



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В Г. МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ»
(ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА»)**

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора

ФБУ «Ростест-Москва»



А.Д. Меньшиков

«07» февраля 2022 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ ZNLE

Методика поверки

РТ-МП-15-441-2022

г. Москва
2022 г.

1 Общие положения

Настоящая методика распространяется на анализаторы цепей векторные ZNLE следующих модификаций: ZNLE3, ZNLE4, ZNLE6, ZNLE14, ZNLE18 (далее – анализаторы) и устанавливает порядок и объем их первичной и периодической поверки.

При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых анализаторов цепей векторных ZNLE к государственным первичным эталонам единиц величин:

– к ГЭТ1-2018 «Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени»;

– к ГЭТ26-2010 «Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,50 ГГц»;

– к ГЭТ75-2017 «Государственный первичный эталон единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах»;

– к ГЭТ193-2011 «Государственный первичный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц».

Для обеспечения реализации методики поверки при определении метрологических характеристик по пунктам 10.1 – 10.5, 10.7, 10.8 настоящей методики поверки применяется метод прямых измерений, по пункту 10.6 – метод косвенных измерений.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Методы поверки (номер пункта)	Обязательность проведения при поверке	
		первичной	периодической
1	2	3	4
Внешний осмотр средства измерений	7	Да	Да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	Да	Да
Идентификация программного обеспечения средства измерений	9	Да	Да
Определение метрологических характеристик средства измерений	10		
Определение относительной погрешности частоты опорного генератора	10.1	Да	Да
Определение динамического диапазона в полосе пропускания 10 Гц	10.2	Да	Да
Определение уровня собственного шума приемников	10.3	Да	Да

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы	10.4	Да	Да
Определение абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности	10.5	Да	Да
Определение погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента отражения	10.6	Да	Да
Определение погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента передачи	10.7	Да	Да
Определение модуля коэффициента отражения нескорректированного	10.8	Да	Нет
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11	Да	Да

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться нормальные условия, установленные в ГОСТ 8.395-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования»:

- температура окружающей среды, °Сот 18 до 25;
- относительная влажность воздуха, %от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)от 86 до 106 (от 645 до 795);

4 Требование к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки анализаторов цепей векторных ZNLE допускаются специалисты, имеющие необходимую квалификацию, освоившие работу с анализаторами цепей векторными и применяемыми средствами поверки, изучившие настоящую методику поверки.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки анализаторов цепей векторных ZNLE применяют средства поверки, указанные в таблице 2.

5.2 Допускается применение других средств поверки с метрологическими и техническими характеристиками, обеспечивающими передачу единицы величины поверяемому средству измерений с точностью, удовлетворяющей требованиям государственных поверочных схем.

Таблица 2 – Средства поверки

Номер пункта документа по поверке	Наименование средства поверки	Требуемые метрологические характеристики средства поверки		Рекомендуемое средство поверки
		Пределы измерений	Пределы допускаемой погрешности	
1	2	3	4	5
10.1	Стандарт частоты	Сигнал с частотой 10 МГц	Рабочий эталон 3 разряда по Приказу Росстандарта № 1621 от 31.07.2018	Стандарт частоты рубидиевый GPS-12RG (рег.номер 70172-18 в ФИФ)
10.1	Частотомер универсальный	Сигнал с частотой 10 МГц	Рабочий эталон 4 разряда по Приказу Росстандарта № 1621 от 31.07.2018	Частотомер универсальный CNT-90 (рег.номер 70888-18 в ФИФ)
10.5	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ	Диапазон частот от 100 кГц до 18 ГГц Диапазон измерений мощности от $3 \cdot 10^{-4}$ до 10^2 мВт	Рабочий эталон 2-го разряда по Приказу Росстандарта от 30.12.2019 № 3461	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP18T (рег.номер 69958-17 в ФИФ)
10.5	Генератор сигналов	Диапазон частот от 100 кГц до 18 ГГц Pout 0 дБ (1мВт)	Выходной уровень контролируется NRP18T	Генератор сигналов SMA100B с опцией B120 (рег.номер 68980-20 в ФИФ)
10.2, 10.3, 10.4, 10.6, 10.7	Набор мер коэффициентов передачи и отражения	Диапазон частот от 0,01 до 18 ГГц; соединители: тип N «вилка» и «розетка»; S11 от 0,005 до 1 S21 0,1 дБ	Вторичный эталон по ГОСТ 8.813-2013	Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270 (рег.номер 56388-14 в ФИФ)
10.7	Аттенюатор ступенчатый	Диапазон частот от 100 кГц до 18 ГГц S21 от 0 до 60 дБ	2 разряд по Приказу Росстандарта №3383 от 30.12.2019	Аттенюатор ступенчатый R&S RSC с модулем 05 (рег.номер 48368-11 в ФИФ)

Продолжение таблицы – 2

1	2	3	4	5
10.5, 10.8	Анализатор цепей	Диапазон частот от 100 кГц до 18 ГГц S11 от 0,01 до 1 S21 от 0 до 10 дБ	$\pm 0,02$ $\pm 0,1$ дБ	Анализатор цепей векторный ZNB20 (рег.номер 56388-14 в ФИФ)
10.1 – 10.8	Термо-гигрометр	Диапазон измерений температуры от 0 до 50 °С	$\pm 0,5$ °С	Термогигрометр UNITESS THB 1 модификация THB 1B (рег.номер 70481-18 в ФИФ)
		Диапазон измерений влажности от 10 до 90 %	$\pm 3,0$ %	
		Диапазон измерений атмосферного давления от 86 до 106 кПа	$\pm 0,2$ кПа	

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать:

– общие правила техники безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.003 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;

– «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;

– указания по технике безопасности, приведенные в эксплуатационной документации на средства поверки;

– указания по технике безопасности, приведенные в эксплуатационной документации на средство измерений.

6.2 К проведению поверки допускаются специалисты, изучившие требования безопасности по ГОСТ 22261-94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия» и ГОСТ 12.2.091-2002 «Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования», имеющие 3 группу допуска по электробезопасности и прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

6.3 На рабочем месте должны быть приняты меры по обеспечению защиты от воздействия статического электричества.

7 Внешний осмотр средства измерений

При проведении внешнего осмотра установить соответствие анализаторов следующим требованиям:

- внешний вид средства измерений должен соответствовать фотографиям, приведённым в описании типа на данное средство измерений, при этом допускается незначительное изменение дизайна СИ, не влияющее на однозначное определение типа прибора по внешнему виду;

- наличие маркировки, подтверждающей тип, модификацию и серийный номер средства измерений;

- наличие пломбы от несанкционированного доступа, установленной в месте согласно описанию типа на данное средство измерений.

- наружная поверхность средства измерений не должна иметь следов механических повреждений, которые могут влиять на работу средства измерений и его органов управления;

- разъемы средства измерений должны быть чистыми;

- комплектность средства измерений должна соответствовать указанной в технической документации фирмы-изготовителя.

Результаты выполнения операции считать положительными, если выполняются вышеуказанные требования.

Установленный факт отсутствия пломбы от несанкционированного доступа при периодической поверке не является критерием неисправности средства измерения и носит информативный характер для производителя средства измерений и сервисных центров, осуществляющих ремонт.

Факт отсутствия пломбы от несанкционированного доступа при периодической поверке фиксируется в протоколе поверки в соответствующем разделе.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Подготовка к поверке

Порядок установки средства измерений на рабочее место, включения, управления и дополнительная информация приведены в руководстве по эксплуатации: «Анализаторы цепей векторные ZNLE». Руководство по эксплуатации».

Убедиться в выполнении условий проведения поверки.

Выдержать средство измерений в выключенном состоянии в условиях проведения поверки не менее двух часов, если он находился в отличных от них условиях.

Выдержать средство измерений во включенном состоянии не менее 30 минут.

Выдержать средства поверки во включенном состоянии в течение времени, указанного в их руководствах по эксплуатации.

8.2 Опробование

Подготовить анализатор к работе в соответствии с руководством по эксплуатации. Включить анализатор. Проверить отсутствие сообщений о неисправности на экране поверяемого анализатора после его включения.

На анализаторе установить заводскую конфигурацию прибора, для чего выполнить следующие установки:

- [**PRESET**]

После времени прогрева 30 минут запустить процедуру самопроверки, нажатием клавиш:

- [**SETUP**– Service+Support – Selftest – Start Selftest].

Результаты выполнения процедуры самопроверки будут отображаться в диалоговом окне **Selftest Results**.

Результаты опробования считать удовлетворительными, если после включения и загрузки программного обеспечения анализатора, а так же после завершения процедуры встроенной самопроверки в соответствующем диалоговом окне не возникают сообщения об ошибках.

9 Идентификация программного обеспечения

Идентификационное наименование и номер версии программного обеспечения анализатора отображаются в диалоговом окне **Versions+Options** при нажатии клавиш:

- [**Setup** – System Config – Versions+Options].

Идентификационное наименование и номер версии ПО, отображаемый в диалоговом окне **Versions+Options**, должен соответствовать указанному в описании типа на данное средство измерений.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение относительной погрешности установки частоты опорного генератора

Определение относительной погрешности установки частоты внутреннего опорного генератора проводят методом прямых измерений с помощью частотомера универсального CNT-90 и стандарта частоты рубидиевого GPS-12RG, который используется в качестве опорного генератора.

Относительную погрешность установки частоты внутреннего опорного генератора определить путем измерения частоты сигнала внутреннего опорного генератора $F_{НОМ}$ равной 10 МГц на задней панели поверяемого анализатора.

Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1.

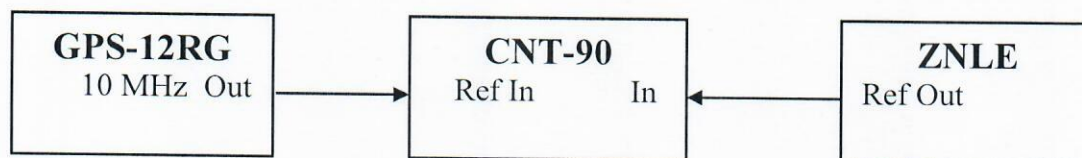


Рисунок 1 – Структурная схема соединения СИ для определения диапазона частот и относительной погрешности установки частоты опорного генератора

Подключить к выходу (Reference) Out 10 MHz анализатора частотомер электронно-счетный CNT-90, работающий от внешней опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты GPS-12RG.

Установить параметры анализатора:

- [**PRESET**];
- [**SETUP** : Freq.Ref.: Internal].

Измерить частоту поверяемого анализатора и зафиксировать результаты измерений частотомером как F_{CNT} .

Примечание - здесь и далее фиксация результатов измерений, необходимых для п.11, производится в произвольной форме.

10.2 Определение динамического диапазона в полосе пропускания 10 Гц

Определение динамического диапазона в полосе пропускания 10 Гц проводят методом прямых измерений с помощью нагрузок согласованных из набора мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270 аттестованного в качестве вторичного эталона по ГОСТ 8.813-2013 (далее – НМКПО).

ВНИМАНИЕ! Во всех пунктах данной методики поверки, где используются меры из НМКПО, подключение мер производить только с использованием ключа тарированного из этого набора.

Подключить к измерительным портам поверяемого анализатора 1 и 2 нагрузки согласованные из НМКПО.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas: S21** (а также S12)];
- [**Bw Avg Power : Power : 0 dBm**];
- [**Bw Avg Power : Bandwidth : 10 Hz**]
- [**Sweep : Number of points : 501**]
- [**Bw Avg Power : Average : Factor: 10 / On / Reset**];
- [**Scale : Scale/Div : 20 dB**];
- [**Center : CW Frequency F_H**].

Частоты F_H на которых проводятся измерения выбирают из диапазонов частот которые указаны в таблице 3 п.11.

Для каждого указанного частотного поддиапазона (которые так же зависят от установленной опции) выбирают 3 частоты F_H : нижняя, средняя, верхняя частота поддиапазона. При этом к указанному в таблице значению нижней частоты в МГц нужно прибавить 1 кГц, к значению нижней частоты в ГГц нужно прибавить 1 МГц.

С помощью маркера поверяемого анализатора, определить значения измерительной трассы S21 (а также S12) на частотах F_H .

Зафиксировать результаты измерений.

10.3 Определение уровня собственного шума приемников

Определение уровня собственного шума приемников проводят методом прямых измерений с помощью нагрузок согласованных из НМКПО.

Подключить к измерительным портам поверяемого анализатора 1 и 2 нагрузки согласованные из НМКПО.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas : Wave : b1 Source Port 2**] (для порта 1);
- [**Bw Avg Power : Power : RF Off All Channels**];
- [**Bw Avg Power : Bandwidth : 1 kHz**];
- [**Sweep : Number of points : 501**];
- [**Bw Avg Power : Average : Factor: 10 / On / Reset**];
- [**Scale : Scale/Div : 20 dB**];
- [**Center : CW Frequency F_H**].

Частоты $F_{И}$, на которых проводятся измерения, выбирают из диапазонов частот которые указаны в таблице 4 п.11. по методике выбора частот из диапазонов частот, описанной в пункте 10.2 данной методике поверки.

С помощью маркера поверяемого анализатора определить значение измерительной трассы «b1 Source Port 2» $N_{1кГц}$ на частотах $F_{И}$.

Зафиксировать результаты измерений.

Установить параметры анализатора:

– [**MEAS** : Wave: b2 Source Port 1] (для порта 2).

С помощью маркера поверяемого анализатора определить значение измерительной трассы «b2 Source Port 1» $N_{1кГц}$ на частотах $F_{И}$.

Зафиксировать результаты измерений.

10.4 Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы

Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы проводят методом прямых измерений с помощью нагрузок короткозамкнутых и холостого хода из НМКПО.

Подключить к измерительным портам поверяемого анализатора 1 и 2 нагрузки короткозамкнутые из НМКПО.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : S11];
- [**Freq** : Start Frequency: 10 MHz];
- [**Bw Avg Power**: Power : 0 dBm];
- [**Bw Avg Power** : Bandwidth : 10 kHz];
- [**Sweep** : Number of points : 1001].

Выполнить автомасштабирование измерительной трассы. Определить частоты, где наблюдается максимальное значение флюктуаций измерительной трассы. Зафиксировать значения этих частот F_M .

Установить параметры анализатора:

- [**Sweep** : Sweep Type : CW Mode];
- [**Freq**: CW Frequency : F_M];
- [**Sweep** : Number of points : 201];
- [**Trace**: Trace statistics : Mean/Std Dev/RMS];
- [**Sweep** : Sweep Control : Single : Restart Sweep];

Зафиксировать измеренное среднеквадратическое значение шумов при измерении модуля и фазы коэффициента отражения на частоте F_M (Statistics Std Dev value): SD_{SHORT} .

Провести аналогичные измерения для 2 порта АЦВ, выбирая измерение трассы «S22».

Подключить к измерительным портам поверяемого анализатора 1 и 2 нагрузки холостого хода из НМКПО.

Зафиксировать измеренные среднеквадратическое значение шумов при измерении модуля и фазы коэффициента отражения S11 и S22 на частоте F_M (Statistics Std Dev value): SD_{OPEN} .

10.5 Определение абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт

Определение абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт проводят методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности NRP18T и генератора сигналов SMA100B.

10.5.1 Для определения абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт и погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт опорным каналом поверяемого анализатора в диапазоне частот подключить ваттметр NRP18T к измерительному порту поверяемого анализатора и измерить уровень мощности. Измерения проводить на следующих фиксированных частотах $F_{\text{ИЗМ}}$: 1 МГц; 10 МГц; 50 МГц; 100 МГц; 500 МГц; 1 ГГц; 2 ГГц; 3 ГГц; 4 ГГц; 4,5 ГГц, 5 ГГц и далее с шагом 1 ГГц до частоты 18 ГГц включительно, в зависимости от модификации поверяемого анализатора.

Дополнительно провести измерения на частоте 100 кГц при наличии опции B100 у поверяемого анализатора.

Подготовить к работе ваттметр NRP18T в соответствии с его руководством по эксплуатации.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : Wave : a1 Source Port 1];
- [**Sweep** : Sweep Type : CW Mode];
- [**Sweep** : Sweep Params : Number of Points 5];
- [**Bw Avg Power**: Bandwidth : 100 Hz];
- [**Bw Avg Power**: Power: -10 dBm];
- [**Freq** : CW Frequency : $F_{\text{ИЗМ}}$];
- [**Trace** : Trace statistics : Mean/Std Dev/RMS];
- [**Sweep** : Sweep Control : Single : Restart Sweep].

При смене рабочей частоты изменять параметр [**CENTER** : CW Frequency : $F_{\text{ИЗМ}}$].

Измерить ваттметром и зафиксировать уровень выходной мощности на порте поверяемого анализатора ($P_{1\text{ИЗМ}}$, дБ, относительно 1 мВт).

Зафиксировать измеренное значение мощности в опорном канале поверяемого анализатора Statistics Mean values: ($P_{2\text{ИЗМ}}$, в дБ относительно 1 мВт).

Выполнить операции на всех частотах $F_{\text{ИЗМ}}$.

Зафиксировать результаты измерений.

Выполнить операции для измерительного порта 2 поверяемого анализатора, установив предварительно параметр [**Meas** : Wave: a2 Source Port 2].

Зафиксировать результаты измерений.

10.5.2 Определение абсолютной погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт приемным каналом поверяемого анализатора проводят с помощью ваттметра NRP18T и вспомогательного делителя мощности.

Перед проведением измерений определить неравномерность коэффициента передачи резистивного делителя мощности (далее - ДМ) между плечами в диапазоне частот от 100 кГц до крайней частоты модификации поверяемого анализатора.

Для этого откалибровать анализатор цепей векторный ZNB20. Подключить ДМ с кабелями к плоскостям калибровки ZNB20 по схеме, приведённой на рисунке 2.

Измерить на анализаторе цепей коэффициенты передачи S_{21} и S_{31} в диапазоне частот. Используя функцию MATH, вычислить трассу (S_{21}/S_{31}). Проверить, что неравномерность ДМ не превышает $\pm 0,7$ дБ. В случае превышения, использовать другой ДМ или сохранить полученную трассу в виде .s2p файла на внешний носитель информации и с помощью ПО «PowerViewer» загрузить данный файл в ваттметр NRP18T и активировать режим «S-parameter correction».

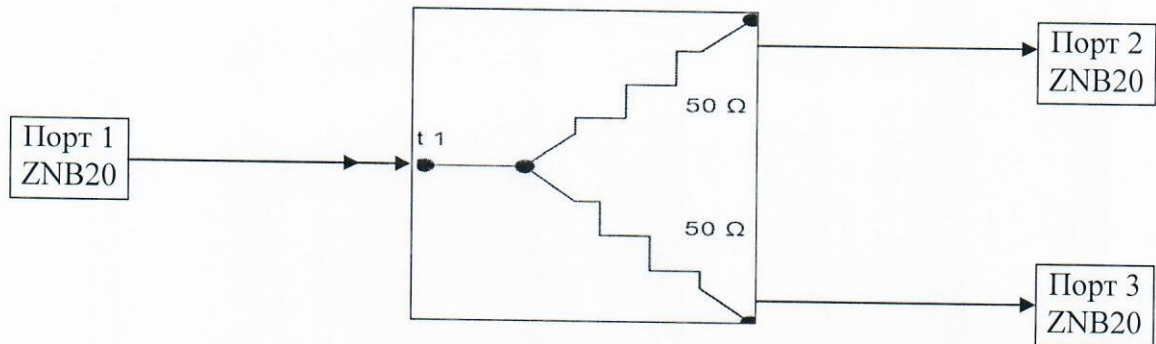


Рисунок 2– Структурная схема соединения СИ для определения коэффициента передачи резистивного делителя мощности

Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.

Провести синхронизацию поверяемого анализатора от внешней опорной частоты 10 МГц генератора сигналов SMA100B.

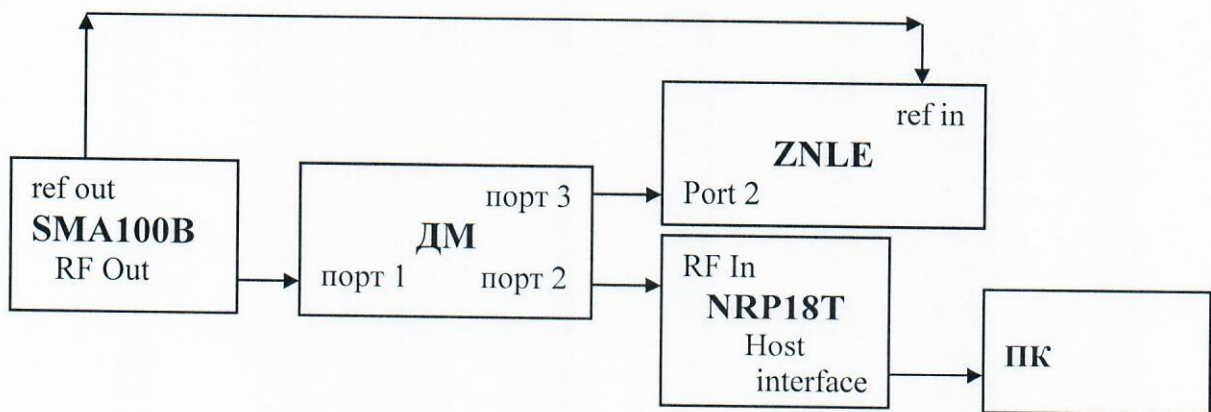


Рисунок 3 – Структурная схема соединения СИ для определения абсолютной погрешности измерений уровня мощности в диапазоне частот

Измерения проводить на фиксированных частотах $F_{\text{ИЗМ}}$, указанных в пункте 10.5.1. Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : Wave: b2 Source Port 1];
- [**Bw Avg Power** : Power : RF Off All Channels];
- [**Sweep** : Sweep Type : CW Mode];
- [**Sweep** : Sweep Params : Number of Points 5];
- [**Bw Avg Power**: Bandwidth : 100 Hz];
- [**Trace**: Trace statistics : Mean/Std Dev/RMS];
- [**Freq**: CW Frequency : $F_{\text{ИЗМ}}$].

При смене рабочей частоты изменять параметр [**Freq** : CW Frequency : $F_{\text{ИЗМ}}$].

Установить на выходе генератора сигналов SMA100B уровень сигнала таким, чтобы показания NRP18T были в диапазоне минус $(10 \pm 0,1)$ дБ (1 мВт).

Зафиксировать результат измерения уровня по показанию поверяемого анализатора P_{ZNLE} , дБ (1 мВт), и значение уровня мощности, измеренное ваттметром P_{NRP} , дБ.

Выполнить операции пункта для всех значений $F_{\text{ИЗМ}}$.

Зафиксировать результаты измерений.

Выполнить операции пункта для 1-ого измерительного приемника b1 поверяемого анализатора, установив предварительно параметр [**Meas** : Wave: b1 Source Port 2] и подключив выход ДМ к порту 1 поверяемого анализатора.

Зафиксировать результаты измерений.

10.6 Определение погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента отражения

Определение погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента отражения выполняется в соответствии с МИ 3411-2013 «Анализаторы цепей векторные. Методика определения метрологических характеристик» (пп. 10.6 и 11.1), после выполнения полных двухпортовых калибровок типа UOSM поверяемого анализатора в конфигурации «розетка»-«вилка» с помощью измерительного кабеля, набора мер ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора и нагрузок из НМКПО. В процессе проведения калибровок изменение температуры окружающего воздуха должно быть не более ± 1 °С. Подключение мер из набора ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора и нагрузок из НМКПО производить с использованием ключа тарированного из соответствующего набора.

Провести процедуры калибровки с помощью НМКПО и по набору мер ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора, при этом устанавливать количество частотных точек таким, чтобы частоты измерений и частоты поверки НМКПО (указанные в протоколе поверки НМКПО) совпадали для исключения погрешности интерполяции между точками.

Сохранить файлы состояний поверяемого анализатора после каждой калибровки в соответствии с РЭ на поверяемый анализатор.

10.7 Определение погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента передачи

Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи выполняется после выполнения полной двухпортовой калибровки поверяемого анализатора. В процессе проведения калибровки и последующих измерений изменение температуры окружающего воздуха должно быть не более ± 1 °С. Подключение мер из набора ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора и нагрузок из НМКПО производить с использованием ключа тарированного из соответствующего набора.

Выполнить предустановку поверяемого анализатора ([**PRESET**]). Установить на поверяемом анализаторе: полосу пропускания 10 Гц, уровень мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт.

Установить количество частотных точек таким, чтобы частоты измерений и частоты поверки НМКПО (указанные в протоколе поверки НМКПО) совпадали для исключения погрешности интерполяции между точками.

Создать измерительную трассу для измерения параметров S_{21} .

Подключить кабели СВЧ к измерительным портам 1 и 2 поверяемого анализатора. Выполнить полную двухпортовую калибровку UOSM в конфигурации «вилка»-«вилка» по набору ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора в соответствии с указаниями руководства по эксплуатации поверяемого анализатора.

Подключить к измерительным портам 1 и 2 поверяемого анализатора через кабели

СВЧ переход измерительный коаксиальный конфигурации «розетка»-«розетка» из НМКПО. Выполнить автомасштабирование измерительных трасс.

Зафиксировать с помощью маркеров значения модуля коэффициента передачи $X_{\text{изм}}$, дБ, и фазы коэффициента передачи $\varphi_{\text{изм}}$, градус, в диапазоне рабочих частот в точках поверки перехода измерительного коаксиального конфигурации «розетка»-«розетка» из НМКПО: 1, 5, 10, 15 ГГц.

Подключить к порту 1 и порту 2 поверяемого анализатора через кабели аттенюатор R&S RSC. На поверяемом анализаторе провести учет вносимого начального ослабления, выполнив для трассы:

- [**Traces:** Mem Math: Data to New Mem]
- [Data/Mem2[Trc1]]
- [Show Mem2[Trc1] : off]

На аттенюаторе поочередно устанавливать номинальные значения разностного ослабления из ряда 10; 20; 30; 40; 60 дБ.

Зафиксировать с помощью маркеров значения модуля коэффициента передачи $A_{\text{изм}}$, дБ, в диапазоне рабочих частот в точках поверки аттенюатора R&S RSC: 1, 5, 10, 15 ГГц.

10.8 Определение модуля коэффициента отражения портов нескорректированного
Определение нескорректированных значений модуля коэффициента отражения измерительных портов провести при помощи анализатора цепей векторного ZNB20.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Bw Avg Power:** Power : RF Off All Channels]

Анализатор цепей ZNB20 откалибровать по срезу измерительного кабеля и провести измерения модуля коэффициента отражения измерительных портов поверяемого анализатора в диапазоне частот от 100 кГц до 18 ГГц в зависимости от модификации поверяемого анализатора и установленной опции.

Зафиксировать результаты измерений.

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Для полученных в пункте 10.1 результатов измерений F_{CNT} , Гц, рассчитать по формуле (1) относительную погрешность установки частоты δF и занести в протокол:

$$\delta F = \frac{F_{\text{НОМ}} - F_{\text{CNT}}}{F_{\text{CNT}}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{НОМ}}$ – установленное значение частоты, Гц;
 F_{CNT} – измеренное значение частоты, Гц.

Рассчитанные значения относительной погрешности установки частоты δF должны находиться в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-6}$.

11.2 Для полученных в пункте 10.2 результатов измерений S_{12} и S_{21} , дБ, рассчитать по формуле (2) и (3) действительные значения динамического диапазона $DR_{д}$, дБ:

$$DR_{д} = -S_{21}, \quad (2)$$

$$DR_{д} = -S_{12}, \quad (3)$$

Действительные значения динамического диапазона $DR_{д}$ должны быть не менее допустимых значений DR , указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Допустимые значения динамического диапазона анализатора

Динамический диапазон при полосе пропускания 10 Гц для модификаций ZNLE3, ZNLE4, ZNLE6, в диапазоне частот, дБ, не менее	от 100 кГц до 50 МГц включ.	100
	св. 50 МГц до 6 ГГц	110
Динамический диапазон при полосе пропускания 10 Гц для модификаций ZNLE14, ZNLE18, в диапазоне частот, дБ, не менее	от 100 кГц до 50 МГц включ.	100
	св. 50 МГц до 16 ГГц включ.	105
	св. 16 до 18 ГГц	100

11.3 Для полученных в пункте 10.3 результатов измерений $N_{1кГц}$, дБ, рассчитать по формуле (4) действительные значения уровня собственного шума приемников $N_{д}$, дБ:

$$N_{д} = N_{1кГц} - 30 \text{ дБ}, \quad (4)$$

Действительные значения уровня собственного шума приемников $N_{д}$ не должны превышать значений N указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимые значения уровня собственного шума приемников

Уровень собственного шума приемников, нормализованный к полосе 1 Гц, в диапазоне частот, дБ относительно 1 мВт, не более	от 100 кГц до 50 МГц включ.	-110
	св. 50 МГц до 6 ГГц включ.	-120
	св. 6 до 16 ГГц включ.	-118
	св. 16 до 18 ГГц	-115

11.4 Из полученных в пункте 10.4 результатов измерений SD_{SHORT} и SD_{OPEN} , дБ/градус, выбрать максимальные значения.

Выбранные максимальные значения SD_{SHORT} и SD_{OPEN} не должны превышать значений указанных в таблице 5.

Таблица 5 - Допустимые среднеквадратические значения шумов трассы

Среднеквадратическое значение шумов измерительной трассы при измерении модуля/фазы коэффициента отражения для уровня выходной мощности 0 дБ относительно 1 мВт, коэффициента отражения 0 дБ, в полосе пропускания 10 кГц в диапазоне частот, дБ/градус, не более		модуль	фаза
		св. 100 кГц до 10 МГц включ.	0,005
св. 10 МГц до 10 ГГц включ.		0,005	0,05
св. 10 до 18 ГГц		0,005	0,05

11.5 Для полученных в пункте 10.5.1 результатов измерений, $P_{1\text{ИЗМ}}$, дБ (1 мВт), рассчитать по формуле (5) абсолютную погрешность установки уровня выходной мощности минус 10 дБ (1 мВт) $\Delta P_{\text{УСТ}}$:

$$\Delta P_{\text{УСТ}} = P_{1\text{ИЗМ}} - P_{\text{УСТ}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{УСТ}}$ – установленный уровень мощности минус 10 дБ (1 мВт).

Рассчитанные значения абсолютной погрешности установки уровня мощности $\Delta P_{\text{УСТ}}$, дБ, должны находиться в пределах ± 2 дБ.

Для полученных в пункте 10.5.1 результатов измерений, $P_{2\text{ИЗМ}}$, дБ (1 мВт), рассчитать по формуле (6) абсолютную погрешность измерения уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) в опорном канале $\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ОК}}$:

$$\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ОК}} = P_{2\text{ИЗМ}} - P_{1\text{ИЗМ}}, \quad (6)$$

Рассчитанные значения абсолютной погрешности измерения уровня мощности $\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ОК}}$, дБ, должны находиться в пределах ± 2 дБ.

Для полученных в пункте 10.5.2 результатов измерений, P_{NRP} и P_{ZNLE} , дБ (1 мВт), рассчитать по формуле (7) абсолютную погрешность измерения уровня выходной мощности минус 10 дБ (1 мВт) $\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ИК}}$:

$$\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ИК}} = P_{\text{NRP}} - P_{\text{ZNLE}}, \quad (7)$$

Рассчитанные значения абсолютной погрешности измерения уровня мощности $\Delta P_{\text{ИЗМ}}^{\text{ИК}}$, дБ, должны находиться в пределах ± 2 дБ.

11.6 В ПО «CalVer» (МИ 3411-2013) загрузить сохранённые файлы состояний анализатора, соответствующие калибровке по набору ZV-Z270 из комплекта поверяемого анализатора и калибровке по НМКПО.

Выбрать отображение трассы погрешности S11 и S22 для значений коэффициента отражения из таблицы 6.

Определить максимальные значение погрешностей для значений модуля коэффициента отражения 0 дБ, 6 дБ, 35 дБ в соответствующих поддиапазонах частот (рис.4).

Рассчитать доверительный интервал погрешности для модуля коэффициента отражения $\Delta S_{P_{0,95}}$ для значений S11 и S22 по формуле (8) и занести в протокол:

$$\Delta S_{P_{0,95}} = \sqrt{\Delta S_{11(22)}^2 - \Delta S_{\text{Эт}11(22)}^2}, \quad (8)$$

где $\Delta S_{\text{Эт}}$ – погрешность определения действительных значений коэффициента отражения нагрузок из НМКПО (для коэффициента отражения = 0 дБ использовать погрешность для мер КЗ, для коэффициента отражения = 6 и 35 дБ – погрешность для СН).

Рассчитать доверительный интервал погрешности для фазы коэффициента отражения $\Delta \varphi_{P_{0,95}}$ по формуле (18) МИ 3411-2013.

Рассчитанные значения доверительного интервала абсолютной погрешности измерения коэффициента отражения не должны превышать указанных в таблице 6.

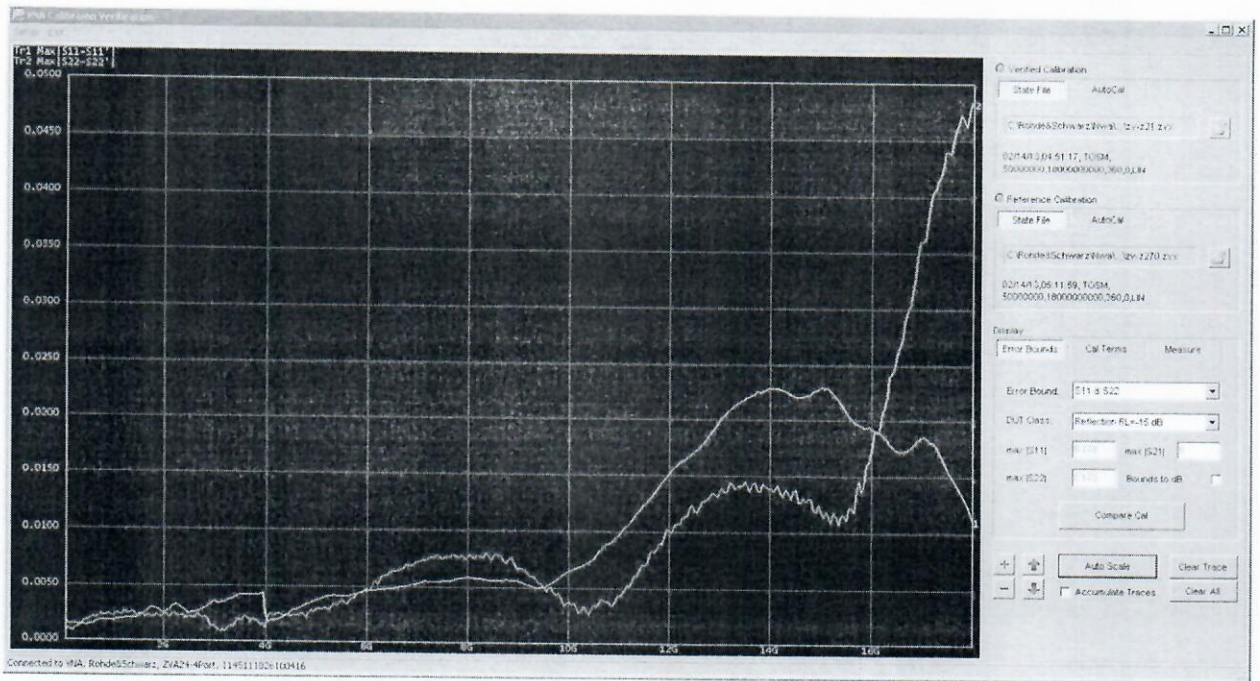


Рисунок 4 – Отображение погрешностей коэффициента отражения в ПО «CalVer»

Таблица 6 - Доверительный интервал погрешности измерения коэффициента отражения (P = 0,95)

Диапазон частот	Коэффициент отражения	Погрешность по модулю, дБ	Погрешность по фазе, градус
от 100 кГц до 8 ГГц включ.	0 дБ	±0,016	±0,9
	6 дБ	±0,009	±1,0
	35 дБ	±0,006	±34,3
св. 8 до 18 ГГц	0 дБ	±0,021	±1,3
	6 дБ	±0,012	±1,4
	35 дБ	±0,008	±45,0

11.7 Для полученных в пункте 10.7 результатов измерений $X_{\text{изм}}$, дБ, рассчитать для каждой из частот поверки абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи для уровня 0 дБ $\Delta X_{\text{КП}}$ по формуле (9) :

$$\Delta X_{\text{КП}} = X_{\text{изм}} - X_{\text{Эт}}, \quad (9)$$

где $X_{\text{Эт}}$ – значения модуля коэффициента передачи перехода измерительного коаксиального конфигурации «вилка»-«вилка» из НМКПО на частоте поверки.

Для полученных в пункте 10.7 результатов измерений $\Phi_{\text{изм}}$, градус, рассчитать для каждой из частот поверки абсолютную погрешность измерений фазы коэффициента передачи для уровня 0 дБ $\Delta \Phi_{\text{КП}}$ по формуле (10) :

$$\Delta \Phi_{\text{КП}} = \Phi_{\text{изм}} - \Phi_{\text{Эт}}, \quad (10)$$

где $\Phi_{\text{Эт}}$ – значения фазы коэффициента передачи перехода измерительного коаксиального конфигурации «вилка»-«вилка» из НМКПО на частоте поверки.

Для полученных в пункте 10.7 результатов измерений $A_{\text{ИЗМ}}$, дБ, рассчитать для каждой из частот поверки абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи в диапазоне уровней от 10 до 60 дБ ΔA , дБ, по формуле 11:

$$\Delta A = A_{\text{ИЗМ}} - A_{\text{ЭТ}}, \quad (11)$$

где $A_{\text{ЭТ}}$ – значения модуль/фаза коэффициента передачи аттенюатора R&S RSC на частоте поверки.

Рассчитать доверительный интервал погрешности для модуля и фазы коэффициента передачи $\Delta S_{21_{P0,95}}$ по формуле (12) и занести в протокол:

$$\Delta S_{21_{P0,95}} = \sqrt{\Delta S_{21}^2 - \Delta S_{\text{ЭТ}21}^2}, \quad (12)$$

где $\Delta S_{21} = \Delta X_{\text{КП}}$, или $\Delta \Phi_{\text{КП}}$, или ΔA ,

$\Delta S_{\text{ЭТ}21}$ – погрешность определения действительных значений модуля коэффициента передачи или фазы коэффициента передачи для уровня 0 дБ измерительных переходов из НМКПО.

Рассчитанные значения доверительного интервала погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи $\Delta S_{21_{P0,95}}$ не должны превышать указанных в таблице 7.

Таблица 7 – Доверительный интервал погрешности измерения коэффициента передачи ($P = 0,95$)

Диапазон частот	Диапазон коэффициентов передачи	Погрешность по модулю, дБ	Погрешность по фазе, градус
От 100 кГц до 6 ГГц включ.	от 0 до 20 дБ	±0,08	±0,5
	св. 20 до 30 дБ	±0,08	–
	св. 30 до 40 дБ	±0,08	–
	св. 50 до 60 дБ	±0,19	–
От 6 до 18 ГГц	от 0 до 20 дБ	±0,08	±0,7
	св. 20 до 30 дБ	±0,08	–
	св. 30 до 40 дБ	±0,09	–
	св. 50 до 60 дБ	±0,31	–

11.8 Результаты измерений, полученные в пункте 10.8 не должны превышать значений, указанных в таблице 8.

Таблица 8 – Значения модуля коэффициента отражения измерительного порта нескорректированного

Модуль коэффициента отражения измерительных портов нескорректированный для модификаций ZNLE3, ZNLE4, ZNLE6, в диапазоне частот, дБ, не более	от 100 кГц до 3 ГГц включ.	-14
	св. 3 до 6 ГГц	-12
Модуль коэффициента отражения измерительных портов нескорректированный для модификаций ZNLE14, ZNLE18, в диапазоне частот, дБ, не более	от 100 кГц до 1 ГГц включ.	-17
	св. 1 до 3 ГГц включ.	-13
	св. 3 до 10 ГГц включ.	-10
	св. 10 до 18 ГГц	-7

11.9 Критериями принятия специалистом, проводившим поверку, решения по подтверждению соответствия средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа, являются:

- обязательное выполнение всех процедур, перечисленных в пп. 8.2; 9; 10, и соответствие действительных значений метрологических характеристик анализаторов цепей векторных ZNLE требованиям, указанным в пункте 11 настоящей методики поверки;

- обеспечение прослеживаемости поверяемых анализаторов цепей векторных ZNLE к государственным первичным эталонам единиц величин в соответствии с:

- Приказом Росстандарта № 1621 от 31.07.2018 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты;

- Приказом Росстандарта № 3461 от 30.12.2019 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц;

- ГОСТ Р 8.813-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений волнового сопротивления, комплексных коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах в диапазоне частот от 0,01 до 65,00 ГГц;

- Приказом Росстандарта №3383 от 30.12.2019 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц.


12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты проверки внешнего осмотра, опробования, идентификации ПО, условий поверки и окончательные результаты измерений (расчетов), полученные в процессе поверки, заносят в протокол поверки. В протокол поверки заносят серийный номер калибровочного набора, с которым проводилась поверка. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в приложении А. Сведения о применяемых средствах поверки, а также результаты промежуточных измерений и расчетов заносят в протокол поверки в соответствии с формой протокола, утверждённой системой менеджмента качества юридического лица или индивидуального предпринимателя, осуществляющего поверку.

12.2 Сведения о результатах поверки средства измерений в целях её подтверждения передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений. Знак поверки может наноситься на верхнюю панель прибора.

12.3 Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений выдаётся по заявлению владельцев средства измерений или лиц, представивших его в поверку. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений должны быть оформлены в соответствии с требованиями действующих правовых нормативных документов.

Начальник лаборатории № 441
ФБУ «Ростест-Москва»



С. Н. Гольшак

Начальник сектора
лаборатории № 441 ФБУ «Ростест-Москва»



А. С. Каледин

Форма протокола поверки анализаторов цепей векторных ZNLE в части определения метрологических характеристик

Таблица А.1 – Условия проведения поверки:

Наименование контролируемого параметра	Значение контролируемого параметра
Температура окружающей среды, °С	
Относительная влажность воздуха, %	
Атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)	

Таблица А.2 – Внешний осмотр

Вид проверки	Заключение
Внешний вид СИ должен соответствовать фотографиям, приведённым в описании типа на данное СИ, при этом допускается незначительное изменение дизайна СИ, не влияющее на однозначное определение типа СИ по внешнему виду	
Наличие маркировки, подтверждающей тип, модификацию и заводской номер СИ	
Наличие пломб от несанкционированного доступа, установленных в местах согласно описанию типа на данное СИ	
Наружная поверхность СИ не должна иметь следов механических повреждений, которые могут влиять на работу СИ и его органов управления	
Разъемы СИ должны быть чистыми	
Комплектность СИ должна соответствовать указанной в технической документации фирмы-изготовителя	

Таблица А.3 – Опробование

Вид проверки	Заклучение
После включения и загрузки программного обеспечения приёмника не должны возникать сообщения об ошибках	
После завершения процедуры самопроверки Selftest не должны возникать сообщения об ошибках	

Таблица А.4 – Идентификация программного обеспечения

Вид проверки	Заклучение
Идентификационное наименование ПО, отображаемое в диалоговом окне Versions+Options должно быть: FW ZNLE	
Номер версии ПО, отображаемый в диалоговом окне Versions+Options должен быть не ниже 1.41	

Таблица А.5 – Определение относительной погрешности установки частоты

Частота	Действительные значения относительной погрешности установки частоты	Пределы допустимых значений относительной погрешности установки частоты
10 МГц		$\pm 2 \cdot 10^{-6}$

Таблица А.6 – Определение динамического диапазона в полосе пропускания 10 Гц

Частота	Действительные значения динамического диапазона, дБ		Допустимые значения динамического диапазона, дБ, не менее
	порт 1	порт 2	
опция В100			
100 кГц			100
500 кГц			
1 МГц			
все модификации			
1,001 МГц			100
20 МГц			
50 МГц			
модификация ZNLE3			
50,001 МГц			110
1 ГГц			
3 ГГц			
модификация ZNLE4			
50,001 МГц			110
2 ГГц			
4,5 ГГц			
модификация ZNLE6			
50,001 МГц			110
3 ГГц			
6 ГГц			
модификация ZNLE14			
50,001 МГц			105
7 ГГц			
14 ГГц			
модификация ZNLE18			
50,001 МГц			105
8 ГГц			
16 ГГц			
16,001 ГГц			100
17 ГГц			
18 ГГц			

Таблица А.7 – Определение уровня собственного шума приемников

Частота	Действительные значения уровня собственного шума приемников, дБ		Допустимые значения уровня собственного шума приемников, дБ, не более
	порт 1	порт 2	
опция В100			
100 кГц			-110
500 кГц			
1 МГц			
все модификации			
1,001 МГц			-110
20 МГц			
50 МГц			
модификация ZNLE3			
50,001 МГц			-120
1 ГГц			
3 ГГц			
модификация ZNLE4			
50,001 МГц			-120
2 ГГц			
4,5 ГГц			
модификация ZNLE6			
50,001 МГц			-120
3 ГГц			
6 ГГц			
модификация ZNLE14			
50,001 МГц			-120
3 ГГц			
6 ГГц			
6,001 ГГц			-118
10 ГГц			
14 ГГц			
модификация ZNLE18			
50,001 МГц			-120
3 ГГц			
6 ГГц			
6,001 ГГц			-118
11 ГГц			
16 ГГц			
16,001 ГГц			-115
17 ГГц			
18 ГГц			

Таблица А.8 – Определение среднеквадратических шумов измерительной трассы

($N_{ит}$)

Диапазон частот	Действительные значения ($N_{ит}$),				Допустимые значения ($N_{ит}$), не более	
	порт 1		порт 2			
	модуль, дБ	фаза, градус	модуль, дБ	фаза, градус	модуль, дБ	фаза, градус
от 100 кГц до 1 МГц (для опции В100)					0,005	0,1
св. 1 до 10 МГц					0,005	0,1
св. 10 МГц до 10 ГГц					0,005	0,05
св. 10 до 18 ГГц					0,005	0,05

Таблица А.9 – Определение абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности минус 10 дБ относительно 1 мВт, дБ

Частота, МГц	Действительные значения погрешности, дБ					
	порт 1			порт 2		
	$\Delta R_{уст}$	$\Delta R_{изм}$ в опорном канале	$\Delta R_{изм}$ в измерит. канале	$\Delta R_{уст}$	$\Delta R_{изм}$ в опорном канале	$\Delta R_{изм}$ в измерит. канале
0,1						
1						
10						
50						
100						
500						
1000						
2000						
3000						
4000						
4500						
5000						
6000						
7000						
8000						
9000						
10000						
11000						
12000						
13000						
14000						
15000						
16000						
17000						
18000						
Пределы допустимых значений $\Delta P \pm 2,0$ дБ						

Таблица А.10 – Определение погрешности измерения коэффициента отражения (КО)

Диапазон частот	КО, дБ	Рассчитанные значение $\Delta S_{P0,95}$, дБ		Доверительный интервал погрешности измерения КО по модулю (P=0,95), дБ
		порт 1	порт 2	
от 100 кГц до 8 ГГц	0			±0,016
	6			±0,009
	35			±0,006
св. 8 до 18 ГГц	0			±0,021
	6			±0,012
	35			±0,008
Диапазон частот	КО, дБ	Рассчитанные значение $\Delta \Phi_{P0,95}$, градус		Доверительный интервал погрешности измерения КО по фазе (P=0,95), градус
		порт 1	порт 2	
от 100 кГц до 8 ГГц	0			±0,9
	6			±1,0
	35			±34,3
св. 8 до 18 ГГц	0			±1,3
	6			±1,4
	35			±45,0

Таблица А.11 – Определение погрешности измерения коэффициента передачи (КП)

Частота	КП, дБ	Рассчитанные значение $\Delta S_{21P0,95}$		Доверительный интервал погрешности измерения КП по модулю (P=0,95), дБ
		порт 1	порт 2	
1	2	3	4	5
1 ГГц	0			±0,08
	10			±0,08
	20			±0,08
	30			±0,08
	40			±0,08
	60			±0,19
5 ГГц	0			±0,08
	10			±0,08
	20			±0,08
	30			±0,08
	40			±0,08
	60			±0,19
10 ГГц	0			±0,08
	10			±0,08
	20			±0,08
	30			±0,09
	40			±0,09
	60			±0,19

Продолжение таблицы А.11

1	2	3	4	5
15 ГГц	0			±0,08
	10			±0,08
	20			±0,08
	30			±0,09
	40			±0,09
	60			±0,19
Частота	КП, дБ	Рассчитанные значение $\Delta S_{21_{P0,95}}$		Доверительный интервал погрешности измерения КП по фазе (P=0,95), градус
		порт 1	порт 2	
1 ГГц	0			±0,5
5 ГГц	0			±0,5
10 ГГц	0			±0,7
15 ГГц	0			±0,7

Таблица А.12 – Определение модуля коэффициента отражения измерительного порта нескорректированного

Частота	Действительные значения модуля коэффициента отражения измерительного порта нескорректированного, дБ		Допустимые значения модуля коэффициента отражения измерительного порта нескорректированного, дБ, не более
	порт 1	порт 2	
модификация ZNLE3			
от 100 кГц до 3 ГГц			-14
модификация ZNLE4			
от 100 кГц до 3 ГГц включ.			-14
св. 3 до 4,5 ГГц			-12
модификация ZNLE6			
от 100 кГц до 3 ГГц включ.			-14
св. 3 до 6 ГГц			-12
модификация ZNLE14			
от 100 кГц до 1 ГГц включ.			-17
св. 1 до 3 ГГц включ.			-13
св. 3 до 10 ГГц включ.			-10
св. 10 до 14 ГГц			-7
модификация ZNLE18			
от 100 кГц до 1 ГГц включ.			-17
св. 1 до 3 ГГц включ.			-13
св. 3 до 10 ГГц включ.			-10
св. 10 до 18 ГГц			-7