефицијента  $\pm(0,15 \cdot 10^{-6} \text{ оџ} + 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ опсега})/^\circ\text{C}$ , за опсег 1 V. Промена температуре околине  $\Delta t$  је највише  $2^\circ\text{C}$ . Узимајући да се температура околине променила за максималну вредност  $2^\circ\text{C}$  добиће се да је грешка мерења напона 1 V услед промене температуре  $\pm 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}$  V и када се подели са  $\sqrt{6}$ , због троугаоне расподеле, добије се да је стандардна несигурност  $0,20 \cdot 10^{-6}$  V. Коефицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial(\delta U_{RE-ik})} = 1/\Omega, \quad u = 0,20 \cdot 10^{-6} \text{ V.} \quad (8)$$

C. Несигурност услед грешке линеарности мултиметра ( $\delta U_{RE-lin}$ )

Грешка услед линеарности мултиметра на опсегу 1 V, за температуру околине од 23 °C и за период од 10 минута колико траје мерење, је  $\pm(0,3 \cdot 10^{-6} \text{ o} \check{c} + 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ onsega})$ . За напон који меримо у овом примеру, 1 V, грешка је  $\pm 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ . Расподела је униформна па се стандардна несигурност добије када се  $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $0,23 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial(\delta U_{RE-ik})} = 1/\Omega, \quad u = 0,23 \cdot 10^{-6} \text{ V.} \quad (9)$$

D. Несигурност због резолуције мултиметра ( $\delta U_{RE-rez}$ )

Грешка услед резолуције мултиметра на опсегу 1 V је 10 nV и због тога се уноси грешка читавања од 5 nV која износи половину вредности наведене резолуције. Расподела је униформна па се несигурност добије када се 5 nV подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $2,89 \cdot 10^{-9} \text{ V}$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial(\delta U_{RE-rez})} = 1/\Omega, \quad u = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 2,89 \cdot 10^{-9} \text{ V.} \quad (10)$$

E. Несигурност услед следљивости мултиметра ( $\delta U_{RE-cal}$ )

Следљивост мултиметра обезбеђена је еталонирањем у МЛ-01. Мерна несигурност се добија дељењем вредности несигурности еталонирања са 2. За 1 V у

Записнику о еталонирању несигурност је  $0,5 \cdot 10^{-6}$ , односно  $0,5 \mu\text{V}$  (проширена мерна несигурност). Расподела је нормална па се стандардна несигурност добије када се  $0,5 \mu\text{V}$  подели са 2, што даје несигурност од  $0,25 \mu\text{V}$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial(\delta U_{RE-cal})} = 1/\Omega, \quad u = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ V.} \quad (11)$$

F. Несигурност услед термоелектромоторне силе каблова ( $\delta U_{th}$ )

Грешка услед термоелектромоторних сила каблова који се користе при еталонирању је мања од  $0,2 \mu\text{V}$ , под условом да се користе каблови са малим термоелектромоторним силама (специјални каблови од пречишћеног бакра или каблови са позлаћеним контактима) и због тога се уноси грешка читавања од  $0,1 \mu\text{V}$  која износи половину наведене вредности за термоелектромоторне силе. Расподела је униформна па се стандардна несигурност добије када се  $0,1 \mu\text{V}$  подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $5,77 \cdot 10^{-8} \text{ V}$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{DUT}}{\partial(\delta U_{th})} = 1/\Omega, \quad u = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 5,77 \cdot 10^{-8} \text{ V.} \quad (12)$$

G. Несигурност вредности отпорности еталон отпорника услед следљивости ( $\delta R_s$ )

Вредност отпорности еталон отпорника називне вредности 1  $\Omega$ , Hartmann&Braun тип WLN6, је измерена вредност отпорности у Записнику о еталонирању у МЛ-01, на специфицираној температури од 23 °C. Вредност отпорности је одређена са несигурношћу  $2,5 \cdot 10^{-5}$  ( $k = 2$ ), што износи  $2,5 \cdot 10^{-5} \Omega$ . Расподела је нормална па се стандардна несигурност добије када се  $2,5 \cdot 10^{-5} \Omega$  подели са 2, што даје несигурност од  $1,25 \cdot 10^{-5} \Omega$ . Коefицијент

ТАБЕЛА 3.

ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ ЕТАЛОНИРАЊА ЗА МЕТОДУ МЕРЕЊА ПАДА ЈЕДНОСМЕРНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ НАПОНА НА ЕТАЛОН ОТПОРНИКУ ЗА КАЛИБРАТОР FLUKE 5500A

| Утицајна величина $X_i$     | Процена $x_i$    | Стандардна несигурност $u(x_i)$ | Функција расподеле | Коefицијент осетљивости $s_i$ | Допринос стандардној несигурности $u_i(y) = s_i u(x_i)$ |
|-----------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|
| $U_{RE}$                    | 1,00000 V        | $2,48 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  | униформна          | $1/\Omega$                    | $2,48 \cdot 10^{-6} \text{ A}$                          |
| $\delta U_{RE-ik}$          | 0 V              | $0,20 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  | троугаона          | $1/\Omega$                    | $0,20 \cdot 10^{-6} \text{ A}$                          |
| $\delta U_{RE-lin}$         | 0 V              | $0,23 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  | униформна          | $1/\Omega$                    | $0,23 \cdot 10^{-6} \text{ A}$                          |
| $\delta U_{RE-rez}$         | 0 V              | $2,89 \cdot 10^{-9} \text{ V}$  | униформна          | $1/\Omega$                    | $2,89 \cdot 10^{-9} \text{ A}$                          |
| $\delta U_{RE-cal}$         | 0 V              | $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  | нормална           | $1/\Omega$                    | $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ A}$                          |
| $\delta U_{th}$             | 0 V              | $5,77 \cdot 10^{-8} \text{ V}$  | униформна          | $1/\Omega$                    | $5,77 \cdot 10^{-8} \text{ A}$                          |
| $R_s$                       | 1 $\Omega$       | $1,25 \cdot 10^{-5} \Omega$     | нормална           | $-V/\Omega^2$                 | $-1,25 \cdot 10^{-5} \text{ A}$                         |
| $\delta R_T$                | 0 $\Omega$       | $3,46 \cdot 10^{-6} \Omega$     | униформна          | $-V/\Omega^2$                 | $-3,46 \cdot 10^{-6} \text{ A}$                         |
| $\delta R_{ik}$             | 0 $\Omega$       | $1,22 \cdot 10^{-5} \Omega$     | троугаона          | $-V/\Omega^2$                 | $-1,22 \cdot 10^{-5} \text{ A}$                         |
| <b><math>I_{DUT}</math></b> | <b>1,00000 A</b> |                                 |                    | <b><math>k = 1</math></b>     | <b>17,98 <math>\mu\text{A}</math></b>                   |

осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{\text{вост}}}{\partial (\delta R_s)} = -V/\Omega^2, \quad u = 1,25 \cdot 10^{-5} \Omega. \quad (13)$$

Н. Несигурност због промене отпорности еталон отпорника са временом ( $\delta R_{st}$ )

Промена отпорности отпорника са временом у односу на последње еталонирање израчунава се на основу податка о стабилности који износи  $2 \cdot 10^{-6}$  за једну годину, тако да за период од три године (период еталонирања), ова промена отпорности износи  $6 \cdot 10^{-6} \Omega$ . Расподела је униформна па се стандардна несигурност израчуна тако што се  $6 \cdot 10^{-6} \Omega$  подели са  $\sqrt{3}$  и добије се  $3,46 \cdot 10^{-6} \Omega$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{\text{вост}}}{\partial (\delta R_T)} = -V/\Omega^2, \quad u = 3,46 \cdot 10^{-6} \Omega. \quad (14)$$

И. Несигурност због промене отпорности еталон отпорника услед промене температуре ( $\delta R_{tk}$ )

Промена отпорности отпорника услед промене температуре израчунава се на основу температурног коефицијента (ТК) отпорника ( $10 \cdot 10^{-6}$  до  $15 \cdot 10^{-6}$ )/К. Узимајући за ТК отпорника од  $1 \Omega$  вредност  $15 \cdot 10^{-6} 1/\text{K}$  и да се температура околине променила за максималну вредност  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  добија се  $30 \cdot 10^{-6} \Omega$ . Расподела је троугаона па се  $30 \cdot 10^{-6} \Omega$  подели са  $\sqrt{6}$  и добије стандардна несигурност од  $1,22 \cdot 10^{-5} \Omega$ . Коefицијент осетљивости и несигурност су:

$$c = \frac{\partial I_{\text{вост}}}{\partial (\delta R_{tk})} = -V/\Omega^2, \quad u = 1,22 \cdot 10^{-5} \Omega. \quad (15)$$

Ј. Несигурност због понављања мерења

Несигурност је типа А, нормална расподела. Када вршимо понављање мерења морамо урачунати несигурност типа А. Мерење се понавља 10 пута за сваку мерну тачку. Израчунава се средња вредност грешке и придружена експериментална стандардна девијација. Експериментална стандардна девијација средње вредности израчунава се дељењем стандардне девијације са квадратним кореном броја мерења.

## V. ПРИМЕР БУЏЕТА МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Пример прорачуна мерне несигурности дат је за мерну опрему наведену у табели 1, која се користи за еталонирање једносмерне електричне струје калибратора

Fluke 5500A узимајући у обзир несигурности типа Б. Мерна тачка која се еталонира на калибратору за обе методе еталонирања је 1 А. За оба случаја буџети мерне несигурности су дати у табели 2 и табели 3.

Проширена мерна несигурност добије се за коефицијент  $k=2$ . Комбинована мерна несигурност се израчунава када се узме у обзир тип Б и тип А мерне несигурности.

## VI. ЗАКЉУЧАК

Прорачун мерне несигурности еталонирања калибратора DC струје урађен је за потребе Радног упутства за еталонирање калибратора DC струје, Ц.41.044 [7] које се примењује у Сектору метрологије у ТОЦ-у. За конкретан пример прорачуна узет је калибратор Fluke 5500A.

На исти начин се могу израчунати мерне несигурности еталонирања сваке друге вредности DC струје коју генерише калибратор Fluke 5500A узимајући у обзир дате буџете мерне несигурности.

## LITERATURA

- [1] 3458A Multimeter Calibration Manual, Agilent Technologies, Edition 3, Manual Part Number: 03458-90017, 2000.
- [2] 5500A Multi-Product Calibrator Operator Manual, Fluke, Part Number 945159, 1994, rev.8/98.
- [3] EA-4/02M Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European Cooperation for Accreditation, 2013.
- [4] Упутство за одређивање мерне несигурности код еталонирања Ц.40.005, ТОЦ, Сектор за метрологију, Београд 2004.
- [5] WLN Normal Widerstande, Hartmann&Braun, Каталог, 1973.
- [6] Tinsley&Co.Ltd, ac/dc Standard Resistor Type 5684, Scientific instrument Manufacturers, South Norwood, London SE25 5LA, England.
- [7] С. Вуканић, „Радно упутство за еталонирање калибратора DC струје“, Ц.41.044, ТОЦ, Сектор за метрологију, Београд 2012.

## ABSTRACT

The goal of this analysis is calibrate a DC current calibrator and determine the measurement uncertainty of such calibration at the Metrology Department of the Technical Test Center. Two methods of the calculation of measurement uncertainty for calibration of 1 A DC current for calibrator Fluke 5500A are presented as an example.

## Calibration of DC current calibrator in the Technical Test Center

Zoran Knežević, Slavko Vukanić i Milana Nikolić