

УДК 389.14

О.М. Величко¹, М.М. Сурду¹, С.М. Шевкун¹, М.Г. Домбровський¹, М.В. Добролюбова²

¹Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), Київ

²Національний технічний університет України «КПІ», Київ

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ КАЛІБРУВАННЯ РІВНОНОМІНАЛЬНИХ МІР ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ НА ДЕРЖАВНОМУ ЕТАЛОНІ ОДИНИЦЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ ТА ФАКТОРА ВТРАТ

Надано матеріали щодо оцінки комбінованої стандартної та розширеної невизначеності вимірювань при калібруванні рівнономінальних мір електричної ємності на Державному еталоні одиниць електричної ємності та фактора втрат.

Ключові слова: еталон, міра електричної ємності, комбінована стандартна невизначеність, розширена невизначеність.

Вступ

Постановка задачі. Технічною основою системи забезпечення єдності вимірювань у державі є національна еталонна база, рівень розвитку якої визначає темпи науково-технічного прогресу в усіх галузях економіки, промисловості, науки та оборони.

Точність вимірювань параметрів імпедансів відіграє важливу роль у підтриманні належних характеристик та вдосконаленні технічних засобів телекомунікацій, енергетики, транспорту тощо.

З метою підтримки еталонної бази на високому технічному рівні необхідно проводити систематичні дослідження та звірення з еталонами інших країн для міжнародного визнання результатів вимірювань і випробувань та постійно її вдосконалювати згідно з державними програмами розвитку.

Процес міжнародної інтеграції потребує гармонізації вітчизняної нормативної бази з міжнародними документами у сфері метрології та метрологічної діяльності, що стосується, в першу чергу, подання результатів вимірювань в поняттях теорії невизначеності.

Так, вимогами міжнародних, міждержавних нормативних документів та вимогами ДСТУ 3231:2007 передбачено оцінку невизначеності вимірювань при відтворенні і передачі одиниць фізичних величин державними та вторинними еталонами [1].

Мета статті – на підставі сучасного підходу до обробки результатів вимірювань розробити методику оцінки комбінованої стандартної та розширеної невизначеності вимірювань при калібруванні рівнономінальних мір електричної ємності на Державному еталоні одиниць електричної ємності та фактора втрат ДЕТУ 08-06-01.

Основна частина

Калібрування мір електричної ємності виконується на Державному еталоні одиниць електричної ємності та фактора втрат ДЕТУ 08-06-01. Зовнішній вигляд еталону зображено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд Державного еталона одиниць електричної ємності та фактора втрат ДЕТУ 08-06-01

Еталон складається з комплексу засобів вимірювальної техніки:

- комплекту термостатованих еталонних мір електричної ємності Andeen-Hagerling типу АН11А номіналом 10 пФ (4 од.);
- комплекту термостатованих еталонних мір електричної ємності Andeen-Hagerling типу АН11А номіналом 100 пФ (4 од.);
- комплекту еталонних перехідних мір електричної ємності номіналом від 1 пФ до 1 мкФ (6 од.);
- комплекту еталонних мір активного електричного опору номіналом від 0,1 Ом до 1 МОм (8 од.);
- еталонного компаратора з ПЕОМ;
- стандарту частоти та часу СЧВ-74;
- електронно-лічильного частотоміра ЧЗ-54.

Державний еталон забезпечує відтворення одиниць вимірювань на частоті 1000 Гц.

Еталонний компаратор зі складу ДЕГУ 08-06-01 дозволяє здійснювати передачу розмірів одиниць параметрів імпедансу в діапазоні значень, що визначається набором мір активного опору та електричної ємності [2].

Термостатовані еталонні міри електричної ємності Andeen-Hagerling типу АН11А утворюють групу двономінальну міру.

Зовнішній вигляд групової двономінальної міри зображено на рис. 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд групової двономінальної міри із чотирьох мір Andeen-Hagerling типу АН11А

Еталонні міри, зі складу групової, безперервно досліджуються понад 15 років. Завдяки дослідженням, проведеним в національних метрологічних інститутах провідних країн світу (РТВ, Німеччина; NIST, США; NPL, Великобританія тощо), а також дослідженням, проведеним в ДП «Укрметрестстандарт», значення електричної ємності еталонних мір АН11А відомо з розширеною невизначеністю $U(C_{АН}) = 1,0 \cdot 10^{-6}$ пФ при коефіцієнті охоплення $k = 2$. Постійні досліджен-

ня зазначених мір дозволяють оцінити та врахувати дрейф їх основних характеристик.

При калібруванні міри електричної ємності з опорою на еталонну міру того ж номіналу, значення електричної ємності C_X міри, що калібрується, отримується з виразу:

$$C_X = C_S + \Delta C_C + 2\delta C_{QC} - \delta C_{Tx} + \delta C_{SC} + \delta C_{CE} + \delta C_\gamma,$$

де C_S – значення електричної ємності еталонної міри; ΔC_C – різниця між значенням електричної ємності еталонної міри, вказаним в сертифікаті калібрування, та показом значення електричної ємності міри, що калібрується; δC_{QC} – відхилення, що зумовлене помилкою квантування компаратора; δC_{Tx} – поправка, що зумовлена температурним дрейфом міри, що калібрується; δC_{SC} – поправка на чутливість компаратора; δC_{CE} – помилка компарування; δC_γ – поправка, що зумовлена дрейфом значення електричної ємності еталонної міри з моменту останнього калібрування.

В табл. 1 та 2 наведено приклад розрахунків бюджету невизначеності (C_X), які застосовуються при калібруванні мір електричної ємності номіналом 10 пФ і 100 пФ відповідно [3 – 5].

Розширена невизначеність в табл. 1 отримується з виразу

$$U = k \cdot u(C_X) = 2 \cdot 1,09541 \cdot 10^{-6} \text{ пФ} = 2,19083 \cdot 10^{-6} \text{ пФ}.$$

Розширена невизначеність в табл. 2 отримується з виразу

$$U = k \cdot u(C_X) = 2 \cdot 1,65037 \cdot 10^{-5} \text{ пФ} = 3,30074 \cdot 10^{-5} \text{ пФ}.$$

Таблиця 1

Бюджет невизначеності (C_X) для мір електричної ємності номіналом 10 пФ

Величина X_i	Оцінка x_i	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Розподіл	Тип оцінювання стандартної невизначеності	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок у невизначеність $u_i(y)$
C_S	10,00000 пФ	$3,70 \cdot 10^{-7}$ пФ	норм.	В	1	$3,70 \cdot 10^{-7}$ пФ
ΔC_C	0,00001163 пФ	$6,1 \cdot 10^{-7}$ пФ	норм.	А	1	$6,1 \cdot 10^{-7}$ пФ
δC_{QC}	0	$6,01 \cdot 10^{-8}$ пФ	прямокут.	В	2	$1,2 \cdot 10^{-7}$ пФ
δC_{Tx}	0	$4,1 \cdot 10^{-7}$ пФ	прямокут.	В	-1	$-4,1 \cdot 10^{-7}$ пФ
δC_{SC}	0	$1,07E \cdot 10^{-8}$ пФ	прямокут.	В	1	$1,07 \cdot 10^{-8}$ пФ
δC_{CE}	0	$5,00 \cdot 10^{-7}$ пФ	прямокут.	А	1	$5,00 \cdot 10^{-7}$ пФ
δC_γ	$-1,10 \cdot 10^{-6}$	$5,08 \cdot 10^{-7}$ пФ	прямокут.	В	1	$5,08 \cdot 10^{-7}$ пФ
C_X	10,00001053 пФ					
Комбінована стандартна невизначеність					u_c	$1,09541 \cdot 10^{-6}$ пФ
Ефективні ступені свободи					ν_{eff}	$>200, k = 2$
Розширена невизначеність ($p \approx 95\%$)					U	$2,19083 \cdot 10^{-6}$ пФ

Бюджет невизначеності (C_X) для мір електричної ємності номіналом 100 пФ

Величина X_i	Оцінка x_i	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Розподіл	Тип оцінювання стандартної невизначеності	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок у невизначеність $u_i(y)$
C_S	100,00002 пФ	$3,70 \cdot 10^{-7}$ пФ	норм.	B	1	$3,70 \cdot 10^{-7}$ пФ
ΔC_C	0,00005403 пФ	$8,2 \cdot 10^{-7}$ пФ	норм.	A	1	$8,2 \cdot 10^{-6}$ пФ
δC_{QC}	0	$6,01 \cdot 10^{-7}$ пФ	прямокут.	B	2	$1,2 \cdot 10^{-6}$ пФ
δC_{Tx}	0	$8,3E-06$ пФ	прямокут.	B	-1	$-8,3 \cdot 10^{-6}$ пФ
δC_{SC}	0	$1,07 \cdot 10^{-8}$ пФ	прямокут.	B	1	$1,07 \cdot 10^{-8}$ пФ
δC_{SE}	0	$7,90E-06$ пФ	прямокут.	A	1	$7,90 \cdot 10^{-6}$ пФ
δC_γ	$6,65 \cdot 10^5$ пФ	$8,50 \cdot 10^{-7}$ пФ	прямокут.	B	1	$8,50 \cdot 10^{-7}$ пФ
C_X	100,0001405 пФ					
		Комбінована стандартна невизначеність			u_c	$1,65037 \cdot 10^{-5}$ пФ
		Ефективні ступені свободи			ν_{eff}	$>200, k = 2$
		Розширена невизначеність ($p \approx 95\%$)			U	$3,30074 \cdot 10^{-5}$ пФ

Забезпечення стабільності частоти 1000 Гц, на якій проводяться вимірювання, дозволяє не враховувати частотну залежність еталонної міри та міри, що калібрується.

Висновки

За результатами досліджень розроблено методу, що дозволяє оцінити комбіновану стандартну та розширену невизначеність вимірювань при калібруванні рівнономінальних мір електричної ємності на Державному еталоні одиниць електричної ємності та фактора втрат ДЕТУ 08-06-01. Використання даної методики дозволяє залучити ДЕТУ 08-06-01 до участі у міжнародних звіреннях вихідних еталонів електричної ємності національних метрологічних інститутів провідних держав світу.

Список літератури

1. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстра-

ції, зберігання та застосування – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 19 с.

2. Сурду М.Н. Прецизионный компаратор для воспроизведения единицы индуктивности и передачи ее размера в диапазоне значений / М.Н. Сурду, А.А. Ахмадов, С.А. Ахмадов, С.Н. Курсин, А.Л. Ламеко, М.Я. Мухаровский // Украинський метрологічний журнал. – 2008. – Вип. 4. – С. 14-23.

3. Величко О.М. Оцінювання результатів вимірювань: основи і нормативне забезпечення: підручник / О.М. Величко, Л.В. Коломієць, Т.Б. Гордієнко; за заг. ред. д.т.н. О.М. Величка. – Одеса: ВМВ, 2010. – 380 с.

4. Захаров І.П. Методика оцінювання неопределенности измерений при выполнении метрологических работ / И.П. Захаров, М.П. Сергиенко, О.Н. Величко, В.Н. Чепела // Системы обработки информации. – X.: ХУПС, 2006. – Вып. 6 (56). – С. 32-36.

5. ДСТУ Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Надійшла до редколегії 7.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ РАВНОНОМИНАЛЬНЫХ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ НА ГОСУДАРСТВЕННОМ ПЕРВИЧНОМ ЭТАЛОНЕ ЕДИНИЦ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ И ФАКТОРА ПОТЕРЬ

О.Н. Величко, М.Н. Сурду, С.Н. Шевкун, М.Г. Домбровский, М.В. Добролюбова

Представлены материалы по оценке комбинированной стандартной и расширенной неопределенности измерений при калибровке равнономінальных мер электрической емкости на Государственном первичном эталоне единиц электрической емкости и фактора потерь.

Ключевые слова: эталон, мера электрической емкости, комбинированная стандартная неопределенность, расширенная неопределенность.

THE EVALUATION OF THE UNCERTAINTY OF CALIBRATION RESULTS OF CAPACITY MEASURES WITH EQUAL NOMINAL AT THE STATE PRIMARY CAPACITY AND LOSS FACTOR STANDARD

O.M. Velychko, M.M. Surdu, S.M. Shevkun, M.G. Dombrovskiy, M.V. Dobroliubova

Materials for the definition of the combined standard uncertainty and the expanded uncertainty of measurement in the calibration of capacity measures with equal nominal at the State primary capacity and loss factor standard are presented.

Keywords: standard, measure of capacity, the combined standard uncertainty, the expanded uncertainty.