

УДК 621.317.732

О.О. Волков¹, И.П. Захаров²¹ГП «Донецкстандартметрология», Донецк²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

Рассмотрена модель передачи размера единицы электрического сопротивления при калибровке однозначных мер на постоянном токе косвенным образом через падение напряжения, описана процедура оценивания неопределенности измерений, приводится бюджет неопределенности. Описан пример оценивания неопределенности измерений при калибровке мер сопротивлений с помощью потенциометра.

Ключевые слова: мера сопротивления, калибровка, неопределенность измерения.

Введение

Начавшийся процесс аккредитации калибровочных лабораторий в Украине на соответствие требованиям стандарта ISO/IEC 17025 [1] обуславливает необходимость разработки методик калибровки, одним из разделов которых является процедура оценивания неопределенности измерений. Для калибровки мер электрического сопротивления (МЭС) применимы различные методы измерений: прямое измерение с помощью цифрового омметра, измерение с помощью моста постоянного тока, нулевым методом с помощью компаратора сопротивлений, косвенным методом через измерение падений напряжения на эталонном и калибруемом резисторах [2]. Последний метод может быть реализован двумя способами: с помощью компаратора напряжений или потенциометра постоянного тока. Поскольку в настоящее время стандартизованные процедуры оценивания неопределенности измерений при калибровках МЭС отсутствуют, целью настоящей статьи является рассмотрение процедуры неопределенности измерений при калибровке МЭС косвенным методом.

Изложение основного материала

Косвенное измерение сопротивления реализуется через измерение отношения падений напряжения на измеряемом и образцовом резисторах (рис. 1).

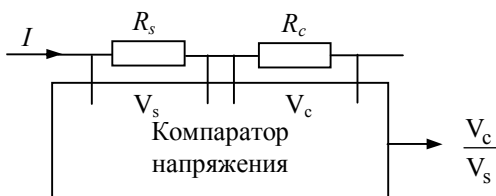


Рис. 1. Схема измерения сопротивления МЭС косвенным методом

Калибруемую R_c и эталонную R_s МЭС подключают последовательно в цепь тока I (который должен быть стабильным в течение измерений) и измеряют падение напряжения на них V_c и V_s с помощью компаратора напряжений или потенциометра.

Модельное уравнение в этом случае имеет вид:

$$R_c = R_s \frac{V_c}{V_s}, \quad (1)$$

а суммарная стандартная неопределенность измерения определяется из выражения:

$$u^2(R_c) = \left(\frac{V_c}{V_s}\right)^2 \left[u^2(R_s) + u^2(\Delta_s) \right] + \frac{R_s^2}{V_s^2} u^2(V_c) + \frac{R_s^2 V_c^2}{V_s^4} u^2(V_s), \quad (2)$$

где $u(R_s)$ – стандартная неопределенность эталонной меры, рассчитанная через значение расширенной неопределенности, указанной в сертификате калибровки;

$u(\Delta_s)$ – стандартная неопределенность, вызванная поправкой на нестабильность Δ_s эталонной МЭС в течение межкалибровочного интервала;

$u(V_c)$ и $u(V_s)$ – стандартные неопределенности измерения напряжений V_c и V_s , соответственно.

Расширенная неопределенность измерения в этом случае будет равна:

$$U(R_c) = k u(R_c), \quad (3)$$

где k – коэффициент охвата.

Бюджет неопределенности измерения при калибровке сопротивления с помощью компаратора напряжения представлен в табл. 1.

Рассмотрим пример оценивания неопределенности измерений при калибровке однозначной МЭС Р321 с номинальным сопротивлением 1000 Ом с помощью откалиброванной однозначной МЭС с действительным значением 1000,006 Ом и расширенной неопределенностью 0,01 Ом, приспанными в сертификате калибровки.

Таблица 1

Бюджет неопределенности измерения при калибровке сопротивления косвенным методом

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
R_s	\hat{R}_s	$u(R_s)$	V_c/V_s	$u(R_s)V_c/V_s$
Δ_s	0	$u(\Delta_s)$	V_c/V_s	$u(\Delta_s)V_c/V_s$
V_c	\hat{V}_c	$u(V_c)$	R_s/V_s	$u(V_c)R_s/V_s$
V_s	\hat{V}_s	$u(V_s)$	$-\frac{R_s V_c}{V_s^2}$	$-u(V_s)\frac{R_s V_c}{V_s^2}$
Выходная величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	(1)	(2)	k	(3)

Для измерения напряжений используем потенциометр Р345, обеспечивающий измерение напряжений от 10^{-8} до 2,12111 В (рис. 2).

Регулировка тока в цепи измеряемого и образцового сопротивлений в диапазоне от 10^{-6} до 10 А осуществляется с плавностью не хуже 0,001 %.



Рис. 2. Органы управления потенциометра Р345

Допустимые токи, протекающие через эталонный или калибруемый резистор, и падения напряжения на них приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры токов и напряжений потенциометра

R, Ом	$I_{ном}$, А	$I_{макс}$, А	$U_{ном}$, В	$U_{макс}$, В
0,001	10	32	0,01	0,032
0,01	5,5	17	0,055	0,17
0,1	1	3,2	0,1	0,32
1	0,32	1	0,32	1
10	0,1	0,32	1	3,2*
100	0,032	0,1	3,2*	10*
1000	0,01	0,032	10*	32*
10000	0,0032	0,01	32*	100*
100000	0,001	0,0032	100*	320*

*Максимальное напряжение входов 2,12111 В

Показания потенциометра устанавливаются с помощью двух независимых рядов декадных переключателей, что позволяет производить поочередное уравнивание двух неизвестных напряжений и затем быстро производить повторные измерения каждого из них без изменения положения переключателей. Допустимая погрешность показаний потенциометра не превышает значений, определяемых по формуле:

$$\theta_V = (10V + 0,04) \cdot 10^{-6} \text{ В,}$$

где V – измеряемое напряжение в вольтах.

Следует специально отметить, что в компенсационном методе измерение проводится в момент отсутствия тока в измерительной цепи.

Это позволяет исключить в ней влияние сопротивления измерительных проводов.

Для исключения остаточных погрешностей от термоэлектродвижущих сил потенциометр имеет внутренний переключатель направления тока, позволяющий одновременно изменять направления тока всех батарей и полярность подключения измеряемого напряжения.

Результаты измерений приведены в табл. 3.

При составлении бюджета неопределенности не учитывалась стандартная неопределенность, вызванная поправкой на нестабильность Δ_s эталонной МЭС в течение межкалибровочного интервала.

Анализ вкладов неопределенности в табл. 3 показывает, что вкладом, обусловленным неопреде-

ленностью калибровки эталонного резистора, можно пренебречь, поскольку он на порядок меньше двух других вкладов, обусловленных измерением падений напряжений на эталонном и калибруемом резисторах.

Эти вклады неопределенности равны и распределены равномерно. Поэтому закон распределения измеряемой величины можно принять треугольным, как композицию законов распределения доминирующих вкладов.

С учетом этих обстоятельств результат калибровки можно записать следующим образом:

$$R_c = (1000,011 \pm 0,016) \text{ Ом}, \quad p = 0,95.$$

Таблица 3

Бюджет неопределенности измерения при калибровке ОМЭС 1000 Ом с помощью потенциометра напряжения

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности, Ом
R_s	1000,006 Ом	0,0058 Ом	0,999995	0,00058
V_c	1,000005 В	5,8 мкВ	1000,006 Ом/В	0,0058
V_s	1 В	5,8 мкВ	-1000,011 Ом/В	0,0058
Выходная величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	1000,011 Ом	0,0082 Ом	1,9	0,0156 Ом

Выводы

1. В работе проанализировано модельное уравнение, соответствующее косвенному измерению сопротивления калибруемого резистора с помощью компаратора (потенциометра) напряжения. Записан закон распространения неопределенности, составлен бюджет неопределенности измерений.

2. На основании результатов измерения потенциометром напряжения Р345 получено значение калибруемой МЭС и произведена оценка его неопределенности измерений при калибровке. Расширенная неопределенность для номинального значения меры 1000 Ом составила 0,016 Ом.

Список литературы

1. ISO/IEC 17025:2005 General requirement for the competence of testing and calibrating laboratories.
2. ДСТУ ГОСТ 8.237:2008. Метрологія. Міри електричного опору однозначні. Методика перевірки (ГОСТ 8.237-2003, IDT).
3. Потенциометр постоянного тока двухрядный самопроверяемый типа Р345. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Поступила в редколлегию 14.02.2013

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

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ МІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

О.О. Волков, І.П. Захаров

Розглянуто модель передавання розміру одиниці електричного опору під час калібрування однозначних мір постійного струму непрямим методом через падіння напруги, описана процедура оцінювання невизначеності вимірювань, наведено бюджет невизначеності. Описано приклад оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування мір опору за допомогою потенціометра.

Ключові слова: міра опору, калібрування, невизначеність вимірювання.

EVALUATION OF THE MEASUREMENT UNCERTAINTY IN THE CALIBRATION OF THE ELECTRICAL RESISTANCE MEASURE USING INDIRECT METHOD

O.O. Volkov, I.P. Zakharov

A model of the transmission value of the electrical resistance unit in the calibration single-valued dc measures using indirect method through the voltage drop was considered. The procedure evaluation of measurement uncertainty was described, the budget uncertainty is given. An example of measurement uncertainty evaluation in calibration resistance with a potentiometer is described.

Keywords: measure of the resistance, calibration, measurement uncertainty