

Головний редактор:

П.І. Несажмаков, д-р техн. наук, проф., ННЦ “Інститут метрології”, Україна

Заступник головного редактора, науковий редактор:

Ю.Ф. Павленко, д-р техн. наук, проф., ННЦ “Інститут метрології”, Україна

Редакційна колегія:

О. Боднар, доц., університет Мелардален, Швеція
О.М. Величко, д-р техн. наук, проф., ДП “Укрметртест-стандарт”, Україна
М.М. Горобець, д-р фіз.-мат. наук, проф., ХНУ імені В.Н. Каразіна, Україна
О.В. Дзисюк, Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Україна
І.П. Захаров, д-р техн. наук, проф., ХНУРЕ, Україна
С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф., НТУ “ХПІ”, Україна
О.Д. Купко, д-р техн. наук, ННЦ “Інститут метрології”, Україна
Е. Манске, д-р техн. наук, проф., Технічний університет Ільменау, Німеччина
Г. Мачін, д-р природничих наук, проф., Національна фізична лабораторія, Велика Британія
І.О. Мель, ННЦ “Інститут метрології”, Україна
Л.А. Назаренко, д-р техн. наук, проф., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, Україна
Г.Ю. Народницький, д-р техн. наук, ННЦ “Інститут метрології”, Україна
В.В. Паракуда, канд. техн. наук, доц., ДП “НДІ Система”, Україна
О.В. Прокопов, д-р фіз.-мат. наук, проф., ННЦ “Інститут метрології”, Україна
В.В. Семенець, д-р техн. наук, проф., ХНУРЕ, Україна
В.В. Скаряров, канд. техн. наук, ННЦ “Інститут метрології”, Україна
Б.І. Стадник, д-р техн. наук, проф., НУ “Львівська політехніка”, Україна
Ю.М. Туз, д-р техн. наук, проф., НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, Україна

Відповідальний редактор С.В. Білоусова
Літературний редактор Н.О. Мірошніченко
Комп’ютерна верстка і дизайн Г.С. Мицик

Надруковано в ННЦ “Інститут метрології”.

Адреса редакції: ННЦ “Інститут метрології”,
вул. Мироносицька, 42, м. Харків, 61002
Тел.: (057) 704-98-43, факс: (057) 700-34-47
E-mail: journal@metrology.kharkov.ua
Вебсайт: <http://umj.metrology.kharkov.ua/>

Журнал зареєстрований у Міністерстві юстиції України. Свідоцтво про державну реєстрацію серія КВ № 22932-12832ПР від 26 вересня 2017 р.
“Український метрологічний журнал” включено до Переліку наукових фахових видань України на підставі Наказу МОН України від 15 жовтня 2019 р. № 1301 (категорія “А”).
ННЦ “Інститут метрології” зареєстрований у Державному комітеті телебачення і радіомовлення України. Свідоцтво видавця серія ДК № 5944 від 15.01.2018 р.

Електронна версія – на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського НАН України www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html
Видання індексується міжнародною бібліометричною та наукометричною базою даних **Web of Science Core Collection, Google Scholar, WorldCat і BASE.**
ISSN (Print) 2306-7039
ISSN (Online) 2522-1345
DOI: 10.24027/2306-7039

Журнал видається з 1995 р.

Editor-in-Chief:

P. Neyezhmakov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine

Deputy Editor-in-Chief, Scientific Editor:

Yu. Pavlenko, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine

Editorial Board:

O. Bodnar, Melardalen University, Vesteros, Sweden
O. Dzysyuk, Metrology Center of Military Standards of the Armed Forces of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
M. Gorobets, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
S. Kondrashov, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
O. Kupko, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine
G. Machin, National Physical Laboratory, Teddington, UK
E. Manske, Technical University of Ilmenau, Germany
I. Mel, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine
G. Narodnytskyi, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine
L. Nazarenko, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
V. Parakuda, DP NDI “Systema”, Lviv, Ukraine
O. Prokopov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine
V. Semenets, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
V. Sklyarov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine
B. Stadnyk, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
Yu. Tuz, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
O. Velychko, SE “Ukrmetrteststandard”, Kyiv, Ukraine
I. Zakharov, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Responsible Secretary S. Bilousova
Literary Editor N. Myroshnychenko
Desktop Publishing and Design A. Mytsik

The Journal is registered in the Ministry of Justice of Ukraine.

Editorial Address: NSC “Institute of Metrology”, Myronosytska Str., 42, Kharkiv, 61002
Tel.: (057) 704-98-43, fax: (057) 700-34-47
E-mail: journal@metrology.kharkov.ua
Website: <http://umj.metrology.kharkov.ua/>

The Certificate of State Registration: series KV No. 22932-12832PR of September 26, 2017.

“Ukrainian Metrological Journal” was included to the List of scientific specialized editions of Ukraine based on the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1301, dated October, 15, 2019 in **category “A”**.
NSC “Institute of Metrology” is registered in the State Committee for Television and Radio Broadcasting of Ukraine Certificate of publisher series DK No. 5944, dated January 15, 2018.

Electronic version is on the website of Vernadsky National Library of The National Academy of Sciences of Ukraine
www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html

The edition is indexed by international bibliometric and scientometric database: **Web of Science Core Collection, Google Scholar, WorldCat and BASE.**

The Journal has been issued since 1995

Офіційний розділ

Вимірювання для глобальної торгівлі. Послання директорів BIPM та BIML з нагоди Всесвітнього дня метрології – 20 травня 2020 р. 3

Вимірювання електричних та магнітних величин

О.М. Величко, Т.Б. Гордієнко, К.Ф. Боряк.
Прив'язка результатів міжлабораторних порівнянь для мір електричного опору електричному струму 4

І.П. Захаров, О.А. Боцюра, В.С. Семеніхін.
Оцінювання невизначеності вимірювань методом ексцесів під час калібрування мір електричного опору за допомогою компаратора 12

А.А. Щерба, Д.К. Маков, В.І. Чибеліс.
Метод визначення напруги нульової послідовності трифазної мережі з корекцією похибки 17

А.В. Погудін, С.В. Губін, В.І. Білокін, Т.Ю. Іванова. Методи і засоби експериментальних досліджень електронагрівних двигунів космічних апаратів 24

В.Я. Гальченко, В.В. Тичков, А.В. Сторчак, Р.В. Трємбовецька. Відновлення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів при вихрострумівих вимірюваннях із наявністю апріорних даних. Формування вибірки для побудови сурогатної моделі 35

Вимірювання механічних величин

О.І. Вінніченко, П.І. Несажмаков, А.В. Омельченко, О.В. Федоров, В.Ф. Болюх.
Аналіз впливів сейсмічних завад на результати вимірювання прискорення вільного падіння балістичними лазерними гравіметрами 51

Вимірювання потоку, витрат, рівня, об'єму речовин та тиску

М.В. Кузь, Л.М. Заміховський, В.В. Склярів, Г.М. Кузь. Методологія та програмне забезпечення вимірювання питомих різниць об'ємів природного газу 62

Вимірювання часу та частоти

В.В. Солдатов, О.В. Дзисюк, В.М. Бойко, А.Б. Гаврилов, М.І. Світенко, Р.М. Рарог, А.М. Свистун, М.В. Матвієнко. Результати дослідної експлуатації підсистеми забезпечення єдиним часом військових споживачів на базі серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100 68

Інформація

Оголошення про набір на курси підвищення кваліфікації фахівців 79

Official section

Measurements for global trade. The message from the BIPM and BIML Directors on World Metrology Day – 20 May 2020 3

Measurements of electric and magnetic parameters

O. Velychko, T. Gordiyenko, K. Boriak.
Linking the Results of Inter-laboratory Comparisons for DC Electrical Resistance Measures. 4

I. Zakharov, O. Botsiura, V. Semenikhin.
Measurement uncertainty evaluation by kurtosis method at calibration of electrical resistance standards using a comparator 12

A. Shcherba, D. Makov, V. Chybelis. Method for determining the zero-sequence voltage of a three-phase network with error correction. 17

A. Pohudin, S. Gubin, V. Bilokin, T. Ivanova. Methods and means of the experimental research of the electrothermal arcjet thrusters of spacecrafts 24

V. Halchenko, V. Tychkov, A. Storchak, R. Trembovetska. Reconstruction of surface radial profiles of the electrophysical characteristics of cylindrical objects during eddy current measurements with a priori data. The selection formation for the surrogate model construction 35

Measurements of mechanical values

O. Vinnichenko, P. Neyezhnikov, A. Omelchenko, O. Fedorov, V. Bolyukh. Analysis of the effects of seismic interference on the measurement results of gravitational acceleration by ballistic laser gravimeters 51

Measurements of flow, consumption, level, volume of substance and pressure

M. Kuz, L. Zamikhovskiy, V. Skliarov, H. Kuz. Methodology and software for measuring the specific differences of the calculated volumes of natural gas. 62

Time and frequency measurements

V. Soldatov, O. Dzysiuk, V. Bojko, A. Gavrilov, M. Svitenko, R. Rarog, A. Svystun, M. Matvienko. The results of pilot operation of the subsystem of universal time provision for military consumers based on the precise time servers Microsemi Time Provider 4100. 68

Information

Announcement of the intake to the courses of advanced training of specialists 79

Measurement uncertainty evaluation by kurtosis method at calibration of electrical resistance standards using a comparator

I. Zakharov^{1,2}, O. Botsiura², V. Semenikhin¹

¹ National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine
kh1856ua@gmail.com

² Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine
newzip@ukr.net

Abstract

The article provides examples of the application of electrical resistance standards in metrological practice. Existing methods for their calibration are analyzed. It is established that calibration using a comparator is the most accurate and common method for calibrating electrical resistance standards.

A model for transferring the size of the resistance unit in calibration of electrical resistance standards using a comparator is considered. An expression is given for the evaluation of the value of measurand. The procedure for estimating the expanded measurement uncertainty based on the kurtosis method is described, and the uncertainty budget is drawn up. An example of evaluation of the measurement uncertainty in calibration of the resistance coil P321 using a resistance comparator P3015 is given. The coincidence of the obtained results with those got using the Monte Carlo method is shown.

Keywords: electrical resistance standard; resistance comparator; calibration; measurement uncertainty; uncertainty budget; kurtosis method; Monte-Carlo method.

Received: 24.02.2020

Edited: 16.03.2020

Approved for publication: 18.03.2020

Introduction

Electrical resistance standards (ERS) are widely used as precision resistors that are built into instruments and measuring systems, working and reference standards of electrical resistance used to verify (calibrate) digital ohmmeters, precision shunts and additional resistances, designed to expand the limits of measurement of electrical measuring instruments by current and voltage in direct and alternating current circuits up to a frequency of 1 MHz.

There are various methods for calibrating ERS: direct measurement using a digital ohmmeter, measurement using a DC bridge (direct measurement, measurement by substitution method and method of permutation), using a resistance comparator, using a voltage comparator or DC potentiometer [1]. Resistance comparator measurement is the most accurate and common method for calibrating ERS.

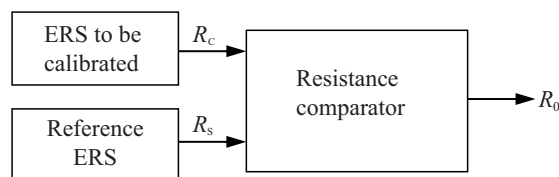
Clause 7.8.6 of ISO/IEC 17025:2017 [2] provides for the possibility of including a statement of conformity in the calibration certificate of a measuring instrument. In this case, the conclusion of conformity should be taken taking into account the expanded measurement uncertainty indicated in the certificate. Therefore, the level of risk associated with the applicable rule for deciding on compliance (clause 7.8.6.1 [1]) will depend on the reliability of the expanded uncertainty evaluation.

It was shown in [3] that it is possible to ensure a high reliability of the expanded uncertainty evaluation using the kurtosis method.

The purpose of the article is to create a procedure for measurement uncertainty evaluation by the kurtosis method at calibration of an ERS using a comparator.

Statement of the main material

Calibration of ERS using a comparator is performed in accordance with the block scheme shown in Fig. [4].



Block scheme of comparison of ERS to be calibrated and reference ERS using a comparator

The resistance value of the ERS to be calibrated R_c is obtained as a result of calibration on the basis of the measurement model (equation) [4]:

$$R_c = (R_s + \Delta_s) + (R_0 + \Delta_0), \quad (1)$$

where R_s is resistance of the reference ERS; Δ_s is correction for the instability of the reference ERS during the inter-calibration interval; R_0 is quantity indicated by

the comparator; Δ_0 is correction for the temperature error of the comparator.

The resistance value of the reference measure \bar{R}_s is taken from its calibration certificate. The value \bar{R}_0 is determined by the results n of the comparator δ_{0i} , %:

$$\bar{R}_0 = \frac{\hat{R}_s}{n \cdot 100} \sum_{i=1}^n \delta_{0i}. \quad (2)$$

$$u(\hat{R}_c) = \sqrt{u_B^2(\hat{R}_s) + u_B^2(\hat{\Delta}_s) + u_A^2(\bar{R}_0) + u_B^2(\hat{R}_0) + u_B^2(\hat{\Delta}_0)}, \quad (4)$$

where $u^2(\hat{R}_s)$ is standard uncertainty of type B of the reference ERS, which is calculated through the value of the expanded uncertainty $U(\hat{R}_s)$, and the coverage factor taken from its calibration certificate:

$$u(\hat{R}_s) = U(\hat{R}_s)/k_s; \quad (5)$$

$u_B(\hat{\Delta}_s)$ is standard uncertainty of type B due to the instability of the reference ERS during the calibration interval, which is found through the value of the relative boundaries of this instability δ_s under the assumption of a uniform distribution of instability within the boundaries:

$$u(\hat{\Delta}_s) = \delta_s \frac{\hat{R}_s}{\sqrt{3} \cdot 100}; \quad (6)$$

$u_A(\bar{R}_0)$ is type A standard uncertainty due to variability of comparator readings δ_{0i} :

$$u_A(\bar{R}_0) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\delta_{0i} \frac{\hat{R}_s}{100} - \bar{R}_0)^2}; \quad (7)$$

$u_B(\hat{R}_0)$ is the standard uncertainty of type B, due to the correction for the main error of the comparator, is determined from the expression for the relative boundaries of this error γ_0 , taken from the technical description of the comparator under the assumption of a uniform distribution within the boundaries:

$$u_B(\hat{R}_0) = \gamma_0 \frac{\bar{R}_0}{\sqrt{3} \cdot 100}; \quad (8)$$

$u_B(\hat{\Delta}_0)$ is standard uncertainty of type B, due to the correction for the temperature error of the comparator, is determined $u_B(\hat{R}_0)$ by the deviation of the ambient temperature t_{amb} from 20 °C by the formula:

$$u_B(\hat{\Delta}_0) = \frac{|t_{amb} - 20^\circ\text{C}|}{10^\circ\text{C}} u_B(\hat{R}_0). \quad (9)$$

Since corrections Δ_s, Δ_0 are centered quantities, therefore their estimates $\hat{\Delta}_s, \hat{\Delta}_0$ are zero.

Measured value \hat{R}_c are found by substituting in (1) estimates of input quantities:

$$\hat{R}_c = \hat{R}_s + \bar{R}_0. \quad (3)$$

Standard uncertainty of the measured quantity $u(R_c)$ (combined standard uncertainty) will be determined through standard uncertainties of the input quantities included in (1) from the expression:

Expanded uncertainty is calculated by the formula:

$$U(\hat{R}_c) = k \cdot u_c(\hat{R}_c), \quad (10)$$

where k is coverage factor determined by the kurtosis method according to the formula [3]:

$$k = \begin{cases} 0,12\eta^3 + 0,1\eta + 2, & \text{at } \eta < 0; \\ 2, & \text{at } \eta \geq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Here η is the kurtosis of the measurand, which is calculated as:

$$\eta = \left(\sum_{i=1}^m \eta_j u_j^4(y) \right) / u_c^4(y), \quad (12)$$

where $u_j(y)$ and η_j are contribution of uncertainty of j -th input quantity into the uncertainty of the measurand and its kurtosis, respectively. The values of kurtosis for different distribution laws are given in [3].

The uncertainty budget for this case is given in Table 1.

As an example, let's consider the calibration of an ERS of 1 Ω resistance, type P321, class 0,01 by comparison with the working standard P321 of 1,000020 Ω and an expanded uncertainty of 0,00001 Ω taken from a calibration certificate using a resistance comparator P3015 at an ambient temperature of 23 °C.

The comparator readings δ_{0i} , % [4] are:
0,00295; 0,00315; 0,00323; 0,00356; 0,00319;
0,00282; 0,00298; 0,00304; 0,00298; 0,00295.

Let's determine the standard uncertainty of type B of the reference ERS $u_B(\hat{R}_s)$ through its expanded uncertainty $U(\hat{R}_s) = 0,00001 \Omega$ and coverage factor $k_s = 2$ by the formula (5):

$$u_B(\hat{R}_s) = \frac{0,00001\Omega}{2} = 0,000005 \Omega.$$

Standard uncertainty due to instability of the reference ERS during the calibration interval $u_B(\hat{\Delta}_s)$

Table 1

Measurement uncertainty budget for ERS calibration using a comparator

Input quantity	Input quantity estimate	Standard uncertainty	Kurtosis of input quantity	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution
R_s	\widehat{R}_s	(5)	0	1	(5)
Δ_s	0	(6)	-1,2	1	(6)
R_0	(2)	(7)	$6/(n-5)$	1	(7)
		(8)	-1,2	1	(8)
Δ_0	0	(9)	-1,2	1	(9)
Measurand	Measurand estimate	Combined standard uncertainty	Kurtosis of measurand	Coverage factor	Expanded uncertainty
R_c	(3)	(4)	(12)	(11)	(10)

we find through the value of the relative boundaries of this instability $\delta_H = 0,002 \%$ to the formula (6):

$$u_B(\Delta_s) = 0,002 \frac{1,00002}{\sqrt{3} \cdot 100} = 0,0000115 \Omega.$$

Value \overline{R}_0 , calculated by comparator (Table 2) to the formula (2), amounted to $0,0000309 \Omega$, and its standard uncertainty of type A, calculated by the formula (7) is equal to $u_A(\overline{R}_0) = 0,00000066 \Omega$.

The standard uncertainty of type B due to the correction for the main error of the comparator $u_B(R_0)$ is determined by the formula (8) through the expression for the relative boundaries of this error $\gamma_0 = 0,003 + 0,001 \cdot \overline{\delta}_0$, taken from the technical description on the comparator, in which $\overline{\delta}_0 = 0,00309 \%$. In this case $\gamma_0 = 0,003003 \%$ and $u_B(R_0) = 0,0000173 \Omega$.

Standard uncertainty of type B, due to the correction for the temperature non-excluded systematic error of the comparator $u_B(\widehat{\Delta}_0)$ will be determined through

$u_B(\widehat{R}_0)$ and the deviation of the ambient temperature of $23 \text{ }^\circ\text{C}$ from $20 \text{ }^\circ\text{C}$ according to the formula (9):

$$u_B(\widehat{\Delta}_0) = \frac{3}{10} 0,0000173 = 0,0000052 \Omega.$$

The uncertainty budget for this case is given in Table 2.

The combined standard uncertainty of the measurement of the resistance of the ERS to be calibrated, calculated by the formula (2), will be equal to $0,000022 \Omega$.

The kurtosis of the measurand is calculated by the formula (12):

$$\eta = \left(\sum_{j=1}^m \eta_j u_j^4(y) \right) / u_c^4(y) = -0,555.$$

Coverage factor, corresponding to this kurtosis for a coverage level of 0,9545 will be 1,92 based on the formula (11).

Table 2

Measurement uncertainty budget for calibrating ERS P321 using comparator P3015

Input quantity	Input quantity estimate, Ω	Standard uncertainty, Ω	Kurtosis of input quantity	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution, Ω
R_s	1,00002	0,000005	0	1	0,000005
Δ_s	0	0,0000115	-1,2	1	0,0000115
R_0	0,0000309	0,00000066	1,2	1	0,00000066
		0,0000173	-1,2	1	0,0000173
Δ_0	0	0,0000052	-1,2	1	0,0000052
Measurand	Measurand estimate, Ω	Combined standard uncertainty, Ω	Kurtosis of measurand	Coverage factor	Expanded uncertainty, Ω
R_c	1,0000509	0,000022	-0,555	1,92	0,0000423

The expanded uncertainty calculated by formula (11) is:

$$U(R_c) = 1,92 \cdot 0,000022 = 0,0000423 \Omega.$$

The study of the results obtained by the Monte-Carlo method [6] is carried out. The estimates of the measurand $R_c = 1,0000509 \Omega$, expanded uncertainty $0,0000422 \Omega$ and coverage factor $1,91$ are obtained.

Conclusions

1. Calibration laboratories accredited for compliance with the requirements of the ISO/IEC 17025:2017 standard should evaluate the measurement uncertainty when performing calibrations. For this purpose, they need to develop a procedure for evaluation of the

measurement uncertainty, which should provide reliable estimates in order to reduce risks in conformity assessment.

2. A procedure for evaluating the uncertainty based on the kurtosis method during calibration of the electrical resistance standard has been proposed; an uncertainty budget has been drawn up, which can serve as the basis for creating a software tool for automating the measurement uncertainty evaluation during calibration.

3. The results of calibration of ERS of type P321, 1Ω resistance, accuracy class 0,01 using a working measurement standard are considered, the measurement uncertainty evaluation is carried out. The coincidence of the obtained results with those got using the Monte-Carlo method is shown.

Оцінювання невизначеності вимірювань методом ексцесів під час калібрування мір електричного опору за допомогою компаратора

І.П. Захаров^{1,2}, О.А. Боцюра², В.С. Семеніхін¹

¹ Національний науковий центр "Інститут метрології", вул. Мироносицька, 42, 61002, Харків, Україна
kh1856ua@gmail.com

² Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна
newzip@ukr.net

Анотація

Наведено приклади застосування мір електричного опору в метрологічній практиці. Аналізуються існуючі методи їх калібрування. Встановлюється, що калібрування за допомогою компаратора є найбільш точним та поширеним методом калібрування мір електричного опору. Зазначається, що стандарт ISO/IEC 17025:2017 передбачає можливість включення в сертифікат калібрування висновку про відповідність засобу вимірювання метрологічним вимогам. Оскільки висновок про відповідність має прийматися з урахуванням зазначеної в сертифікаті розширеної невизначеності вимірювань, тому від достовірності її оцінювання буде залежати рівень ризику, пов'язаного із застосовуваним правилом прийняття рішення про відповідність. Пропонується оцінювати розширену невизначеність за допомогою методу ексцесів, який враховує закони розподілу вхідних величин.

Розглянуто модель передачі розміру одиниці опору при калібруванні мір електричного опору за допомогою компаратора. Наведено вираз для оцінювання значення вимірюваної величини. Складено модельне рівняння, записані формули для оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин за типом А і В та формула для оцінювання сумарної стандартної невизначеності. Описано процедуру оцінювання розширеної невизначеності вимірювань на основі методу ексцесів, складено бюджет невизначеності.

Наведено приклад оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні котушки електричного опору P321 за допомогою компаратора опору P3015. Оцінено значення опору котушки, що калібрується, сумарна стандартна та розширена невизначеності, коефіцієнт охоплення рівня довіри 0,9545. Показано збіг отриманих результатів із результатами, які отримані за допомогою методу Монте-Карло.

Ключові слова: міра опору; компаратор опору; калібрування; невизначеність вимірювання; бюджет невизначеності; метод ексцесів; метод Монте-Карло.

Оценивание неопределенности измерений методом эксцессов при калибровке мер электрического сопротивления с помощью компаратора

И.П. Захаров^{1,2}, О.А. Боцюра², В.С. Семенихин¹

¹ Национальный научный центр "Институт метрологии", ул. Митрофановская, 42, 61002, Харьков, Украина
kh1856ua@gmail.com

² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, 61166, Харьков, Украина
newzip@ukr.net

Аннотация

Анализируются существующие методы их калибровки. Устанавливается, что калибровка с помощью компаратора является наиболее точным и распространенным методом калибровки мер электрического сопротивления.

Рассмотрена модель передачи размера единицы сопротивления при калибровке мер электрического сопротивления с помощью компаратора. Приведено выражение для оценки значения измеряемой величины. Описана процедура оценивания расширенной неопределенности измерений на основе метода эксцессов, составлен бюджет неопределенности. Приведен пример оценки неопределенности измерений при калибровке катушки сопротивления P321 с помощью компаратора сопротивления P3015. Оценены значения сопротивления калибруемой катушки, суммарная стандартная и расширенная неопределенности, коэффициент охвата для уровня доверия 0,9545. Показано совпадение полученных результатов с результатами, полученными с помощью метода Монте-Карло.

Ключевые слова: мера сопротивления; компаратор сопротивления; калибровка; неопределенность измерения; бюджет неопределенности; метод эксцессов; метод Монте-Карло.

References

1. DSTU GOST 8.237:2008 (GOST 8.237:2003, IDT). Single-value electrical resistance measures: Verification procedure, Kyiv, 2009. 25 p. (in Ukrainian).
2. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organization for Standardization, 2017. 38 p.
3. Zakharov I.P., Botsyura O.A. Calculation of Expanded Uncertainty in Measurements Using the Kurtosis Method when Implementing a Bayesian Approach. *Measurement Techniques*, 2019, vol. 62(4), pp. 327–331. doi: 10.1007/s11018-019-01625-x
4. Zakharov I.P., Vodotyka S.V., Shevchenko E.N. Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration. *Measurement Techniques*, July, 2011, vol. 54, no. 4, pp. 387–399.
5. Volkov O.O., Zakharov I.P. Evaluation of measurement uncertainty during verification of a single-value standards of electrical resistance with help of comparator. *Information Processing Systems*, 2012, no 1(99), pp. 130–133 (in Russian).
6. Zakharov I.P., Vodotyka S.V. Application of Monte Carlo simulation for the evaluation of measurements uncertainty. *Metrology and Measurement Systems*, 2008, vol. 15, no. 1, pp. 118–123.