

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ФГУП
«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»



А.Н. Пронин
М. п. «04» февраля 2019 г.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА
Е.Н. КРИВЦОВ
Доверенность №17
от 03 октября 2017 г.

Государственная система обеспечения единства измерений


Анализаторы импеданса прецизионные серии 6630

**Методика поверки
МП 2202-0075-2019**

Руководитель лаборатории
государственных эталонов в области измерения
параметров электрических цепей

 Ю.П. Семенов

Вед. инженер лаборатории
государственных эталонов в области измерения
параметров электрических цепей

 Е.В. Кривицкая

Санкт-Петербург
2019

Содержание

1	Операции и средства поверки.....	3
2	Требования безопасности.....	4
3	Условия поверки	4
4	Подготовка к поверке	5
5	Проведение поверки	5
5.1	Внешний осмотр.....	5
5.2	Опробование. Подтверждение соответствия программного обеспечения	5
5.3	Определение относительной погрешности установки частоты тест-сигнала..	5
5.4	Определение относительной погрешности измерений R, C, L и абсолютной погрешности измерений D	5
6	Оформление результатов поверки.....	7
	Приложение А	8
	Приложение Б.....	13

Настоящая методика поверки распространяется на анализаторы импеданса прецизионные серии 6630 (далее - анализаторы), изготовитель – «Microtest Corporation», Тайвань, предназначенные для измерения параметров пассивных элементов электрической цепи (полное сопротивление, полная проводимость, активное и реактивное сопротивления и проводимость, емкость, индуктивность, фазовый угол, тангенс угла потерь, добротность) по последовательной и параллельной схемам замещения.

Настоящая методика устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки анализаторов.

Методикой поверки предусмотрена возможность проведения поверки для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем диапазоне рабочих частот.

Интервал между поверками - 1 год.

Примечание: при пользовании настоящей методикой поверки 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.

1 Операции и средства поверки

1.1 При проведении поверки должны выполняться операции и применяться средства поверки, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные операции и средства поверки

Наименование операции	Средства поверки и их нормативные технические характеристики	Номер пункта методики
Внешний осмотр	Визуально	5.1
Опробование	Меры электрического сопротивления P3030, диапазон измерений 1 Ом, 10 Ом и 1 кОм, погрешность (δ) измерений $\pm(0,005 - 0,02) \%$	5.2
Подтверждение соответствия ПО	Визуально	5.2
Определение относительной погрешности установки частоты тест-сигнала	Частотомер электронносчетный ЧЗ-36, диапазон измерений 10 Гц – 50 МГц, относительная погрешность измерений $\pm 2,5 \cdot 10^{-7}$	5.3
Определение относительной погрешности измерений электрического сопротивления (R), емкости (C), индуктивности (L) и абсолютной погрешности измерений тангенса угла потерь (D)	Меры электрического сопротивления однозначные P3030, диапазон измерений 1 Ом – 100 кОм, $\delta R = \pm(0,005 - 0,02) \%$; Набор мер сопротивления образцовый Н2-1 R=1 Ом – 1 МОм, $\delta R = \pm(0,005 - 0,02) \%$; Меры электрического сопротивления измерительные P4015, P4016, R=100 кОм и 1 МОм, $\delta R = \pm(0,005 - 0,05) \%$; Составные меры электрического сопротивления по ГОСТ Р 8.686-2009 R=100 кОм и 1 МОм, $\delta R = \pm(0,05 - 0,2) \%$; Меры емкости образцовые P597 C=0,1 нФ – 1 мкФ, $\delta C = \pm(0,02 - 0,05) \%$; Мера малой емкости КМЕ-101 C= 10 пФ, $\delta C = \pm(0,05) \%$; Набор мер емкости образцовый Е1-3 C=100 пФ – 1 нФ, $\delta C = \pm(0,02 - 0,05) \%$;	5.4

	<p>Магазин емкости P5025, C= 100 пФ - 100 мкФ, $\delta C = \pm(0,02 - 0,1) \%$;</p> <p>Меры индуктивности P5101-P5115 (P596), L=1 мкГн – 1 Гн, $\delta L = \pm(0,02-0,05) \%$;</p> <p>Меры индуктивности образцовые L-0170-2 L=1 мкГн – 100 мГн, $\delta L = \pm(0,03 - 1) \%$;</p> <p>Составная мера индуктивности по ГОСТ Р 8.686-2009 L= 10 Гн, $\delta L = \pm(0,02-0,05)\%$;</p> <p>Меры параметров емкости и тангенса угла потерь МПЕТ-1А, C= 10 нФ – 1 мкФ, D= $1 \cdot 10^{-3}-1$, $\delta C = \pm(0,02 - 0,1) \%$ $\Delta D = \pm(0,005 D + 1 \cdot 10^{-4})$</p>	
--	---	--

Таблица 2 – Вспомогательные средства измерений и устройства

Наименование	Обозначение	Диапазон измерений	Погрешность
Прибор комбинированный температура, °С влажность, % атмосферное давление, кПа	Testo 622	от -10 до +60 от 10 до 95 от 30 до 120	$\pm 0,4$ ± 3 ± 5
4-х зажимный измерительный экранированный кабель*	4 BNC – 4 BNC	l=1 м	-
Калибратор режимов короткого замыкания	«Short»	-	-
Калибратор холостого хода	«Open»	-	-

Примечание: Допускается проводить поверку без использования измерительного кабеля, если у используемого при поверки СИ имеется возможность подключения непосредственно к выводам измерителя

Примечание: допускается применение средств поверки, не приведенных в перечне, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

1.2 Все средства измерений должны иметь действующие свидетельства о поверке.

2 Требования безопасности

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия обеспечения безопасности:

- перед использованием прибора следует убедиться, что изоляция проводов не повреждена, и проводящие части нигде не оголены;
- провода и насадки должны быть в рабочем состоянии, чистые и без поврежденной изоляции.

3 Условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- | | |
|--|---------|
| - температура окружающей среды, °С | 20 ± 1 |
| - атмосферное давление, кПа | 101 ± 4 |
| - относительная влажность, %, не более | 80 |

4 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- поверяемые анализаторы должны быть подготовлены к работе в соответствии с технической документацией;
- применяемые средства измерений, испытательное оборудование должны быть подготовлены в соответствии с их технической документацией;
- уровень тест-сигнала (напряжение переменного тока) устанавливается 1 В, скорость измерений 5 (Long), если не указано иное.

5 Проведение поверки

5.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра проверить комплектность, наличие маркировки и обозначения, отсутствие дефектов покрытий, составных частей, корпуса, дисплея.

5.2 Опробование. Подтверждение соответствия программного обеспечения (далее - ПО)

5.2.1 Включают анализатор и устанавливают режим измерений R_s , L_s (для номинальных значений 1 и 10 Ом) и R_p , C_p (для номинального значения 1 кОм), частота 1 кГц.

5.2.2 Подключают поочередно меры электрического сопротивления P3030 значением 1 Ом, 10 Ом и 1 кОм. Проверяют, чтобы значение электрического сопротивления на экране анализатора соответствовало номинальным значениям сопротивления мер. Если одно из значений не фиксируется на дисплее, прибор бракуют.

5.2.3 Подтверждение соответствия ПО

5.2.3.1 Подтверждение соответствия ПО осуществляется путем определения номера версии программного обеспечения встроенного ПО.

Для получения актуального значения версии встроенного ПО нажимают кнопку «MENU», после чего выбирают вкладку «SYSTEM», затем в открывшемся окне ПО выбирают вкладку «About». В открывшемся диалоговом окне отображена информация об анализаторе, а также версия ПО.

Результаты считаются положительными, если версия ПО не ниже 1.1.

5.3 Определение относительной погрешности установки частоты тест-сигнала

5.3.1 Погрешность установки частоты тест-сигнала определяют с помощью частотомера. Частотомер подключают к выводу «NCUR» анализатора при помощи кабеля с разъемами BNC. Измерения проводят для частот, приведенных в таблице 3. Погрешность установки частоты тест-сигнала не должна превышать пределы допускаемой относительной погрешности $\pm 0,0001$.

Таблица 3

	Модификация				
	6630-3, 6630-3G, 6630-3GS	6630-5, 6630-5G, 6630-5GS	6630-10, 6630-10G, 6630-10GS	6630-20, 6630-20G, 6630-20GS	6630-30, 6630- 30G, 6630- 30GS
Значение частоты, кГц	1; 10; 100; 1000; 3000	1; 10; 100; 1000; 5000	1; 10; 100; 1000; 10000	1; 10; 100; 1000; 20000	1; 10; 100; 1000; 30000

5.4 Определение относительной погрешности измерений R, C, L и абсолютной погрешности измерений D

5.4.1 Погрешность измерений анализаторов определяют на постоянном токе и в нормальной области частот, приведенной в таблице 4.

Таблица 4

Наименование анализатора	Диапазон частот анализатора	Нормальная область частот
6630-3, 6630-3G, 6630-3GS	10 Гц – 3 МГц	50 Гц – 1 МГц
6630-5, 6630-5G, 6630-5GS	10 Гц – 5 МГц	50 Гц – 1 МГц
6630-10, 6630-10G, 6630-10GS	10 Гц – 10 МГц	50 Гц – 10 МГц
6630-20, 6630-20G, 6630-20GS	10 Гц – 20 МГц	50 Гц – 10 МГц
6630-30, 6630-30G, 6630-30GS	10 Гц – 30 МГц	50 Гц – 30 МГц

Примечание: в зависимости от особенностей применения анализаторов по запросу потребителя основную погрешность допускается определять при других частотах из частотного диапазона анализатора

5.4.2 Измеряемые параметры R, L, C и D определяют в диапазонах измерений, при уровне сигнала (для сопротивления постоянного тока) и при частотах, указанных в таблицах А2 и А3 Приложения А, при этом максимальная частота поверки соответствует пределу нормальной области частот в соответствии с таблицей 4.

5.4.3 Соотношение погрешности между эталонными средствами измерений и поверяемыми анализаторами при измерении R, L, C, не должно превышать 1:3, при измерении D не должно превышать 1:1,5 (при $D=2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$) и 1:3 (при $D > 2 \cdot 10^{-4}$).

5.4.4 Начальное уравнивание анализаторов проводится с использованием калибратора режимов короткого замыкания и холостого хода в соответствии с технической документацией изготовителя с тем типом кабеля и присоединительного устройства, которые используются для определения погрешности.

5.4.5 Погрешности по R определяют для значений сопротивления, кратных 10^n Ом, где n= от 0 до 6 (целое число) при измерениях на постоянном токе; где n= от 0 до 7 (целое число) при частотах, указанных в таблице А2 Приложения А.

Меры сопротивления P3030 подключают по 4-х зажимной схеме с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC с использованием переходных устройств. Меры сопротивления H2-1 подключают с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC.

Меры сопротивления P4015, P4016, составные меры значениями 100 кОм и 1 МОм подключают по 3-х зажимной схеме с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC с использованием переходных устройств.

- Составная мера для 100 кОм состоит из двух резисторов (мер) с номинальным значением 1 кОм, включенных последовательно, и резистора (меры многозначной) с номинальным значением 10,2 Ом, включенного в среднюю точку.

- Составная мера для 1 МОм состоит из двух резисторов (мер) с номинальным значением 10 кОм, включенных последовательно, и резистора (меры многозначной) с номинальным значением 102 Ом, включенного в среднюю точку.

Примечание: допускается использовать другие значения резисторов электрического сопротивления для номинальных значений 100 кОм и 1 МОм.

5.4.6 Погрешность по C определяют для значений, кратных 10^n Ф, где n= от -11 до -4 (целое число) при частотах, таблице А2 Приложения А.

Однозначные меры емкости КМЕ-101 подключают к измерителю с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC и двух «тройников» CP-50-95ФВ (или аналогичных).

Меры емкости E1-3 подключают с помощью устройства присоединительного E1-3, входящего в состав набора мер. При этом начальное уравнивание измерителя производят с данным присоединительным устройством.

Меры емкости P597, магазин емкости P5025 подключают с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC с использованием переходных устройств.

5.4.7 Погрешность по L определяют для значений, кратных 10^n Гн, где n= от -5 до 1 (целое число) при частотах, указанных таблице А2 Приложения А.

Меры индуктивности подключают к измерителю с помощью измерительного кабеля 4 BNC – 4 BNC с использованием переходных устройств.

- Составная мера для 10 Гн состоит из двух резисторов (мер) с номинальным значением 10 кОм, включенных последовательно, и конденсатора (меры) электрической емкости с номинальным значением 100 нФ, включенного в среднюю точку.

Примечание: допускается использовать другие значения резисторов электрического сопротивления и конденсаторов электрической емкости для номинального значения 10 Гн.

5.4.8 Погрешность по D определяют для значений $1 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-1}$ и 1 при емкости и частотах, приведенных в таблице А3 Приложения А. Измерения проводят при помощи мер емкости и тангенса угла потерь МПЕТ-1А (при этом начальное уравнивание измерителя производят с входящим в комплект присоединительным устройством). Определение погрешности по D при других значениях емкости при необходимости проводят одновременно с определением погрешности по С.

Примечание: допускается определять погрешность по D при других значениях электрической емкости.

5.4.9 Абсолютную погрешность измерений по D определяют по формуле:

$$\Delta D = D_{\text{изм.}} - D_{\text{д}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{изм.}}$ - показания измерителя при измерении D;
 $D_{\text{д}}$ - действительное значение измеряемой величины.

Относительную погрешность измерений, в процентах, по R, L, C определяют по формуле:

$$\delta = \frac{Z - Z_{\text{д}}}{Z_{\text{д}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $Z_{\text{д}}$ - действительное значение эталонной меры, Z - измеренное значение величины.

Относительная погрешность по R, L, C и абсолютная погрешность по D в зависимости от измерительной частоты и диапазона измерений не должны превышать пределов допускаемой погрешности, указанных в таблицах А2 и А3 приложения А. В случае проведения поверки в других диапазонах измерений, диапазонах частот и другом уровне тест-сигнала и (или) без измерительных кабелей (по требованию заказчика), пределы допускаемой погрешности рассчитываются по формулам, указанным в приложении Б.

6 Оформление результатов поверки

6.1 Положительные результаты поверки анализаторов оформляют свидетельством установленной формы.

При проведении поверки оформляется протокол измерений по форме, указанной в приложении А.

6.2 Анализаторы, не удовлетворяющие требованиям настоящей МП, к применению не допускаются. На них выдается извещение о непригодности к применению установленной формы.

6.3 Знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

Форма протокола поверки
(рекомендуемая)

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ № _____ от _____ г.

Наименование прибора, тип	Анализатор импеданса прецизионный 6630-__
Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде	
Заводской номер	
Год выпуска	
Изготовитель	
Заказчик	
Серия и номер знака предыдущей поверки	
Дата предыдущей поверки	

Вид поверки:

Методика поверки:

Средства поверки: _____

Условия поверки:

Параметры	Требования НД	Измеренные значения
Температура окружающего воздуха, °С	20±1	
Относительная влажность, %	не более 80	
Атмосферное давление, кПа	101±4	

Результаты поверки:

1. Внешний осмотр: _____
2. Опробование: _____
3. Идентификация ПО: _____
4. Определение относительной погрешности установки частоты тест-сигнала

Таблица А1 — Результаты измерений частоты

Номинальное значение устанавливаемой частоты, кГц	Относительная погрешность измерений	
	Фактическая	Допускаемая
1		±0,0001
10		
100		
1000		
10000		
30000		

5. Определение метрологических характеристик R, L, C и D

Таблица А2

Номинальное значение измеряемого параметра	Схема замещения	Условия измерений, частота	Погрешность измерений, %	
			Фактическая	Допускаемая
Сопротивление на постоянном токе (1 Ом – 1 МОм)				
1 Ом	R _{dc}	Уровень сигнала 1 В		±1,0
10 Ом		Уровень сигнала 1 В		±0,2
100 Ом		Уровень сигнала 1 В		±0,2
1 кОм		Уровень сигнала 1 В		±0,2
10 кОм		Уровень сигнала 1 В		±0,2
100 кОм		Уровень сигнала 1 В		±0,2
1 МОм		Уровень сигнала 1 В		±1,0
Сопротивление на переменном токе (1 Ом – 1 МОм)				
1 Ом	R _s	50 Гц		±1,1
		1 кГц		±0,55
		10 кГц		±0,55
		100 кГц		±0,55
		1 МГц		±0,6
10 Ом	R _s	50 Гц		±0,3
		1 кГц		±0,14
		10 кГц		±0,14
		100 кГц		±0,14
		1 МГц		±0,2
100 Ом	R _s	50 Гц		±0,23
		1 кГц		±0,10
		10 кГц		±0,10
		100 кГц		±0,10
		1 МГц		±0,14
1 кОм	R _p	50 Гц		±0,22
		1 кГц		±0,10
		10 кГц		±0,10
		100 кГц		±0,10
		1 МГц		±0,14
		10 МГц		±1,25
10 кОм	R _p	50 Гц		±0,23
		1 кГц		±0,10
		10 кГц		±0,10
		100 кГц		±0,10
		1 МГц		±0,17
		10 МГц		±1,52
100 кОм	R _p	50 Гц		±0,27
		1 кГц		±0,12
		10 кГц		±0,12
		100 кГц		±0,13
		1 МГц		±0,44
1 МОм	R _p	50 Гц		±0,72
		1 кГц		±0,35
		10 кГц		±0,35

	Rp	100 кГц	±0,40
		1 МГц	±3,14
Индуктивность (0,1 мкГн – 10 Гн)			
0,1 мкГн	Ls	1 МГц*	±0,86
		10 МГц*	±1,65
		30 МГц*	±4,0
0,2 мкГн	Ls	1 МГц*	±0,49
		10 МГц*	±1,4
		30 МГц*	±3,8
0,5 мкГн	Ls	1 МГц*	±0,3
		10 МГц*	±1,3
		30 МГц*	±3,7
1 мкГн	Ls	10 кГц	±7,3
		100 кГц	±0,8
		1 МГц	±0,2
		10 МГц*	±1,1
10 мкГн	Ls	1 кГц	±7,3
		10 кГц	±0,8
		100 кГц	±0,17
		1 МГц	±0,15
100 мкГн	Ls	1 кГц	±0,8
		10 кГц	±0,17
		100 кГц	±0,10
		1 МГц	±0,14
1 мГн	Ls	1 кГц	±0,17
		10 кГц	±0,10
		100 кГц	±0,10
10 мГн	Ls	1 кГц	±0,10
		10 кГц	±0,10
		100 кГц	±0,10
100 мГн	Ls	1 кГц	±0,10
		10 кГц	±0,10
1 Гн	Ls	100 Гц	±0,12
		1 кГц	±0,10
10 Гн	Ls	100 Гц	±0,12
		1 кГц	±0,11
Емкость (10 пФ – 100 мкФ)			
10 пФ	Cp	1 кГц	±4,08
		10 кГц	±0,5
		100 кГц	±0,14
		1 МГц	±0,19
100 пФ	Cp	1 кГц	±0,49
		10 кГц	±0,14
		100 кГц	±0,10
		1 МГц	±0,15
	Cs	10 МГц*	±1,0
		30 МГц*	±3,15

200 пФ	Cp	100 кГц*		±0,08
	Cs	1 МГц*		±0,10
		10 МГц*		±1,03
		30 МГц*		±3,3
300 пФ	Cp	100 кГц*		±0,08
	Cs	1 МГц*		±0,10
		10 МГц*		±1,05
		30 МГц*		±3,4
500 пФ	Cp	100 кГц*		±0,08
	Cs	1 МГц*		±0,10
		10 МГц*		±1,08
		30 МГц*		±3,7
1 нФ	Cp	50 Гц		±1,81
		1 кГц		±0,13
		10 кГц		±0,10
		100 кГц		±0,10
	Cs	1 МГц		±0,14
		10 МГц		±1,4
10 нФ	Cp	50 Гц		±0,38
		1 кГц		±0,10
		10 кГц		±0,10
	Cs	100 кГц		±0,10
		1 МГц		±0,12
100 нФ	Cp	50 Гц		±0,24
		1 кГц		±0,10
	Cs	10 кГц		±0,10
		100 кГц		±0,13
1 мкФ	Cp	50 Гц		±0,22
	Cs	1 кГц		±0,10
		10 кГц		±0,12
		100 кГц		±0,38
10 мкФ	Cs	50 Гц		±0,22
		1 кГц		±0,12
		10 кГц		±0,38
100 мкФ	Cs	50 Гц		±0,25
		1 кГц		±0,38

Примечание: Допускаемая погрешность рассчитана для следующих условий: уровень тест-сигнала 1 В, скорость измерения 5 (Long), длина измерительного кабеля 1 м за исключением строчек, отмеченных «*». В строчках, отмеченных «*» допускаемая погрешность рассчитана для следующих условий: уровень тест-сигнала 1 В, скорость измерения 5 (Long), без измерительного кабеля (0 м).

Таблица А3

Номинальное значение тангенса угла потерь, 10^{-4}	Номинальное значение емкости	Частота, кГц	Погрешность измерений, 10^{-4}	
			Фактическая	Допускаемая
Тангенс угла потерь ($1 \cdot 10^{-3} - 1$)				
10	10 нФ	1		± 10
		10		± 10
		100		± 10
	1 мкФ	0,05		± 22
		1		± 10
		10		± 12
100	10 нФ	1		± 10
		10		± 10
		100		± 10
	1 мкФ	0,05		± 22
		1		± 10
		10		± 12
10^3	10 нФ	1		± 10
		10		± 10
		100		± 10
	1 мкФ	0,05		± 22
		1		± 10
		10		± 12
10^4	10 нФ	1		± 10
		10		± 10
		100		± 10
	1 мкФ	0,05		± 22
		1		± 10
		10		± 12

Примечание: Допускаемая погрешность рассчитана для следующих условий: уровень тест-сигнала 1 В, скорость измерения 5 (Long), длина измерительного кабеля 1 м.

На основании результатов поверки выдано свидетельство о поверке № _____ от _____ г.

Поверку провел _____
Ф.И.О.
подпись
дата

Расчет пределов допускаемой погрешности анализаторов импеданса
прецизионных серии 6630

Таблица Б1 – Пределы допускаемой погрешности анализаторов

Наименование характеристики	Значение характеристики
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений (A_e), % по Z, Y; по L, C, X, B (при $D_x \leq 0,1$); по R (при $D_x \geq 10, Q_x \leq 0,1$)	$\pm [Ab' + (Z'_s / Z_x + Y'_o \cdot Z_x) \cdot 100] \cdot K_t^*$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений (θ_e) по θ , радиан	$\pm A_e / 100$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений (δ) по L, C, X, B (при $D_x > 0,1$), %	$\pm A_e \cdot \sqrt{1 + D_x^2}$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений (δR) по R, % при $0,1 < D_x < 10$, ($10 > Q_x > 0,1$);	$\delta R_s = \pm A_e \cdot \sqrt{1 + D_x^2} / D_x$ $\delta R_p = \pm \frac{A_e \cdot \sqrt{1 + D_x^2}}{D_x \mp A_e / 100 \cdot \sqrt{1 + D_x^2}}$
при $D_x \leq 0,1$ ($Q_x \geq 10$)	$\delta R_s = \pm A_e / D_x$ $\delta R_p = \pm \frac{A_e}{D_x \mp A_e / 100}$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений (δG) по G, % при $D_x > 0,1$ при $D_x \leq 0,1$	$\pm A_e \cdot \sqrt{1 + D_x^2} / D_x$ $\pm A_e / D_x$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений (ΔD) по D при $D_x \leq 0,1$ при $0,1 < D_x \leq 1$	$\pm A_e / 100$ $\pm A_e \cdot (1 + D_x) / 100$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений (ΔQ) по Q (если $Q_x \cdot D_x < 1$): при $Q_x > 10, (D_x < 0,1)$ при $Q_x \leq 10, (D_x \geq 0,1)$	$\Delta Q = \pm (Q_x^2 \cdot A_e / 100) / (1 \mp Q_x \cdot A_e / 100)$ $\Delta Q = \pm (Q_x^2 \cdot A_e \cdot (1 + D_x) / 100) / (1 \mp Q_x \cdot A_e \cdot (1 + D_x) / 100)$
Примечание: D_x - измеренное значение тангенса угла потерь; Q_x - измеренное значение добротности; Z_x - измеренное значение полного сопротивления. Значения коэффициентов Ab', Z'_s, Y'_o, K_t , указаны в таблице 3. Для значений $R < 100$ Ом и $C < 100$ пФ при частотах ≥ 10 МГц погрешность не нормируется.	

Таблица Б2 – Значения коэффициентов

Наименование коэффициента		Дополнительные условия (устанавливаемый режим)	Значение коэффициента
основной	дополнительный		
$Ab' = Ab + Avac + Abw + Abl$			
Ab'	$Ab, \%$	$10 \text{ Гц} \leq F < 133 \text{ Гц}$	$100/F \cdot 0,1$
		$133 \text{ Гц} < F \leq 750 \text{ кГц}$	0,075
		$750 \text{ кГц} < F \leq 30 \text{ МГц}$	$0,1 \cdot Fm$
	$Avac, \%$	$Vac > 1 \text{ В}$	$(Vac - 1)^2 \cdot 0,02 + 0,01 \cdot Fm$
		$Vac \leq 1 \text{ В}$	$(1/Vac - 1) \cdot 0,02$
	$Abw, \%$	скорость измерения «5»	0
		скорость измерения «4» $F < 50 \text{ кГц}$, $F \geq 50 \text{ кГц}$	0,06 0,03
		скорость измерения «3» $F < 50 \text{ кГц}$, $F \geq 50 \text{ кГц}$	0,2 0,1
		скорость измерения «2» $F < 50 \text{ кГц}$, $F \geq 50 \text{ кГц}$	0,4 0,2
		скорость измерения «1» $F < 50 \text{ кГц}$, $F \geq 50 \text{ кГц}$	0,8 0,4
		$Abl, \%$	длина кабеля «0 м»
	длина кабеля «0,5 м»		$0,02 + 0,01 \cdot Fm$
	длина кабеля «1 м»		$0,02 + 0,02 \cdot Fm$
	длина кабеля «2 м»		$0,02 + 0,03 \cdot Fm$
$Zs' = (Zs \cdot Kvac \cdot Kbw) + Zsl$			
Zs'	$Zs, \text{ Ом}$	$10 \text{ Гц} \leq F < 100 \text{ Гц}$	$100/F \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}$
		$100 \text{ Гц} \leq F \leq 1 \text{ МГц}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
		$1 \text{ МГц} \leq F \leq 30 \text{ МГц}$	$Fm \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}$
	$Zsl, \text{ Ом}$	длина кабеля «0 м»	0
		длина кабеля «0,5 м», «1 м», «2 м» при $10 \text{ Гц} \leq F < 100 \text{ Гц}$ при $100 \text{ Гц} \leq F \leq 30 \text{ МГц}$	$100/F \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-3}$
	$Kvac$	$Vac > 1 \text{ В}$	$(Vac - 1)^2 + 1$
		$Vac \leq 1 \text{ В}$	$(1/Vac - 1) \cdot 0,1 + 1$
	Kbw	скорость измерения «5»	1
		скорость измерения «4»	
		скорость измерения «3» $F \leq 1 \text{ МГц}$, $F > 1 \text{ МГц}$	3 4
		скорость измерения «2» $F \leq 1 \text{ МГц}$, $F > 1 \text{ МГц}$	4 5
		скорость измерения «1» $F \leq 1 \text{ МГц}$, $F > 1 \text{ МГц}$	6 10

$Y_o' = (Y_o \cdot K_{vac} \cdot K_{bw}) + Y_{ol}$			
Y_o'	$Y_o, \text{См}$	$10 \text{ Гц} \leq F < 100 \text{ Гц}$	$100/F \cdot 2,5 \cdot 10^{-9}$
		$100 \text{ Гц} \leq F \leq 100 \text{ кГц}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$
		$100 \text{ кГц} < F \leq 30 \text{ МГц}$	$F_m \cdot 25 \cdot 10^{-9}$
	$Y_{ol}, \text{См}$	длина кабеля «0 м»	0
		длина кабеля «0,5 м»	$F_m \cdot 2,5 \cdot 10^{-9}$
длина кабеля «1 м»		$F_m \cdot 5 \cdot 10^{-9}$	
длина кабеля «2 м»		$F_m \cdot 10 \cdot 10^{-9}$	
K_t	-	от 18 °С до 28 °С включ.	1
		от 8 °С до 18 °С; св. 28 °С до 38 °С включ.	4

Примечание: V_{ac} - уровень тест-сигнала в вольтах, F - измерительная частота в герцах, F_m - измерительная частота в мегагерцах.

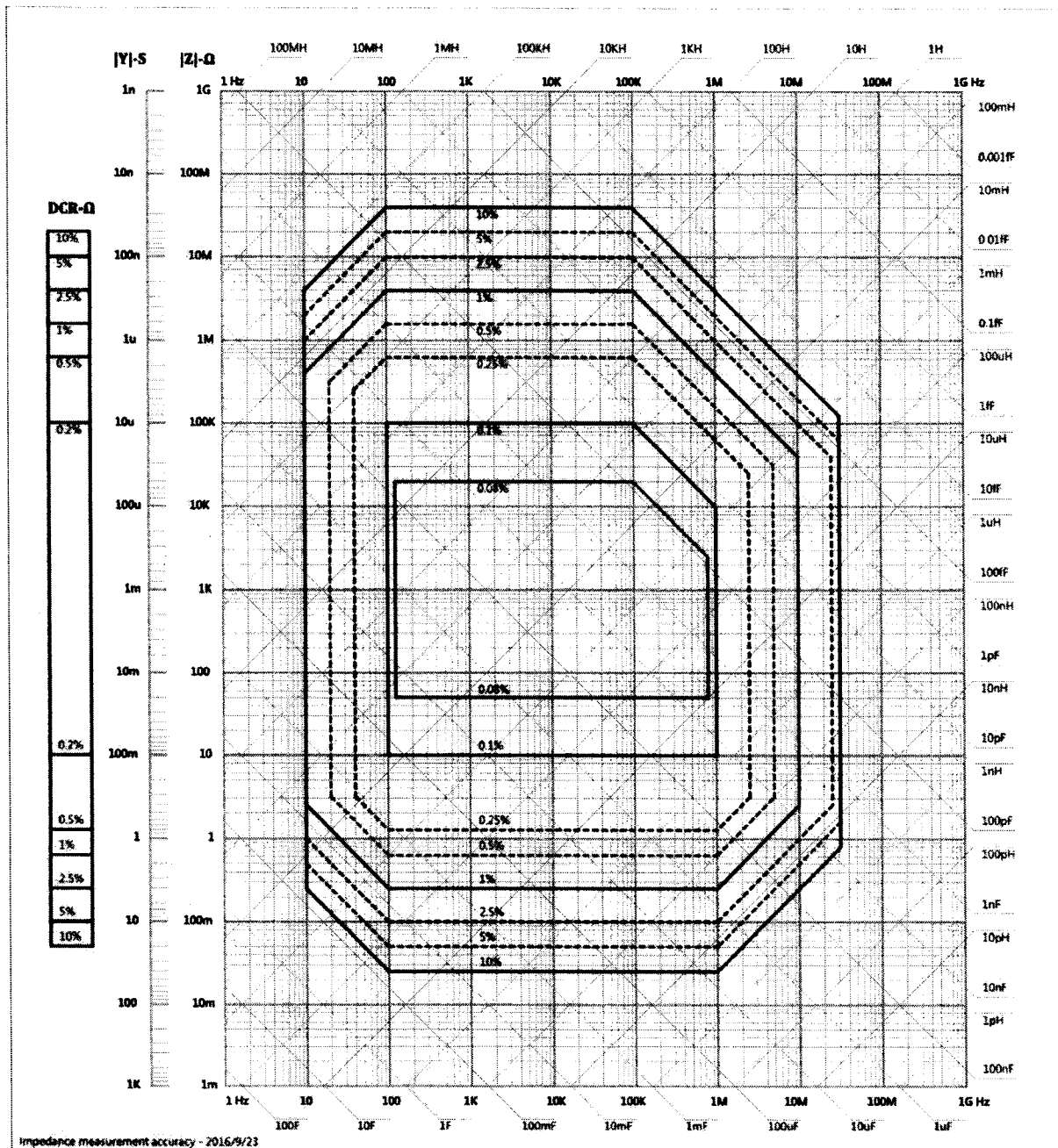


Рисунок Б1 – Пределы допускаемой погрешности при использовании контактирующего устройства без измерительного кабеля, уровень тест-сигнала 1 В, скорость измерения 4 (Slow), калибровки Open и Short проведены

Пример расчета допускаемой погрешности

Пример расчета допускаемой погрешности (на примере значения электрического сопротивления $Z_x = 10$ кОм при частоте $F = 1$ кГц с использованием измерительного кабеля длиной 1 м). Уровень тест-сигнала (V_{ac}) = 1 В, скорость измерения – 5 (Long).

Б.1 Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений (A_e), %:

$$A_e = \pm [Ab' + (Z_s' / |Z_x| + Y_o' \cdot |Z_x|) \cdot 100] \cdot K, \quad (1)$$

Б.2 Коэффициент Ab' составляет, %:

$$Ab' = Ab + Avac + Abw + Abl \quad (2)$$

$$Ab \text{ (для 1 кГц)} = 0,075$$

$$Avac \text{ (для 1 В)} = (1/V_{ac} - 1) \cdot 0,02 = (1/1 - 1) \cdot 0,02 = 0$$

$$Abw \text{ (для скорости измерения 5)} = 0$$

$$Abl \text{ (для длины кабеля 1 м)} = 0,02 + 0,02 \cdot Fm = 0,02 + 0,02 \cdot 0,001 [\text{МГц}] = 0,02002$$

При подставлении значений коэффициентов в формулу (2) получаем:

$$Ab' = 0,075 + 0 + 0 + 0,02002 = 0,09502$$

Б.3 Коэффициент Zs' составляет, Ом:

$$Zs' = (Zs \cdot Kvac \cdot Kbw) + Zsl \quad (3)$$

$$Zs \text{ (для 1 кГц)} = 2,5 \cdot 10^{-3}$$

$$Kvac \text{ (для 1 В)} = (1/V_{ac} - 1) \cdot 0,1 + 1 = (1/1 - 1) \cdot 0,1 + 1 = 1$$

$$Kbw \text{ (для скорости измерения 5)} = 1$$

$$Zsl \text{ (для длины кабеля 1 м)} = 2 \cdot 10^{-3}$$

При подставлении значений коэффициентов в формулу (3) получаем:

$$Zs' = (2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1) + 2 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-3}$$

Б.4 Коэффициент Yo' составляет, См:

$$Yo' = (Yo \cdot Kvac \cdot Kbw) + Yol \quad (4)$$

$$Yo \text{ (для 1 кГц)} = 2,5 \cdot 10^{-9}$$

$$Kvac \text{ (для 1 В)} = (1/V_{ac} - 1) \cdot 0,1 + 1 = (1/1 - 1) \cdot 0,1 + 1 = 1$$

$$Kbw \text{ (для скорости измерения 5)} = 1$$

$$Yol = Fm \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 0,001 [\text{МГц}] \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 10^{-12}$$

При подставлении значений коэффициентов в формулу (4) получаем:

$$Yo' = (2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 1) + 5 \cdot 10^{-12} = 2,505 \cdot 10^{-9}$$

Б.5 Коэффициент K_t (для условий испытаний $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$) = 1

Б.6 При подставлении значений коэффициентов в формулу (1) получаем:

$$A_e = \pm [0,09502 + (4,5 \cdot 10^{-3} / |10 \cdot 10^3| + 2,505 \cdot 10^{-9} \cdot |10 \cdot 10^3|) \cdot 100] \cdot 1 = \pm 0,098 \approx \pm 0,1 \%$$