

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева»**

**УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ –
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ ИМ.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»**

(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)

СОГЛАСОВАНО

Директор УНИИМ – филиала
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



Е.П. Собина

2025 г.

**«ГСИ. Измерители удельного электрического сопротивления полупроводниковых
материалов ВИК-УЭС. Методика поверки»**

**МП 14-223-2021
с изменением №1**

Екатеринбург
2025 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАНА

Уральским научно-исследовательским институтом метрологии – филиалом Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева» (УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)

2 ИСПОЛНИТЕЛИ

Заведующий лабораторией 223 Собина А.В., ведущий инженер лаборатории 223 Герасимова Н.Л.

3 СОГЛАСОВАНА

И.о. директора УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2021 г.

4 СОГЛАСОВАНА С ИЗМЕНЕНИЕМ №1

Директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения.....	4
2 Нормативные ссылки	5
3 Перечень операций поверки	5
4 Требования к условиям проведения поверки	6
5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку	6
6 Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	6
7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки.....	9
8 Внешний осмотр средства измерений	9
9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	9
10 Проверка программного обеспечения средства измерений	9
11 Определение метрологических характеристик средства измерений.....	10
12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11
13 Оформление результатов поверки	14
Приложение А.....	15

Государственная система обеспечения единства измерений.
Измерители удельного электрического сопротивления
полупроводниковых материалов ВИК-УЭС. Методика поверки

МП 14-223-2021
с изменением №1

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на измерители удельного электрического сопротивления полупроводниковых материалов ВИК-УЭС (далее – измерители ВИК-УЭС), изготавливаемые Обществом с ограниченной ответственностью «Разработка и изготовление измерительных систем (ООО «РИИС»)), и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

Измерители ВИК-УЭС предназначены для измерений удельного электрического сопротивления (УЭС) и удельного поверхностного электрического сопротивления (УПЭС) полупроводниковых материалов четырехзондовым методом с линейным расположением зондов.

(Измененная редакция, изменение № 1)

1.2 При проведении поверки в соответствии с локальной поверочной схемой для средств измерений удельного электрического сопротивления и удельного электрического поверхностного сопротивления образцов кремния монокристаллического, структура которой приведена в приложении А к настоящей методике, должна обеспечиваться прослеживаемость измерителей ВИК-УЭС к:

– Государственному первичному эталону электрического сопротивления (ГЭТ 14-2014) в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 30 декабря 2019 г. № 3456 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока»,

– Государственному первичному эталону единицы длины – метра (ГЭТ 2-2010) в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2018 № 2840 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм».

(Измененная редакция, изменение № 1)

1.3 В настоящей методике поверки реализована поверка методом прямых измерений с помощью:

– рабочих эталонов не ниже 4-го разряда согласно государственной поверочной схеме для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока (в диапазоне УЭС от 150 Ом·см до 105 000 Ом·см; в диапазонах УПЭС от 0,01 Ом до 150 Ом и от 2000 Ом до 450 000 Ом);

– стандартных образцов утвержденного типа удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического согласно локальной поверочной схеме для средств измерений удельного электрического сопротивления и удельного электрического поверхностного сопротивления образцов кремния монокристаллического (приложение А) (в диапазоне УЭС от 0,005 Ом·см до 150 Ом·см; в диапазоне УПЭС от 150 Ом до 2000 Ом);

– рабочего эталона не ниже 4-го разряда согласно государственной поверочной схеме для средств измерений длины (при измерениях межзондового расстояния).

(Измененная редакция, изменение № 1)

1.4 Настоящая методика поверки применяется для поверки измерителей ВИК-УЭС, используемых в качестве рабочих средств измерений. В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазоны измерений удельного электрического сопротивления, Ом·см: – для четырехзондовой головки с межзондовым расстоянием 0,75 мм – для четырехзондовой головки с межзондовым расстоянием 1,3 мм – для четырехзондовой головки с межзондовым расстоянием 1,6 мм	от 0,005 до 45 000 от 0,005 до 85 000 от 0,01 до 105 000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений УЭС, %	±5
Диапазон измерений удельного поверхностного электрического сопротивления на квадрат поверхности, Ом	от 0,1 до 450 000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений УПЭС, %	±6

(Измененная редакция, изменение № 1)

1.5 Методикой поверки предусмотрена возможность проведения поверки измерителей ВИК-УЭС в сокращенном объеме:

- поверка для меньшего числа величин (УЭС или УПЭС).

Первичная (периодическая) поверка в сокращенном объеме проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, оформленного в произвольной форме, с указанием сведений об объеме проводимой поверки.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие нормативные документы и нормативные правовые акты:

Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 г. № 3456 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока»

Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. № 2840 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм»

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденные Приказом Минтруда РФ № 903н от 15.12.2020 г.

Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»

ГОСТ 12.3.019-80 Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.

ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

П р и м е ч а н и е – При использовании настоящим документом целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при использовании настоящим документом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Перечень операций поверки

3.1 При поверке измерителей ВИК-УЭС должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Обязательность проведения операций при поверке	
		первичной	периодической
Внешний осмотр	8	да	да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	9	да	да
Проверка программного обеспечения	10	да	да
Проверка метрологических характеристик средства измерений:	11	да	да
– проверка относительной погрешности измерений УЭС	11.1	да	да
– проверка относительной погрешности измерений УПЭС	11.2	да	да
– подтверждение диапазона измерений УЭС	11.3	да	да
– подтверждение диапазона измерений УПЭС	11.4	да	да
Проверка относительного отклонения расстояний между линейно расположенными зондами четырехзондовой головки от номинальных значений	11.5	да	нет

(Измененная редакция, изменение № 1)

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций, указанных в таблице 2, проводится настройка измерителя ВИК-УЭС в соответствии с руководством по эксплуатации. В дальнейшем необходимые операции повторяют вновь, в случае повторного невыполнения требований поверка прекращается, измеритель бракуется, и выполняются операции по п.13 настоящей методики поверки.

4 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки измерителя ВИК-УЭС должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды, °C 23±5;
- относительная влажность воздуха, % не более 80.

5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению работ по поверке измерителя ВИК-УЭС допускаются специалисты, прошедшие специальное обучение в качестве поверителя, имеющие вторую квалификационную группу по электробезопасности (до 1000 В), ознакомившиеся с настоящей методикой поверки и РЭ измерителя ВИК-УЭС.

6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки измерителей ВИК-УЭС применяют оборудование согласно таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры в диапазоне измерений от 18 до 28 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне измерений от 0 до 90 % с абсолютной погрешностью не более 2 %.	Термогигрометры ИВА-6 моделей ИВА-6А, ИВА-6Н (рег. № 46434-11)
п. 11.1 Проверка относительной погрешности измерений УЭС	Стандартные образцы удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического с аттестованными значениями УЭС в диапазоне от 0,005 до 150 Ом·см, относительная погрешность не более $\pm 2\%$; Меры электрического сопротивления с номинальными значениями сопротивления от 1000 до 100000 Ом, нестабильность сопротивления за год не более $\pm 0,002\%$, относительная погрешность определения действительного значения сопротивления не более 0,01 %.	Стандартные образцы удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УЭС-К-30), ГСО 11471-2012/ ГСО 11482-2019; Катушки электрического сопротивления Р331 (рег. № 1162-58).
п. 11.2 Проверка относительной погрешности измерений УПЭС	Стандартные образцы удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического с аттестованными значениями УПЭС в диапазоне от 100 до 2500 Ом, относительная погрешность не более $\pm 4\%$; Меры электрического сопротивления с номинальными значениями сопротивления от 1000 до 100000 Ом, нестабильность сопротивления за год не более $\pm 0,002\%$, относительная погрешность определения действительного значения сопротивления не более 0,01 %.	Стандартные образцы удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УПЭС) ГСО 11966-2022/ ГСО 11967-2022; Стандартный образец удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (СО УНИИМ УПЭС 2000-2400) ГСО 12573-2024; Катушки электрического сопротивления Р331 (рег. № 1162-58).
п. 11.3 Подтверждение диапазона измерений УЭС	Стандартные образцы удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического с аттестованными значениями УЭС в диапазоне от 0,005 до 150 Ом·см,	Стандартные образцы удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УЭС-К-30),

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	относительная погрешность не более $\pm 2\%$; Меры электрического сопротивления с номинальными значениями сопротивления от 1000 до 100000 Ом, нестабильность сопротивления за год не более $\pm 0,002\%$, относительная погрешность определения действительного значения сопротивления не более 0,01 %.	ГСО 11471-2012/ ГСО 11482-2019; Катушки электрического сопротивления Р331 (рег. № 1162-58).
п. 11.4 подтверждение диапазона измерений УПЭС	Стандартные образцы удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического с аттестованными значениями УПЭС в диапазоне от 100 до 2500 Ом, относительная погрешность не более $\pm 4\%$; Меры электрического сопротивления с номинальными значениями сопротивления от 1000 до 100000 Ом, нестабильность сопротивления за год не более $\pm 0,002\%$, относительная погрешность определения действительного значения сопротивления не более 0,01 %.	Стандартные образцы удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УПЭС) ГСО 11966-2022/ ГСО 11967-2022; Стандартный образец удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (СО УНИИМ УПЭС 2000-2400) ГСО 12573-2024; Катушки электрического сопротивления Р331 (рег. № 1162-58).
п. 11.5 Проверка относительного отклонения расстояний между линейно расположенными зондами четырехзондовой головки от номинальных значений	Средства измерений линейных размеров в диапазоне от 0 до 5 мм, абсолютная погрешность измерений не более 0,01 мм.	Микроскоп видеоизмерительный серии MBZ-500TT ЧПУ (рег. № 74241-19)
<i>Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные стандартные образцы, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</i>		

(Измененная редакция, изменение № 1)

6.2 Эталоны, применяемые для поверки измерителей ВИК-УЭС должны быть поверены, если представлены средствами измерений утвержденного типа, или аттестованы,

если представлены средствами измерений неутвержденного типа. Средства измерений должны быть поверены. Стандартные образцы должны иметь действующие паспорта.

6.3 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих требуемую точность передачи единицы электрического сопротивления поверяемому измерителю.

7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки измерителей ВИК-УЭС должны быть соблюдены требования Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденные Приказом Минтруда РФ № 903н от 15.12.2020 г., требования ГОСТ 12.3.019, а также условия по обеспечению безопасности, изложенные в РЭ измерителей ВИК-УЭС.

8 Внешний осмотр средства измерений

8.1 При внешнем осмотре поверяемого измерителя ВИК-УЭС необходимо установить:

- соответствие внешнего вида измерителя ВИК-УЭС сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений измерителя и всех ее составных частей, соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- соответствие комплектности измерителя, указанной в РЭ;
- четкость обозначений и маркировки измерителя.

8.2 В случае, если при внешнем осмотре измерителя ВИК-УЭС выявлены повреждения или дефекты, способные оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки, поверка может быть продолжена только после устранения этих повреждений или дефектов.

9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Провести контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с таблицей 3.

(Измененная редакция, изменение № 1)

9.2 Подготовить измеритель ВИК-УЭС к работе в соответствии с РЭ.

9.3 Включить измеритель ВИК-УЭС и все его составные части.

9.4 Проверить работоспособность органов управления и регулировки измерителя ВИК-УЭС в соответствии с РЭ.

9.5 Убедиться, что все режимы работы, а также параметры, соответствующие, заданному режиму, высвечиваются на мониторе управляющего компьютера измерителя ВИК-УЭС.

10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Провести проверку идентификационных данных программного обеспечения (версии ПО) поверяемого измерителя ВИК-УЭС, указанных в описании типа.

10.2 Идентификационные данные ПО поверяемого измерителя ВИК-УЭС должны соответствовать данным, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные программного обеспечения (ПО)

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	–
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.X*
Цифровой идентификатор ПО	–
Модуль получения и обработки данных	rodrv.dll
*- где X относится к метрологически не значимой части и принимает значения от 122 до 999	

(Измененная редакция, изменение № 1)

11 Проверка метрологических характеристик средства измерений

11.1 Проверка относительной погрешности измерений УЭС

11.1.1 Проверку относительной погрешности измерений УЭС проводят с использованием:

– стандартных образцов удельного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УЭС-К-30), ГСО 11471-2012/ГСО 11482-2019 (в диапазоне УЭС от 0,01 до 140 Ом·см);

– катушек электрического сопротивления Р331 с номинальными значениями сопротивления 1000, 10000, 100000 Ом.

11.1.2 Выбирают не менее трех СО с аттестованными значениями УЭС, соответствующими началу, середине и концу диапазона измерений УЭС от 0,01 до 140 Ом·см. В остальном диапазоне используют три катушки электрического сопротивления Р331.

11.1.3 В соответствии с требованиями «Руководства по эксплуатации» и «Руководства пользователя ПО» измеряют:

- УЭС СО;
- сопротивление катушек.

11.1.4 Выполняют по пять параллельных измерений параметра: УЭС (сопротивления).

11.2 Проверка относительной погрешности измерений УПЭС

11.2.1 Проверку относительной погрешности измерений УПЭС проводят с использованием:

– стандартных образцов удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (набор СО УНИИМ УПЭС), ГСО 11966-2022/ГСО 11967-2022 (в диапазоне УПЭС от 140 до 2200 Ом, ПГО $\pm 4\%$ ($P=0,95$));

– стандартного образца удельного поверхностного электрического сопротивления кремния монокристаллического (СО УНИИМ УПЭС 2000-2400) ГСО 12573-2024;

– катушек электрического сопротивления Р331 с номинальными значениями сопротивления 1000, 10000, 100000 Ом (в диапазоне от 0,1 до 450000 Ом).

11.2.2 В диапазоне от 0,1 до 450000 Ом используют три катушки электрического сопротивления Р331.

11.2.3 В соответствии с требованиями «Руководства по эксплуатации» и «Руководства пользователя ПО» измеряют:

- УПЭС СО;
- сопротивление катушек.

11.2.4 Выполняют по пять параллельных измерений параметра: УПЭС (сопротивления).

(Измененная редакция, изменение № 1)

11.3 Подтверждение диапазона измерений УЭС

11.3.1 Подтверждение диапазона измерений УЭС измерителем ВИК-УЭС проводят одновременно с определением относительной погрешности измерений УЭС по 11.1 настоящей методики поверки.

11.3.2 Устанавливают факт измерения УЭС каждого выбранного СО (катушки сопротивления) и соответствующее ему значение относительной погрешности измерений УЭС в пределах нормированного значения, указанного в разделе 12. Значение относительной погрешности измерений УЭС при этом рассчитывают согласно 12.1 настоящей методики поверки.

11.4 Подтверждение диапазона измерений УПЭС

11.4.1 Подтверждение диапазона измерений УПЭС измерителем ВИК-УЭС проводят одновременно с определением относительной погрешности измерений УПЭС по 11.2 настоящей методики поверки.

11.4.2 Устанавливают факт измерения УПЭС каждого СО (катушки сопротивления) и соответствующее ему значение относительной погрешности измерений УПЭС в пределах нормированного значения, указанного в разделе 12. Значение относительной погрешности измерений УПЭС при этом рассчитывают согласно 12.1 настоящей методики поверки.

(Измененная редакция, изменение №1)

11.5 Проверка относительного отклонения расстояний между линейно расположенными зондами четырехзондовой головки от номинальных значений

11.5.1 Проверку относительного отклонения расстояний между линейно расположенными зондами четырехзондовой головки (устройства зондового) от номинальных значений проводят с помощью микроскопа MBZ-500TT ЧПУ.

11.5.2 Измеряют три расстояния между зондами:

- между первым и вторым зондом – l_1 , мм;
- между вторым и третьим зондом – l_2 , мм;
- между третьим и четвертым зондом – l_3 , мм.

12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

12.1 Для определения относительной погрешности измерений УЭС и УПЭС оценивают случайную и систематическую составляющие относительной погрешности измерений УЭС и УПЭС i -го СО (катушки).

Для каждого цикла измерений, проведенных по 11.1 или 11.2, рассчитывают среднее арифметическое значение УЭС или УПЭС (сопротивления) по формуле

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n}, \quad (1)$$

где $\bar{X}_i$ – результат j -го измерения сопротивления i -того СО (катушки), Ом·см (Ом);

n – число измерений, $n=5$.

П р и м е ч а н и е – Измеренное сопротивление катушки предварительно пересчитывают в удельное электрическое сопротивление с учетом межзондового расстояния по формуле

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot R, \quad (2)$$

где R – измеренное сопротивление катушки, Ом;

l – номинальное межзондовое расстояние, см;

π – константа, равная 3,14159.

Измеренное сопротивление катушки предварительно пересчитывают в удельное поверхностное электрическое сопротивления по формуле

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \cdot R = 4,532 \cdot R. \quad (3)$$

По результатам n измерений параметра i -того СО (катушки) рассчитывают среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического (оценки измеряемой величины) по формуле

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \cdot \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}. \quad (4)$$

За оценку случайной составляющей относительной погрешности измерений сопротивления i -того СО (катушки) принимают относительное СКО случайной составляющей погрешности – S_{ri} , %, рассчитанное по формуле

$$S_{ri} = \frac{S_i}{\bar{X}_i} \cdot 100. \quad (5)$$

Для оценки систематической составляющей относительной погрешности измерений сопротивления i -го СО рассчитывают относительное значение модуля разности (смещение) между средним измеренным значением УЭС или УПЭС i -го СО $\bar{X}_i$, и аттестованным значением УЭС или УПЭС, приведенным в паспорте СО A_i по формуле

$$\delta_{\Delta i} = \frac{|\bar{X}_i - A_i|}{A_i} \cdot 100. \quad (6)$$

П р и м е ч а н и е – При использовании катушек относительное значение смещения рассчитывают по формуле, аналогичной формуле (6), используя среднее измеренное значение сопротивления i -той катушки $\bar{X}_i$, Ом, и значение сопротивления, приведенное в паспорте i -той катушки A_i , Ом.

За оценку относительной систематической составляющей погрешности измерений УЭС i -го СО принимают значение, рассчитанное по формуле

$$\delta_{Ci} = \pm (|\delta_{\Delta i}| + |\delta_{Ai}|). \quad (7)$$

За оценку относительной систематической составляющей погрешности измерений сопротивления i -ой катушки принимают значение, рассчитанное по формуле

$$\delta_{Ci} = \pm k \cdot \sqrt{\delta_{\Delta i}^2 + \delta_l^2 + \delta_{Ai}^2 + \delta_{\text{нест.}i}^2}, \quad (8)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью, числом составляющих и их соотношением между собой (при $P=0,95$ $k=1,1$);

δ_i – пределы допускаемого относительного отклонения расстояний между линейно расположенными зондами четырехзондовой головки от паспортных значений, % (согласно эксплуатационной документации ± 1 %);

δ_{A_i} – относительное значение погрешности аттестованного значения i -го СО (предела допускаемой относительной погрешности определения действительного значения сопротивления i -той катушки), %;

$\delta_{\text{нест.}i}$ – нестабильность сопротивления i -той катушки за год, %.

П р и м е ч а н и е – Значение предела допускаемой относительной погрешности определения действительного значения сопротивления и нестабильности сопротивления – 0,001 % и 0,002 % соответственно (согласно ГПС для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока, утвержденной Приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3456).

Оценку относительной погрешности измерений сопротивления i -го СО (катушки) проводят расчетным путем согласно ГОСТ Р 8.736.

Относительную погрешность измерений сопротивления i -го СО (катушки) рассчитывают по формуле

$$\delta_i = K_i \cdot S_{\Sigma i}, \quad (9)$$

где K_i – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и систематической составляющих погрешности;

$S_{\Sigma i}$ – оценка суммарного СКО результата измерения.

Суммарное среднее квадратическое отклонение $S_{\Sigma i}$ оценки измеряемой величины рассчитывают по формулам:

– при использовании i -го СО

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{(S_{ri})^2 + \frac{\delta_{Ci}^2}{3}}, \quad (10)$$

– при использовании i -той катушки

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{(S_{ri})^2 + \frac{\delta_{Ci}^2}{k^2 \cdot 3}}. \quad (11)$$

Коэффициент K_i рассчитывают по формулам:

– при использовании i -го СО

$$K_i = \frac{t \cdot S_{ri} + \delta_{Ci}}{S_{ri} + \frac{\delta_{Ci}}{\sqrt{3}}}, \quad (12)$$

– при использовании i -той катушки

$$K_i = \frac{t \cdot S_{ri} + \delta_{Ci}}{S_{ri} + \frac{\delta_{Ci}}{k \cdot \sqrt{3}}}, \quad (13)$$

где t – коэффициент Стьюдента, который при доверительной вероятности $P=0,95$ в зависимости от числа измерений n находят по таблице, приведенной в ГОСТ Р 8.736, ($t(n=5; P=0,95)=2,776$).

12.2 Диапазон измерений должен соответствовать приведенному в таблице 1. Полученные значения относительной погрешности измерений УЭС и УПЭС для всех используемых СО и катушек не должны превышать значения, приведенного в таблице 1.

12.3 Относительное отклонение i -го расстояния между рядом стоящими зондами четырехзондовой головки (устройства зондового) от номинальных значений рассчитывают по формуле

$$\delta_{ii} = \frac{l_{\text{изм } i} - l_{\text{ном}}}{l_{\text{ном}}} \cdot 100, \quad (14)$$

где $l_{\text{изм } i}$ – результат измерений i -го межзондового расстояния, мм;

$l_{\text{ном}}$ – номинальное межзондовое расстояние, мм.

Полученные значения относительного отклонения не должны превышать $\pm 1 \%$.

(Измененная редакция, изменение № 1)

13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки оформляются протоколом произвольной формы.

13.2 Положительные результаты поверки оформляют в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или в соответствии с порядком, действующим на момент проведения поверки. Знак поверки наносится на заднюю стенку электронного блока измерителя ВИК-УЭС.

13.3 В случае отрицательных результатов поверки поверяемый измеритель признают непригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и оформляют результаты в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или действующим на момент проведения поверки порядком.

13.4 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

Разработчики:

Зав. лабораторией 223 УНИИМ –
филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Ведущий инженер лаб.223 УНИИМ –
филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



А.В. Соби́на



Н.Л. Герасимова

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Локальная поверочная схема для средств измерений удельного электрического сопротивления и удельного электрического поверхностного сопротивления образцов кремния монокристаллического

