

УДК 621.317.732

О.О. Волков¹, И.П. Захаров², А.Н. Лапченко¹

¹ГП «Донецкстандартметрология», Донецк, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОВЕРКЕ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОЗНАЧНЫХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Обсуждаются проблемы оценивания неопределенности в отечественных поверочных лабораториях. Рассмотрена модель передачи размера единицы сопротивления при поверке многозначных мер на постоянном токе, описана процедура оценивания неопределенности измерений, приводится бюджет неопределенности. Описан пример оценивания неопределенности измерений при поверке магазина сопротивлений с помощью цифрового омметра.

Ключевые слова: магазин сопротивлений, поверка, калибровка, неопределенность измерения, бюджет неопределенности.

Введение

Постановка проблемы. Оценивание неопределенности измерений в аккредитованных испытательных лабораториях регламентировано международным стандартом ISO 17025:2005 [1]. Прослеживаемость результатов измерений, проводимых в испытательных лабораториях к единицам SI должны обеспечивать аккредитованные калибровочные лаборатории. В Украине долгие годы передачей размера единиц занимались (и занимаются в настоящее время) территориальные органы Госстандарта – центры метрологии стандартизации и сертификации (ЦСМС), которых вместе с филиалами насчитывается более 40. Однако, если на сегодняшний день в НААУ зарегистрировано около 400 испытательных лабораторий, то калибровочных было аккредитовано всего 4, из которых в настоящее время сохранила аккредитацию только одна – калибровочная лаборатория ГП «ДОНОРГРЕС». Такое положение дел обусловлено, в первую очередь, законодательством Украины в области метрологии. Так, средства измерительной техники (СИТ) на которые распространяется государственный метрологический надзор должны подлежать обязательной поверке¹, а СИТ, на которые не распростра-

няется государственный метрологический надзор – калибровке². При этом термин «калибровка» в Законе о метрологии и метрологической деятельности [2], существенно отличается от аналогичного термина в Международном словаре общих и основных терминов в области метрологии [3]³.

Для урегулирования этой ситуации и «гармонизации» требований международной и отечественной законодательных баз, многие испытательные лаборатории, вынужденные поверять средства измерительной техники (СИТ) в ЦСМС, тем не менее, требуют указывать в свидетельствах о поверке оценку неопределенности проводимых при этом измерений. Требования заказчиков заставляют ЦСМС разрабатывать процедуры оценивания неопределенности измерений при поверке СИТ.

Анализ последних достижений и публикаций.

Следует отметить, что измерения, выполняемые при поверке СИТ практически идентичны измерениям, выполняемым при их калибровке, а различия между

² Калибровка СИТ – визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик СИТ.

³ Калибровка – операция, с помощью которой при заданных условиях, на первом этапе устанавливают соотношение между значениями величины с неопределенностями измерений, которую обеспечивают эталоны, и соответствующим показаниями вместе со связанными с ними неопределенностями, а на втором этапе используют эту информацию, чтобы установить соотношение, позволяющее получить результат измерения исходя из показания».

¹ Поверка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) – встановлення придатності ЗВТ, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик.

этим метрологическими операциями заключается в дальнейшем использовании результатов этих измерений. В проекте нового Закона о метрологии и метрологической деятельности определение понятия «калибровка» приближено к определению, приведенному в [3]⁴. С учетом этого, основой для разработки процедур оценивания неопределенности может служить руководство ЕА-4/02 [4], которое регламентирует порядок оценивания неопределенности измерений при калибровках и разработано специально для калибровочных лабораторий. Однако этот документ, по существу, описывает базовый алгоритм оценивания неопределенности на основе GUM [5], не касаясь специфики калибровок и не рассматривая основной этап оценивания неопределенности – составление модельного уравнения, адекватность которого применяемому методу определяет корректность всего дальнейшего процесса оценивания неопределенности измерений. Вопрос составления модельного уравнения при калибровках подробно рассмотрен в статье [6], которая была взята за основу составления процедуры оценивания неопределенности измерений при поверке мер электрического сопротивления многозначных, применяемых в цепях постоянного тока.

Целью статьи является рассмотрение процедуры оценивания неопределенности измерений при поверке (калибровке) мер электрического сопротивления многозначных, применяемых в цепях постоянного тока.

Изложение основного материала

Поверка многозначных мер электрического сопротивления (ММЭС) применяемых в цепях постоянного тока проводится в соответствии с МИ 1695-87 [7].

Определение действительных значений сопротивлений ММЭС производится одним из двух способов: способом поэлементной поверки или способом комплектной поверки. Способ поэлементной поверки заключается в раздельном определении сопротивлений всех ступеней декад ММЭС. Способом комплектной поверки определяют действительные значения сопротивлений каждой декады при всех показаниях (или наименьших) показаниях всех остальных декад.

Схема поверки приведена на рис. 1.

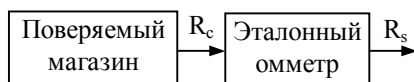


Рис. 1. Схема прямого измерения эталонным омметром величины, воспроизводимой поверяемой мерой

⁴ Калібрування ЗВТ – сукупність операцій, за допомогою якої встановлюють за заданих умов співвідношення між значеннями величини, які забезпечують еталони з притаманними їм невизначеностями вимірювання, і відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань.

Модельное уравнение в этом случае имеет вид:

$$\Delta = R_c - (R_s + \Delta_s), \quad (1)$$

где Δ – систематическая погрешность магазина в поверяемой точке; R_c – номинальное значение поверяемого значения сопротивления магазина; R_s – значение, измеренное эталонным омметром; Δ_s – поправка на неисключенную систематическую погрешность (НСП) омметра в поверяемой точке.

Значение R_s определится по результатам многократных измерений:

$$R_s = \bar{R}_s \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{si}. \quad (2)$$

Суммарная неопределенность измерений при поверке (калибровке) будет равна

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u_A^2(\bar{R}_s) + u^2(\Delta_s)}, \quad (3)$$

где стандартная неопределенность среднего арифметического значения результатов n измерения сопротивления (тип А) будет равна:

$$u_A(\bar{R}_s) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_{si} - \bar{R}_s)^2}, \quad (4)$$

а неопределенность $u(\Delta_s)$ будет определяться по типу В через границы НСП θ омметра в предположении равномерного распределения НСП внутри границ:

$$u_B(\Delta_s) = \frac{\theta}{\sqrt{3}}, \quad (5)$$

причем границы НСП θ рассчитываются через пределы допустимого значения относительной погрешности δ_R , указанные в паспорте на прибор по формуле:

$$\theta = \frac{\delta_R \cdot \bar{R}_s}{100}. \quad (6)$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле:

$$U(\Delta) = k \cdot u_c(\Delta), \quad (7)$$

где k – коэффициент охвата, определяемый как коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95 и эффективного числа степеней свободы, рассчитываемого по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \left[\frac{u_c(\Delta)}{u_A(\bar{R}_s)} \right]^4. \quad (8)$$

Бюджет неопределенности для этого случая приведен в табл. 1.

Рассмотрим поверку ММЭС типа Р33 кл. 0,2 имеющего диапазон от 0,1 до 99999,9 Ома, с помощью рабочего эталона омметра цифрового типа ЦЦ306-1, используя способ комплектной поверки в диапазоне от 1000 Ом до 9000 Ом.

Таблиця 1

Бюджет неопределенности измерения при поверке магазина сопротивлений

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность	Число степеней свободы	Вклад неопределенности
R_c	R_c	–	–	–
R_s	(2)	(4)	$n-1$	$u_A(\bar{R}_s)$
Δ_s	0	(5), (6)	∞	$u(\Delta_s)$
Выходная величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Расширенная неопределенность
Δ	(1)	(3)	(8)	(7)

Предел допускаемого значения относительной основной погрешности омметра Ц306-1 в указанном диапазоне при измерении с усреднением составляет

$$\delta_R = \pm \left[0,005 + 0,001 \left(\frac{R_k}{R_s} - 1 \right) \right], \quad (9)$$

где $R_k = 10$ кОм.

Результаты 10-кратного измерения сопротивления магазина в точке 9 кОм приведены в табл. 2

Таблиця 2

Результаты 10-кратного измерения сопротивления магазина, кОм

9,00075	9,00074	9,00073	9,00073	9,00074
9,00073	9,00075	9,00074	9,00073	9,00074

По формуле (2) вычислим оценку результата измерения сопротивления $\bar{R}_s = 9,000738$ кОм.

Оценка результат измерения Δ при поверке будет равна (1):

$$\Delta = 9 - (9,000738 + 0) = -0,000738 \text{ кОм.}$$

Стандартная неопределенность среднего арифметического значения результатов измерения сопротивления (тип А), вычисленная по формуле (4), равна $u_A(\bar{R}_s) = 0,0000025$ кОм.

Пределы допускаемого значения относительной погрешности определим по формуле (9):

$$\delta_R = \pm \left[0,005 + 0,001 \left(\frac{9}{9,000738} - 1 \right) \right] = \pm 0,0051 \text{ \%}.$$

Вычислим границы НСП θ омметра по формуле (6):

$$\Theta = \frac{0,005111 \cdot 9,000738}{100} = 0,00046 \text{ кОм.}$$

Рассчитаем неопределенность измерения сопротивления магазина в поверяемой точке по формуле (5):

$$u_B(\Delta_s) = \frac{\theta}{\sqrt{3}} = 0,0002656 \text{ кОм.}$$

Вычислим суммарную стандартную неопределенность через вклады неопределенности входной величины по формуле (3):

$$u_c(\bar{R}_s) = \sqrt{0,0000025^2 + 0,0002656^2} = 0,0002656 \text{ кОм.}$$

Эффективное число степеней свободы рассчитаем по формуле (8):

$$v_{\text{eff}} = (10-1) \left[\frac{0,0002656}{0,0000025} \right]^4 \approx \infty.$$

Коэффициент Стьюдента для $v_{\text{eff}} = \infty$ и доверительной вероятности $P = 0,95$ равен 1,96, поэтому расширенная неопределенность, вычисленная по формуле (7) будет равна :

$$U = 1,96 \cdot 0,0002656 = 0,000521 \text{ кОм.}$$

Бюджет неопределенности результата измерения Δ при поверке приведен в табл. 3.

Результат измерений запишем в виде:

$$\Delta = (-0,00074 \pm 0,00052) \text{ кОм; } P = 0,95.$$

Таблиця 3

Бюджет неопределенности результата измерения Δ при поверке

Входная величина	Оценка входной величины, кОм	Стандартная неопределенность, кОм	Число степеней свободы	Вклад неопределенности, кОм
R_c	9,0	–	–	–
R_s	9,000738	0,0000025	9	0,0000025
Δ_s	0	0,0002656	∞	0,0002656
Выходная величина	Оценка выходной величины, кОм	Суммарная стандартная неопределенность, кОм	Эффективное число степеней свободы	Расширенная неопределенность, кОм
Δ	-0,000738	0,0002656	∞	0,00052

Аналогичные измерения и вычисления были проведены для значений сопротивления Ом: 8000; 7000; 6000; 5000; 4000; 3000; 2000; 1000, без изменения предела измерения омметра Ц306-1.

При этом получаем следующие результаты, приведенные в табл. 4.

Таблиця 4

Результаты оценивания неопределенности измерений при поверке магазина сопротивлений в диапазоне 1–9 кОм

R_c , кОм	Δ , кОм	$U(\Delta)$, кОм
9	-0,00074	0,00052
8	-0,00139	0,00047
7	-0,00156	0,00043
6	-0,00223	0,00038
5	-0,00244	0,00034
4	-0,00311	0,00029
3	-0,00415	0,00025
2	-0,00481	0,00020
1	-0,00535	0,00016

Эта зависимость представлена на рис. 2.

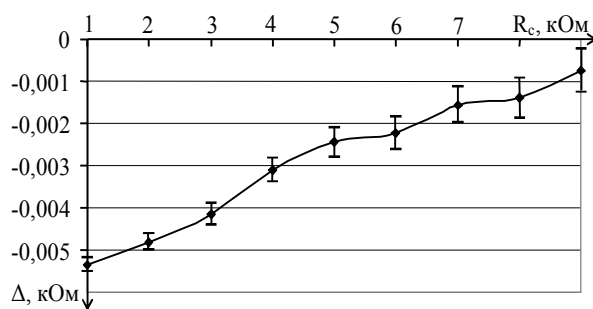


Рис. 2. Зависимость погрешности Δ магазина Р33 от его номинального значения R_c с соответствующими неопределенностями измерения

Выводы

1. Поверочные лаборатории ЦСМС в соответствии с требованиями [заказчика – аккредитованными по ISO 17025:2005 испытательными лабораториями, вынуждены оценивать неопределенность измерений, проводимых при поверке СИТ. С этой

целью им необходимо разработать процедуру оценивания неопределенности измерений при поверке, которая в дальнейшем (после аккредитации лаборатории в качестве калибровочной по ISO 17025:2005) может быть использована как процедура оценивания неопределенности при калибровке.

2. Рассмотрена процедура оценивания неопределенности при поверке магазина сопротивлений на постоянном токе, составлен бюджет неопределенности, который может служить основой для создания программного средства для автоматизации оценивания неопределенности измерений при поверке (калибровке).

3. Исследование неопределенности измерений, проводимых при поверке магазина сопротивлений Р33 с помощью цифрового омметра Ц306-1 в диапазоне одной декады выявило линейную зависимость значений расширенной неопределенности от величины поверяемого сопротивления.

Список литературы

1. ISO/IEC 17025:2005 General requirement for the competence of testing and calibrating laboratories.
2. Закон України №1765-IV "Про внесення змін до Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 15.06.04.
3. Guide 99. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). First edition. ISO/IEC. – 2007. – 146 p.
4. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. – EA, 1999. – 79 p.
5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Geneva, First Edition. – 1995 – 101 p..
6. Захаров И.П. Оценивание неопределенности измерений при проведении калибровок / И.П. Захаров // Метрологія та прилади. – 2007. – № 1. – С. 31-42.
7. МИ 1695-87. ГСИ. Меры электрического сопротивления многозначные, применяемые в цепях постоянного тока. Методика поверки.

Поступила в редколлегию 23.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПІД ЧАС ПОВІРКИ МІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ БАГАТОЗНАЧНИХ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У КОЛАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

О.О. Волков, І.П. Захаров, А.М. Лапченко

Обговорюються проблеми оцінювання невизначеності у вітчизняних повірочних лабораторіях. Розглянуто модель передачі розміру одиниці опору при повірці багатозначних мір на постійному струмі, описано процедуру оцінювання невизначеності вимірювань, наводиться бюджет невизначеності. Описано приклад оцінювання невизначеності вимірювань під час повірки магазину опорів за допомогою цифрового омметра.

Ключові слова: магазин опорів, повірка, калібрування, невизначеність вимірювання, бюджет невизначеності.

EVALUATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY DURING VERIFICATION OF ELECTRIC RESISTANCE MULTIVALUED USED IN DC

O.O. Volkov, I.P. Zakharov, A.N. Lapchenko

The problems of uncertainty evaluation in the national testing laboratories are discussing. A model of the transmission unit size for resistance testing of multi-valued measures on DC was considered, the procedure for evaluation of measurement uncertainty is described, the uncertainty budget is given. An example of the evaluation of measurement uncertainty in the verification of resistance box with a digital ohmmeter was described.

Key words: resistance box, verification, calibration, measurement uncertainty, uncertainty budget.