

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика распространяется на установки измерительные Crystal Network Analyzer LF400 (далее – установки LF400), изготовленные АО «ЛИТ-ФОНОН», и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

1.2 Прослеживаемость к государственным первичным эталонам единиц величин обеспечивается в соответствии с:

государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 № 2360 к государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022;

государственной поверочной схемой для средств измерений переменного электрического напряжения в диапазоне частот $1 \cdot 10^{-1}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 03.09.2021 № 1942 к государственному первичному специальному эталону единицы электрического напряжения ГЭТ 27-2009;

государственной поверочной схемой для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.12.2019 № 3456 к государственному первичному эталону единицы электрического сопротивления ГЭТ 14-2014.

1.3 Реализация методики поверки осуществляется методом прямых измерений и методом сличения.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при	
		первичной поверке и после ремонта	периодической поверке
1 Внешний осмотр средства измерений	6	Да	Да
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	7	Да	Да
3 Проверка программного обеспечения средства измерений	8	Да	Да

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при	
		первичной поверке и после ремонта	периодической поверке
4 Определение метрологических характеристик средства измерений	9	Да	Да
4.1 Определение относительной погрешности воспроизведения частоты внутреннего опорного генератора 10 МГц	9.1	Да	Да
4.2 Определение диапазона установки частот	9.2	Да	Да
4.3 Определение максимального уровня выходного высокочастотного сигнала на нагрузке 50 Ом	9.3	Да	Да
4.4 Определение абсолютной погрешности измерения динамического сопротивления и диапазона измерения сопротивления потерь кварцевых резонаторов	9.4	Да	Да
4.5 Определение повторяемости при измерении частоты кварцевых резонаторов	9.5	Да	Да
5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10	Да	Да

2.2 Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов, для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений в соответствии с заявлением владельца СИ, с обязательным указанием в паспорте установки LF400 и в свидетельстве о поверке информации об объеме проведенной поверки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от 15 до 35;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 86,6 до 106,7;
- напряжение питающей сети, В от 198 до 242;
- частота питающей сети, Гц от 49,5 до 50,5.

4 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

4.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Основные и вспомогательные средства поверки

Наименование, обозначение	Номер пункта Методики	Метрологические и технические требования к средствам поверки
Основные средства поверки		
1. Частотомер универсальный ЧЗ-89	9.1, 9.2, 9.5	Рег. № 47058-11, диапазон измерения частоты от 1 мГц до 1000 МГц, пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты $\pm 2 \cdot 10^{-7}$
2. Вольтметр переменного тока ВКЗ-78А	9.3	Рег. № 55031-13, диапазон измерений среднеквадратического значения гармонического сигнала высокочастотного напряжения переменного тока от 10 мВ до 100 В в диапазоне частот от 10 Гц до 2000 МГц, пределы допускаемой основной относительной погрешности в диапазоне частот $\pm (0,2 + 0,008 \cdot U_k/U_x) \%$
3. Измеритель RLC Е4980А	9.4	Рег. № 62364-15, диапазон измерений сопротивления от 0,001 Ом до 100 МОм, пределы допускаемой относительной погрешности измерений $\pm (0,05 \div 10 \%)$
Вспомогательные средства поверки		
1. Прибор комбинированный Testo 622	3.1	Рег. № 44744-10, диапазон измеряемых температур от минус 10 °С до 60 °С, диапазон измеряемой влажности от 10 % до 95 %, диапазон измеряемого давления от 30 до 120 кПа
2. Вольтметр универсальный В7-81	3.1	Рег. № 36478-07, диапазон измерений напряжения переменного тока от 10 мВ до 750 В, пределы допускаемой погрешности измерений напряжения переменного тока $\pm 0,02 \%$
3. Комплект нагрузок калибровочный ГЖШК.411219.001.05	9.2	-
4. Комплект поверочный ГЖШК.411219.001.06	9.4, 9.5	-

4.2 Применяемые средства поверки должны быть исправны, средства измерений поверены и иметь действующие документы о поверке.

4.3 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемой установки LF400 с требуемой точностью.

5 ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а

также изложенные в технической документации на установку LF400, в технической документации на применяемые при поверке эталоны, СИ и вспомогательное оборудование.

5.2 Все подключения между приборами необходимо проводить при обесточенном выходе установки LF400 и применяемых средств поверки.

6 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

При внешнем осмотре установить соответствие установки LF400 требованиям технической документации изготовителя. При внешнем осмотре убедиться в:

- отсутствию механических повреждений;
- отсутствию признаков несанкционированного вмешательства (целостность клейм или защитных наклеек);
- чистоте разъемов (при необходимости провести очистку);
- исправности кабелей измерительных и кабелей питания;
- четкости маркировки, соответствия заводского номера указанному в паспорте СИ.

Проверить комплектность установки LF400 в соответствии с технической документацией изготовителя.

Результаты внешнего осмотра считать положительными, если установка LF400 удовлетворяет вышеперечисленным требованиям, комплектность установки LF400 полная. В противном случае поверка не проводится до устранения выявленных недостатков.

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Выполнить следующие подготовительные работы:

- выдержать установку LF400 в выключенном состоянии в условиях, указанных в п. 3.1, в течение не менее 8 ч. Контроль условий поверки осуществлять с помощью СИ, приведенных в таблице 2;
- установить на ПК программное обеспечение (ПО) и драйвер USB. Инструкция по установке находится на установочном диске;
- собрать рабочее место в соответствии со схемой электрических соединений, представленной на рисунке 1 или рисунке 2, в зависимости от комплектации;

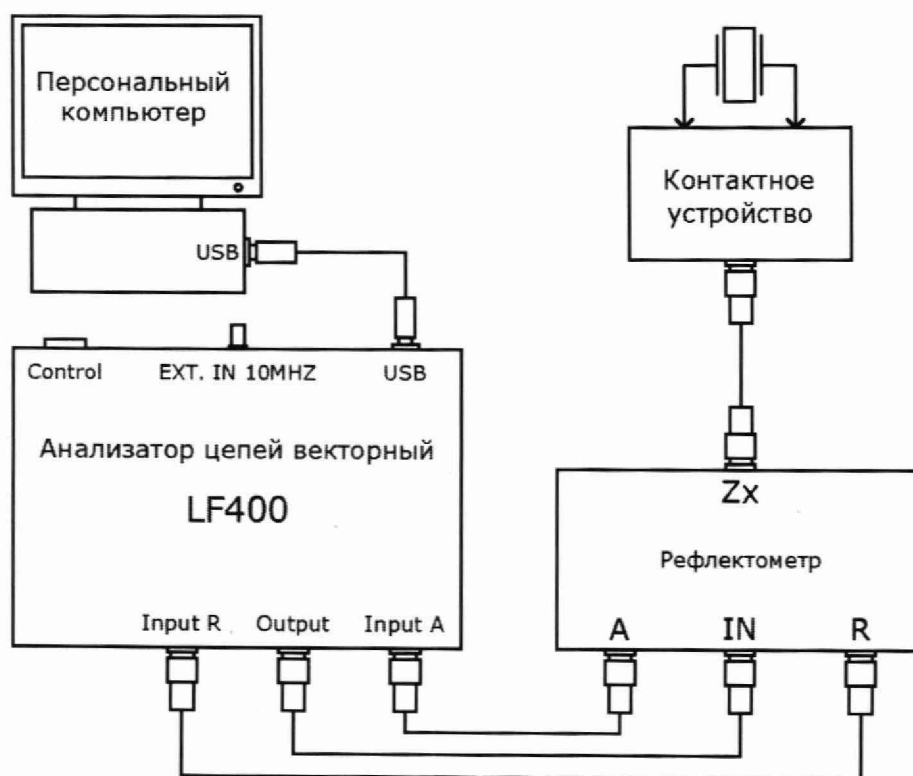


Рисунок 1. Схема электрических соединений для стандартного рефлектометра

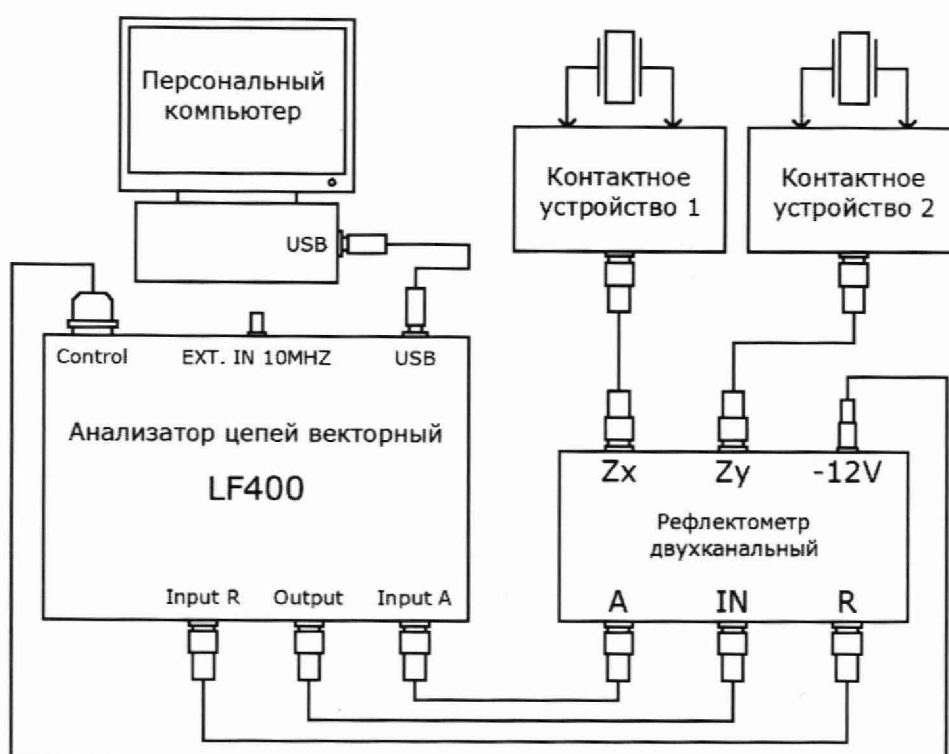


Рисунок 2. Схема электрических соединений для двухканального рефлектометра

- включить питание анализатора;
- запустить рабочую программу;
- перейти в меню «Анализатор - Настройка параметров измерительной установки».

Перейти на страницу «Подключение». Настроить подключение анализатора к компьютеру. Подробнее процесс подключения описан в разделе «Подготовка к работе\Настройка подключения к компьютеру» файла справки, доступном после установки рабочей программы;

- перед проведением измерений убедиться, что в программе правильно указан активный вход рефлектометра («Zx» или «Zy»). Для переключения входов использовать переключатель «Рефлектометр», расположенный на странице «Измерительный тракт» окна диалога «Настройка параметров измерительной установки»;

- при использовании в составе установки стандартного рефлектометра переключатель «Рефлектометр» должен находиться в положении «Рефлектометр стандартный или 2-х канальный. Активный вход Zx»;

- выполнить операции, оговоренные в технической документации на применяемые средства поверки по их подготовке к измерениям;

- включить средства поверки в сеть питания и выдержать их во включенном состоянии в течение времени, указанного в их эксплуатационной документации, для установления рабочего режима. Для установки LF400 время прогрева составляет не менее 30 мин.

7.2 Калибровка и опробование

Калибровка установки LF400, включающей в себя анализатор, кабели, направленный ответвитель и адаптер, позволяет скорректировать систематические ошибки измерения, вызванные неидеальностью измерительной системы.

Калибровка выполняется в три этапа:

а) холостой ход – контакты присоединительного устройства должны оставаться свободными;

б) короткое замыкание – контакты присоединительного устройства замкнуты коротко;

в) согласованная нагрузка – контакты присоединительного устройства замкнуты через калибровочный резистор 50 Ом.

Калибровочные элементы должны устанавливаться в контактное устройство до упора, то есть до полного соприкосновения основания калибровочного элемента с поверхностью контактного устройства.

Перед проведением калибровки необходимо убедиться, что все высокочастотные узлы имеют надежные соединения и обеспечивается хороший контакт при подключении калибровочных нагрузок.

Перед проведением калибровки необходимо убедиться, что в программе правильно указан рабочий вход рефлектометра.

Калибровка выполняется для каждого входа рефлектометра отдельно. Результаты калибровки по каждому входу хранятся в разных файлах и подставляются программой при переключении входа автоматически.

Чтобы выполнить калибровку нажать кнопку «Калибровка измерительного тракта» и следовать указаниям на экране ПЭВМ.

Опция «Контроль показаний амплитуды и фазы», управляемая соответствующим переключателем, расположенным в окне диалога, появляющегося в ходе выполнения калибровки, помогает оператору программно отслеживать ошибки в показаниях каналов амплитуды и фазы анализатора в процессе калибровки. При обнаружении ошибки продолжение калибровки блокируется до устранения неисправности. При включённой опции программа контролирует:

- нестабильность показаний в измерительных каналах амплитуды и фазы;

- несоответствие показаний в измерительных каналах амплитуды и фазы установленному режиму калибровки.

Результаты калибровки записываются в файл и восстанавливаются при повторных запусках программы.

Результаты опробования считать положительными, если по завершении калибровки отсутствуют сообщения об ошибках.

8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Осуществить проверку соответствия заявленных идентификационных данных ПО:

- идентификационное наименование ПО;
- номер версии (идентификационный номер) ПО;
- цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода);
- алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО.

Для этого на ПЭВМ на «Рабочем столе» запустить программу «LF400 – Установка измерительная» или файл LF400.exe с помощью «Проводника».

Наименование программы в заголовке окна программы должно быть «LF400 – Установка измерительная».

В меню «Анализатор» выбрать пункт «Информация о приборе».

В правой части окна программы отображаются:

- номер версии, который должен быть не менее «7.0.3»;
- цифровой идентификатор ПО, который должен быть

D7EA6B55CBAV668830V6BDAFFFCB81B6;

- алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО: MD5.

Результаты проверки считать положительными если идентификационные данные ПО соответствуют указанным требованиям.

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИ

9.1 Определение относительной погрешности воспроизведения частоты внутреннего опорного генератора 10 МГц

Относительную погрешность воспроизведения частоты определить с помощью метода прямых измерений.

Выполнить подключения в соответствии с рисунком 3.

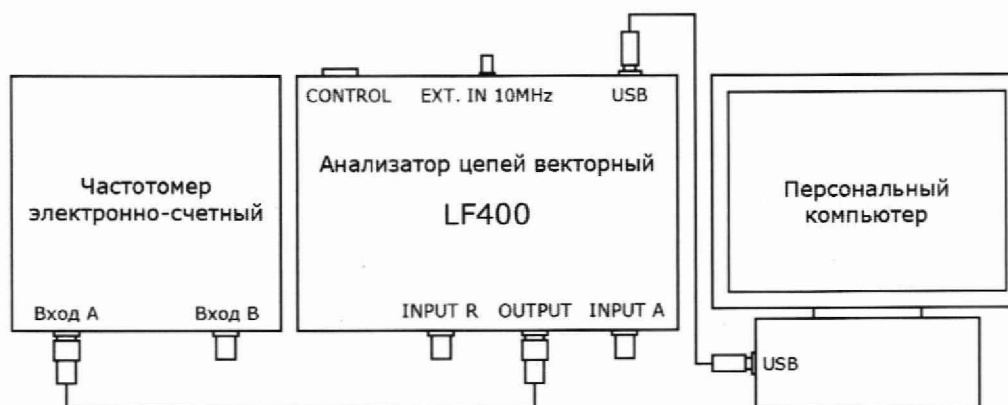


Рисунок 3. Структурная схема соединения приборов

Установить по входу «А» частотомера ЧЗ-89 входное сопротивление 50 Ом. Запустить рабочую программу.

Убедиться, что в рабочей программе задан внутренний опорный генератор (в меню «Анализатор - Настройка параметров измерительной установки – Измерительный тракт»).

Активировать раздел меню «Анализатор \ Hardware Setup & Test».

В открывшемся окне на панели «RF AmplCode» нажать кнопку «0dBm».

Установить на выходе анализатора частоту 10 МГц, изменив при необходимости параметр «Frequency Setting, MHz».

Измерить с помощью частотомера ЧЗ-89 частоту на выходе анализатора цепей.

Относительную погрешность воспроизведения частоты внутреннего опорного генератора вычислить по формуле:

$$\delta F = (F_{\text{изм}} - F_{\text{ном}}) / F_{\text{ном}} \quad (1)$$

где $F_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты, Гц; $F_{\text{ном}}$ – значение частоты на выходе анализатора цепей, отображаемое в поле «Current Frequency, Hz».

Результаты поверки считать положительными, если значение относительной погрешности воспроизведения частоты находится в пределах $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ (или ± 10 Гц).

В противном случае установка LF400 дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

9.2 Определение диапазона установки частот

Диапазон установки частот определить с помощью метода прямых измерений.

Выполнить подключения в соответствии с рисунком 3.

Установить по входу «А» и входу «В» частотомера ЧЗ-89 входное сопротивление 50 Ом.

Установить с помощью параметра «Frequency Setting, MHz» частоту на выходе анализатора цепей 0,9 МГц.

Измерить с помощью частотомера ЧЗ-89 частоту на выходе анализатора цепей.

Подключить выход анализатора цепей «OUTPUT» к входу «В» частотомера ЧЗ-89.

Установить на выходе анализатора цепей частоту 401 МГц с помощью параметра «Frequency Setting, MHz».

Измерить с помощью частотомера ЧЗ-89 частоту на выходе анализатора цепей.

Результаты поверки считать положительными, если диапазон установленных частот не менее диапазона от 1 до 400 МГц.

В противном случае установка LF400 дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

9.3 Определение максимального уровня выходного высокочастотного сигнала на нагрузке 50 Ом

Максимальный уровень выходного высокочастотного сигнала определить с помощью метода прямых измерений.

Выполнить подключения в соответствии с рисунком 4, соединив вход измерительного пробника вольтметра ВКЗ-78А с выходом «OUTPUT» анализатора цепей.



Рисунок 4. Структурная схема соединения приборов

Для подключения использовать входной тройник и концевую нагрузку с волновым сопротивлением 50 Ом из комплекта поставки вольтметра ВК3-78А.

Для соединения анализатора цепей с вольтметром ВК3-78А использовать ВЧ-кабель длиной не более 50 см.

В окне «Hardware Setup & Test» программы установить уровень выходного сигнала 0 dBm и частоту 10 МГц.

Измерить с помощью вольтметра ВК3-78А уровень сигнала на выходе анализатора цепей. Измеренное значение должно находиться в пределах 0 ± 1 дБм.

Перемещая регулятор уровня выходного сигнала «RF AmplCode», установить уровень на максимум (RF AmplCode = 16383).

Изменяя частоту анализатора цепей, измерить с помощью вольтметра ВК3-78А уровень выходного сигнала на частотах 1, 5, 10 МГц и далее, до частоты 400 МГц, с шагом 10 МГц.

Результаты поверки считать положительными, если уровень выходного высокочастотного сигнала в диапазоне частот от 1 до 350 МГц составляет не менее 11 дБм (793 мВ) и не менее 7 дБм (501 мВ) в диапазоне частот свыше 350 МГц.

В противном случае установка LF400 дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

9.4 Определение абсолютной погрешности измерения динамического сопротивления и диапазона измерения сопротивления потерь кварцевых резонаторов

9.4.1 Абсолютную погрешность измерения динамического сопротивления и диапазона измерения сопротивления потерь определить с помощью метода сличения.

Выполнить подключения в соответствии с рисунком 5.



Рисунок 5. Структурная схема соединения приборов

9.4.2 Выполнить калибровку измерительного тракта (согласно п. 7.2 руководства по эксплуатации установки LF400). В ходе калибровки вместо калибровочного комплекта нагрузок использовать элементы из поверочного комплекта. Это позволяет минимизировать влияния паразитных индуктивностей и емкостей на результаты измерений.

9.4.3 Измерить сопротивление контрольного резистора 3 Ом из поверочного комплекта с помощью измерителя E4980A на частоте 1 МГц, записать результат в таблицу 3 как $R_{изм1}$.

9.4.4 Активировать раздел меню «Анализатор \ Hardware Setup & Test» рабочей программы.

9.4.5 Установить контрольный резистор 3 Ом в контактное устройство установки LF400. В окне «Hardware Setup & Test» нажать кнопку «Resistance vs Frq», дождаться окончания измерения.

Результаты измерений для частот 1, 2, 300, 400 МГц записать в таблицу 3 как $R_{изм2}$.

Таблица 3 – Результаты измерений

Номинальное значение сопротивления контрольного резистора, Ом	Частота, МГц	Действительное значение сопротивления контрольного резистора, Ом ($R_{изм1}$)	Измеренное значение сопротивления контрольного резистора, Ом ($R_{изм2}$)	Абсолютная погрешность измерения динамического сопротивления, Ом	Пределы допускаемых абсолютных погрешностей измерения динамического сопротивления, Ом
1	2	3	4	5	6
3	1				$\pm 2,3$
3	2	-			$\pm 2,3$
3	300	-			$\pm 2,3$
3	400	-			$\pm 2,3$
5,1	1				$\pm 1,255$
5,1	2	-			$\pm 1,255$

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
5,1	300	-			± 1,255
5,1	400	-			± 1,255
15	1				± 1,75
15	2	-			± 1,75
15	300	-			± 1,75
15	400	-			± 1,75
100	1				± 6,00
100	2	-			± 6,00
100	300	-			± 6,00
100	400	-			± 6,00
300	1				± 16,0
300	2	-			± 16,0
300	300	-			± 16,0
300	400	-			± 16,0
510	1				± 53,0
510	2	-			± 26,5
510	300	-			± 26,5
510	400	-			± 53,0

9.4.6 Повторить действия по п. 9.4.5 аналогично для контрольных резисторов 5,1 Ом, 15 Ом, 100 Ом, 300 Ом, 510 Ом.

Закрыть окно «Hardware Setup & Test» программы.

9.4.7 Абсолютную погрешность измерения динамического сопротивления (для каждой частоты из таблицы 4) вычислить по формуле:

$$\Delta R = R_{\text{изм}2} - R_{\text{изм}1} \quad (2)$$

где $R_{\text{изм}2}$ – измеренное значение контрольного резистора с помощью установки LF400; $R_{\text{изм}1}$ – измеренное значение контрольного резистора с помощью измерителя E4980A.

9.4.8 Результаты поверки считать положительными, если абсолютные погрешности измерений динамического сопротивления находятся в пределах, указанных в таблице 3.

В противном случае установка LF400 дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

9.5 Определение повторяемости при измерении частоты кварцевых резонаторов

9.5.1 Проверку повторяемости при измерении частоты выполнить с помощью метода прямых измерений.

Осуществить подключения в соответствии с рисунком 5.

9.5.2 Выполнить калибровку измерительного тракта (согласно п. 7.2 руководства по эксплуатации установки LF400).

9.5.3 Установить проверочный резонатор (резонатор АТ-среза, например РК22М) в измерительную колодку установки LF400.

Для минимизации изменения температуры резонатора в результате движения воздуха (кондиционер, вентилятор и др.) рекомендуется накрыть резонатор пластиковым колпаком.

Выждать 3 минуты для стабилизации температуры резонатора.

9.5.4 Выполнить десятикратное измерение частоты резонатора (согласно п. 7.3 руководства по эксплуатации установки LF400):

выбрать пункт меню «Измерение – Измерение параметров резонаторов» или соответствующую пиктограмму панели управления;

вписать номинальную частоту резонатора в поле «F_{ном}, МГц»;

нажать кнопку «ПУСК»;

в окне справа считать измеренное значение частоты, параметр «Fs», записать;

аналогично повторить измерения оставшееся количество раз.

9.5.5 Рассчитать среднее значение частоты резонатора.

9.5.6 Рассчитать отклонение каждого измеренного значения частоты резонатора от среднего значения.

9.5.7 Результаты поверки считать положительными, если рассчитанное отклонение частоты по п. 9.5.6 находится в пределах $\pm 1 \cdot 10^{-6}$.

В противном случае установка LF400 бракуется и направляется в ремонт.

10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Критерием принятия решения по подтверждению соответствия средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа, является выполнение требований всех операций поверки с положительным результатом (полученные оценки погрешностей сравнивают со значениями пределов допускаемых погрешностей измерений и положительное или отрицательное решение по поверке каждого значения принимается по результатам этого сравнения).

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Результаты измерений и расчетов заносятся в протокол поверки произвольной формы, обеспечивающий отражение полученных результатов всех операций поверки.

11.2 При положительных результатах поверки наносится знак поверки в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли РФ № 2510 от 31.07.2020, делается отметка в паспорте установки LF400, оформляется свидетельство о поверке.

При проведении поверки отдельных измерительных каналов, меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений в паспорте установки LF400 и в свидетельстве о поверке указывается информация об объеме проведенной поверки.

11.3 При отрицательных результатах поверки, выявленных при любой из операций поверки, описанных в таблице 1, выдается извещение о непригодности в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли РФ № 2510 от 31.07.2020.

11.4 Сведения о результатах поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФГИС «Аршин»).

Начальник отдела
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России



А. Мазур

Старший научный сотрудник отдела
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России



А. Заболотнов