



# АНАЛИЗАТОР ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЙ

Р4М-18

Руководство по эксплуатации

Часть III

ЖНКЮ.468166.006 РЭ2

Предприятие-  
изготовитель: ЗАО «НПФ «Микран»  
Адрес: 634045 г. Томск  
ул. Вершинина, 47  
тел: (3822) 42-18-77  
(3822) 41-46-35  
тел/факс: (3822) 42-36-15  
E-mail: [pribor@micran.ru](mailto:pribor@micran.ru)  
сайт: [www.micran.ru](http://www.micran.ru)



## Содержание

Руководство по эксплуатации Часть III. Использование по назначению .....	6
1 Нормативные ссылки .....	6
2 Определения, обозначения и сокращения .....	6
3 Общие указания.....	7
4 Требования безопасности .....	7
5 Типовые операции.....	8
5.1 Визуальный контроль.....	8
5.2 Чистка соединителей.....	9
5.2.1 Чистка соединителей типов 3,5 мм и IX вариант 3 .....	9
5.2.2 Чистка соединителей типов N и III .....	9
5.3 Проверка присоединительных размеров «А» с помощью КИПР-3,5 и КИПР-7.....	10
5.3.1 Общие указания .....	10
5.3.2 Установка нуля измерителя присоединительных размеров .....	10
5.3.3 Проверка размера «А» соединителя «розетка» типов IX вариант 3 и 3,5 мм.....	11
5.3.4 Проверка размера «А» соединителя «вилка» типов IX вариант 3 и 3,5 мм.....	12
5.3.5 Проверка размера «А» соединителя «розетка» типов N и III.....	13
5.3.6 Проверка размера «А» соединителя «вилка» типов N и III.....	14
5.4 Сочленение и расчленение соединителей «вилка» и «розетка» .....	15
5.4.1 Общие указания .....	15
5.4.2 Сочленение соединителей типов IX вариант 3 и 3,5 мм.....	16
5.4.3 Сочленение соединителей типов N и III.....	17
5.4.4 Расчленение соединителей .....	19
5.5 Установка измерителя на рабочее место.....	19
5.6 Подготовка измерителя к работе .....	20
5.7 Включение измерителя .....	20
5.8 Выключение измерителя.....	20
6 Калибровка.....	21
6.1 Порядок использования наборов калибровочных мер .....	21
6.2 Выбор вида калибровки .....	22
6.2.1 Общие сведения о видах калибровок.....	22
6.2.2 Порядок выбора вида калибровки.....	23
6.3 Виды калибровок .....	24
6.3.1 Нормировка .....	24
6.3.2 Однопортовая калибровка .....	27
6.3.3 Двухпортовая калибровка в одном направлении .....	28
6.3.4 Полная двухпортовая калибровка .....	30
6.4 Сохранение и восстановление калибровочных данных .....	31
7 Измерения .....	32
7.1 Управление параметрами измерения.....	32
7.2 Измерение коэффициента отражения.....	37
7.3 Измерение коэффициента передачи .....	39
8 Дополнительные возможности .....	40
8.1 Фазовая задержка.....	40
8.2 Использование переходов.....	41
8.3 Система синхронизации.....	42
Приложение А (справочное) Погрешности измерений.....	46
Приложение Б (справочное) Описание наборов калибровочных мер .....	51

ЖНКЮ.468166.006 РЭ Руководство по эксплуатации Часть I. Общие сведения

ЖНКЮ.468166.006 РЭ1 Руководство по эксплуатации Часть II. Программное обеспечение

Анализатор цепей векторный Р4М-18 выпускается по техническим условиям ЖНКЮ.468166.006 ТУ.

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для изучения устройства, принципа действия, правил использования, транспортирования и хранения анализатора цепей векторного Р4М-18 (далее – измеритель).

Руководство по эксплуатации состоит из трех частей.

- Часть I. Общие сведения;
- Часть II. Программное обеспечение;
- Часть III. Использование по назначению.

В первой части содержатся общие сведения об измерителе, приведены условия эксплуатации, транспортирования и хранения.

Во второй части приведена инструкция по установке и настройке программного обеспечения, дано описание программы.

В третьей части приведена информация по работе с измерителем, методики калибровки, порядок проведения измерений.

Перед началом эксплуатации измерителя необходимо ознакомиться с настоящим РЭ.

Предприятие-изготовитель оставляет за собой право, не уведомляя потребителя, вносить в конструкцию измерителя изменения, не влияющие на его метрологические характеристики.

**ВНИМАНИЕ! ДАННЫЙ ДОКУМЕНТ ЯВЛЯЕТСЯ РЕЗУЛЬТАТОМ ТВОРЧЕСКОГО ТРУДА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОТРУДНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛЯ. НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННОГО ДОКУМЕНТА, РАВНО КАК И ЕГО ЧАСТИ, БЕЗ УКАЗАНИЯ НАИМЕНОВАНИЯ ДОКУМЕНТА И НАИМЕНОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛЯ!  
ЗАПРЕЩАЕТСЯ КОММЕРЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННОГО ДОКУМЕНТА, РАВНО КАК И ЕГО ЧАСТИ, БЕЗ ПИСЬМЕННОГО СОГЛАСИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛЯ!**

Предприятие-изготовитель не несет ответственности за последствия неправильной эксплуатации измерителя, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.

# Руководство по эксплуатации

## Часть III. Использование по назначению

### 1 Нормативные ссылки

В настоящем руководстве по эксплуатации использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ РВ 51914-2002

### 2 Определения, обозначения и сокращения

В настоящем руководстве по эксплуатации использованы следующие сокращения и определения:

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

ИПР – измеритель присоединительных размеров.

ИУ – исследуемое устройство.

КЗ – короткое замыкание.

ПО – программное обеспечение.

РЭ – руководство по эксплуатации.

СЧ – синтезатор частот.

ХХ – холостой ход.

Измерительный блок – измеритель без комплекта принадлежностей и ПК.

Механические повреждения – глубокие царапины, деформации на рабочих поверхностях центральных или внешних проводников соединителей измерителя и комплекта его принадлежностей, вмятины на корпусах, а также другие повреждения, непосредственно влияющие на технические характеристики измерителя. Механические повреждения являются следствием неправильной транспортировки, хранения или эксплуатации.

Набор калибровочных мер – элементы СВЧ тракта, необходимые для выполнения векторной калибровки измерителя.

Пользователь (потребитель) – физическое лицо, допущенное к эксплуатации измерителя и осуществляющее его эксплуатацию в соответствии с настоящим РЭ.

Посторонние частицы – грязь, пыль, металлическая стружка, кусочки ваты, а также другие предметы, не являющиеся элементами конструкции соединителя.

Предприятие-изготовитель – научно-производственная фирма Микран.

Рабочие поверхности центральных проводников – поверхности центральных проводников, осуществляющие электрический контакт при соединении соединителей..

Размах показаний – наибольшая разность между отдельными повторными показаниями измерителя, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях.

Ремонт – комплекс операции по восстановлению исправности или работоспособности измерителя или его составных частей.

Соединитель – электротехническое устройство, предназначенное для механического

соединения (разъединения) электрических цепей, состоящего из 2 частей (вилки и розетки), образующих разъёмное контактное соединение. Соединитель является частью нагрузки, перехода, кабеля СВЧ или другого устройства, которой это устройство сочленяется с соединителем другого устройства.

### 3 Общие указания

К эксплуатации измерителя допускается только квалифицированный персонал, изучивший настоящее РЭ и имеющий практический опыт в области радиотехнических измерений.

Эксплуатация измерителя должна производиться в условиях, указанных в части I настоящего РЭ.

Напряжение питания сети должно соответствовать значениям, указанным в части I настоящего РЭ.

Проведение типовых операций (визуальный контроль, сочленение, расчленение и др.) следует проводить, пользуясь указаниями, изложенными в разделе 5 настоящего РЭ, чтобы избежать поломки измерителя, его соединителей и соединителей подключаемых к нему устройств, а также выявить дефекты измерителя, влияющие на его метрологические характеристики.

Площадь поверхности рабочего стола должна быть достаточной для размещения на ней измерителя, требуемого комплекта принадлежностей и ИУ.

**ВНИМАНИЕ! ОПЕРАЦИИ НАСТРОЙКИ, ПОДКЛЮЧЕНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕМ, УСТАНОВКИ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДРОБНО ОПИСАНЫ В ЧАСТИ II НАСТОЯЩЕГО РЭ. ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ НЕОБХОДИМО С НЕЙ ОЗНАКОМИТСЯ.**

Для управления измерителем служит ПО Graphit, функционирующее в соответствии алгоритму, определённой схемой измерений Р4М.gsz (программный комплекс Р4М ЖНКЮ.02009.00).

**Порядок использования измерителя предполагает 2 этапа:**

а) калибровка, в ходе которой к измерителю подключаются устройства с известными параметрами – меры. По результатам измерений оцениваются характеристики измерительного тракта и влияние подключенных к измерителю кабельных сборок, переходов и т.п.

б) измерение параметров ИУ, в ходе которого выполняется коррекция измеренных величин с учётом данных калибровки.

Выбор вида калибровки и порядок ее проведение следует осуществлять в соответствии с указаниями, изложенными в разделе 6.

Подключение и измерение параметров ИУ следует проводить в соответствии с указаниями, изложенными в разделе 7.

В приложении А рассмотрены источники погрешности измерений и методы их компенсации.

### 4 Требования безопасности

При эксплуатации измерителя необходимо соблюдать требования: «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при

эксплуатации электроустановок потребителей».

На рабочем месте должны быть приняты меры по обеспечению защиты от воздействия статического электричества, а также соблюдены требования ГОСТ 12.3.019.

При проведении всех видов работ с измерителем обязательно использование антистатического браслета, подключенного к шине защитного заземления.

**ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРОИЗВОДИТЬ СОЕДИНЕНИЕ ИЛИ РАЗЪЕДИНЕНИЕ КАБЕЛЯ ETHERNET И КАБЕЛЯ ПИТАНИЯ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ; ЗАПРЕЩАЕТСЯ НАРУШАТЬ ЗАЩИТНЫЕ ПЛОМБЫ, ПРОИЗВОДИТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ.**

## 5 Типовые операции

### 5.1 Визуальный контроль

Цель проведения визуального контроля – выявление видимых дефектов измерителя и (или) подключаемых к нему устройств.

Визуальный контроль проводить в следующей последовательности:

а) сверить заводские номера измерителя и наборов калибровочных мер и кабелей СВЧ из состава измерителя, с номерами, указанными в формуляре. При обнаружении несоответствий дальнейшая работа с измерителем запрещается, оформляется акт несоответствия, проводится выяснение и устранение причин несоответствия;

б) проверить наличие и целостность пломб предприятия-изготовителя, отсутствие следов вскрытия измерительного блока, проверить целостность кабелей питания и Ethernet. При обнаружении несоответствий дальнейшая работа с измерителем запрещается, оформляется акт несоответствия, проводится выяснение и устранение причин несоответствия;

в) провести визуальный контроль целостности и чистоты соединителей измерительного блока, кабельных сборок, измерительных переходов и мер из состава набора калибровочных мер. При обнаружении посторонних частиц провести чистку их соединителей;

**ВНИМАНИЕ! ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СОЕДИНИТЕЛЯ КАКОГО-ЛИБО УСТРОЙСТВА, ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА С ЭТИМ УСТРОЙСТВОМ ЗАПРЕЩАЕТСЯ. УСТРОЙСТВО БРАКУЕТСЯ И ИЗОЛИРУЕТСЯ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ГОДНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ДРУГИХ УСТРОЙСТВ.**

г) провести визуальный контроль целостности и чистоты соединителей устройств, которые будут подключаться к измерителю, мерам из наборов калибровочных мер и кабелям СВЧ из состава измерителя. При обнаружении посторонних частиц провести чистку соединителей.

**ВНИМАНИЕ! ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПО В) И Г) СЛЕДУЕТ ПРОВОДИТЬ ПРИ КАЖДОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ.**



## 5.2 Чистка соединителей

### 5.2.1 Чистка соединителей типов 3,5 мм и IX вариант 3

Чистку соединителей проводить в указанной далее последовательности:

а) протереть поверхности соединителей, указанные стрелками на рисунке 1 палочкой с ватыным тампоном, смоченным в спирте;

**ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.**

б) провести чистку остальных внутренних поверхностей, продув их воздухом;

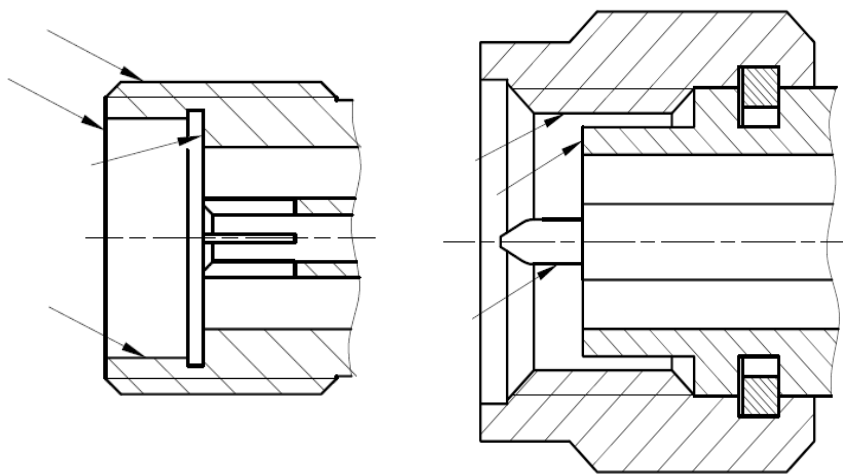


Рисунок 1 – Очищаемые поверхности

**ВНИМАНИЕ! НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ПРОТИРАТЬ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПРОВОДНИК СОЕДИНИТЕЛЕЙ «РОЗЕТКА». ЧИСТКУ ПРОВОДИТЬ ПРОДУВКОЙ ВОЗДУХОМ.**

в) просушить соединители, убедиться в отсутствии остатков спирта внутри соединителей;

г) провести визуальный контроль чистоты соединителей, убедиться в отсутствии посторонних частиц. В случае необходимости чистку повторить.

### 5.2.2 Чистка соединителей типов N и III

Чистку соединителей проводить в указанной далее последовательности:

а) протереть поверхности соединителей, указанные стрелками на рисунке 2, палочкой с ватыным тампоном, смоченным в спирте;

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.**

б) провести чистку остальных внутренних поверхностей соединителей, продув их воздухом;

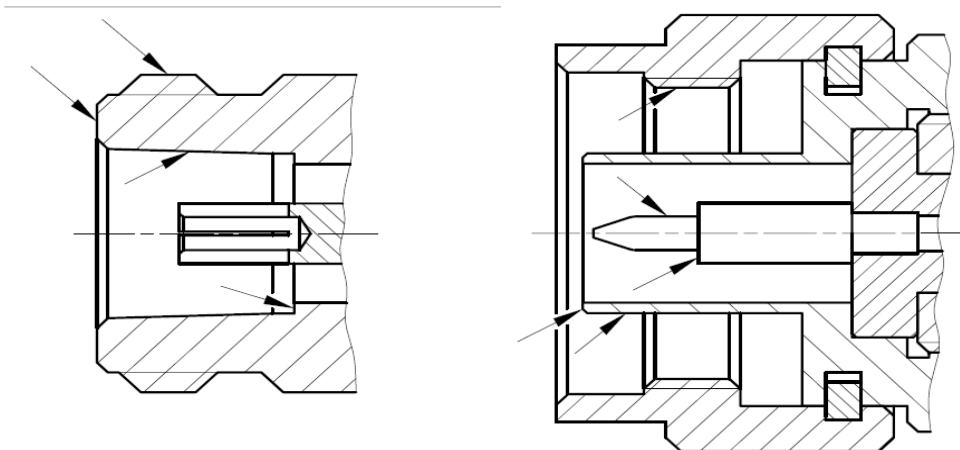


Рисунок 2 – Очищаемые поверхности

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРОТИРАТЬ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПРОВОДНИК СОЕДИНИТЕЛЕЙ «РОЗЕТКА». ЧИСТКУ ПРОВОДИТЬ ПРОДУВКОЙ ВОЗДУХОМ.**

в) просушить соединители, убедиться в отсутствии остатков спирта внутри соединителей;

г) провести визуальный контроль чистоты соединителей, убедиться в отсутствии посторонних частиц. В случае необходимости чистку повторить.

### 5.3 Проверка присоединительных размеров «А» с помощью КИПР-3,5 и КИПР-7

#### 5.3.1 Общие указания

Для измерений присоединительных размеров «А» соединителей типов IX вариант 3, 3,5 мм, N и III по ГОСТ РВ 51914 используют комплекты измерителей присоединительных размеров КИПР-3,5 (для соединителей типов IX и 3,5 мм) и КИПР-7 (для соединителей типов N и III).

При измерении присоединительных размеров с помощью другого оборудования методика проведения измерений может отличаться от приведенной ниже.

Периодичность проведения проверки присоединительных размеров устройств определяется интенсивностью их использования, но не реже одного раза на каждые 50 подключений.

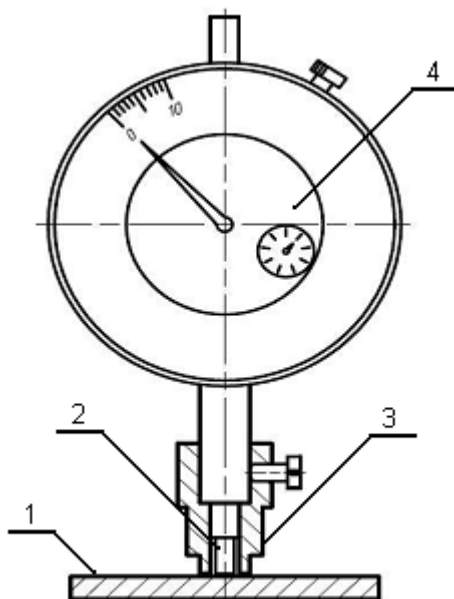
Перед проведением измерений с помощью КИПР-3,5 и КИПР-7 необходимо провести калибровку или установку нуля. В результате проведения этой операции фиксируется «нулевой» уровень, от которого при измерениях будут проводиться отсчеты измеряемых размеров.

#### 5.3.2 Установка нуля измерителя присоединительных размеров

Установка нуля проводится с помощью планки, входящей в комплект КИПР-3,5 и КИПР-7 и используемого измерителя присоединительных размеров. Установка нуля прово-

дится в указанной далее последовательности:

- установить ИПР на планку 1 для совмещения плоскости торца втулки 3 и контактной поверхности измерительного наконечника 2, как показано на рисунке 3;



1- планка; 2 - измерительный наконечник; 3 – втулка; 4 – индикатор

Рисунок 3 – Установка нуля измерителя присоединительных размеров

- совместить нулевую отметку поворотной шкалы индикатора 4 (рисунок 3) с положением большой стрелки, зафиксировать «нулевое» положение (отметить положение стрелки малой шкалы индикатора);

- несколько раз (не менее трех) поднять и опустить измеритель на планку, проверяя каждый раз при опускании совмещение большой стрелки с нулевой отметкой шкалы, размах показаний не должен превышать половины деления большой шкалы.

### 5.3.3 Проверка размера «А» соединителя «розетка» типов IX вариант 3 и 3,5 мм

Проверка присоединительного размера «А» соединителей типов IX вариант 3 и 3,5 мм, «розетка» проводится с помощью измерителя присоединительных размеров «ИПР-3,5-розетка».

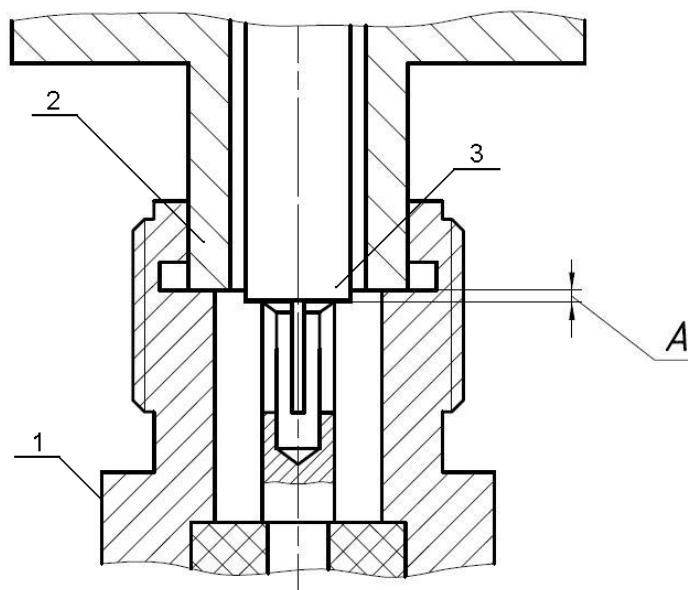
Перед проведением измерений необходимо провести установку нуля (5.3.2). Измерение присоединительного размера «А» проводить в указанной далее последовательности:

а) взять устройство с проверяемым соединителем 1, аккуратно ввести в него измеритель, как показано на рисунке 4, при этом втулка 2 должна войти во внешний проводник соединителя, торец втулки должен плотно, без перекосов соприкасаться с опорной плоскостью внешнего проводника, контактная поверхность измерительного наконечника 3 с плоскостью центрального проводника;

б) за результат измерений считать отклонение стрелок от нулевого положения;

в) повторить операции а), б) несколько раз (не менее трех), каждый раз поворачивая соединитель и измеритель друг относительно друга на угол, приблизительно равный 120°;

г) если хотя бы один результат выходит за пределы заданного допуска, то проверяемый соединитель считать непригодным;



1- устройство с проверяемым соединителем; 2 - втулка; 3 – измерительный наконечник

Рисунок 4 – Проверка присоединительного размера «А» соединителя «розетка» типов IX вариант 3 и 3,5 мм

**Примечание** – В случае, если результат одного измерения отличается от других более чем в 2–3 раза, провести повторные измерения.

д) если все измеренные значения находятся в пределах допуска, то за действительное значение проверяемого размера принять среднеарифметическое значение из всех измеренных.

#### 5.3.4 Проверка размера «А» соединителя «вилка» типов IX вариант 3 и 3,5 мм

Проверка присоединительного размера «А» соединителя типов IX вариант 3 и 3,5 мм, «вилка» проводится с помощью измерителя присоединительных размеров «ИПР-3,5-вилка».

Перед проведением измерений необходимо провести установку нуля (5.3.2). Измерение присоединительного размера «А» проводить в указанной далее последовательности:

а) взять устройство с проверяемым соединителем 1, аккуратно ввести в него измеритель, как показано на рисунке 5. При этом центральный проводник соединителя должен войти в отверстие измерительного наконечника 3, контактная поверхность измерительного наконечника должна соприкасаться с плоскостью центрального проводника, торец втулки 2 с опорной плоскостью внешнего проводника. Соединение торца втулки 2 с опорной плоскостью внешнего проводника должно быть плотным, без перекосов;

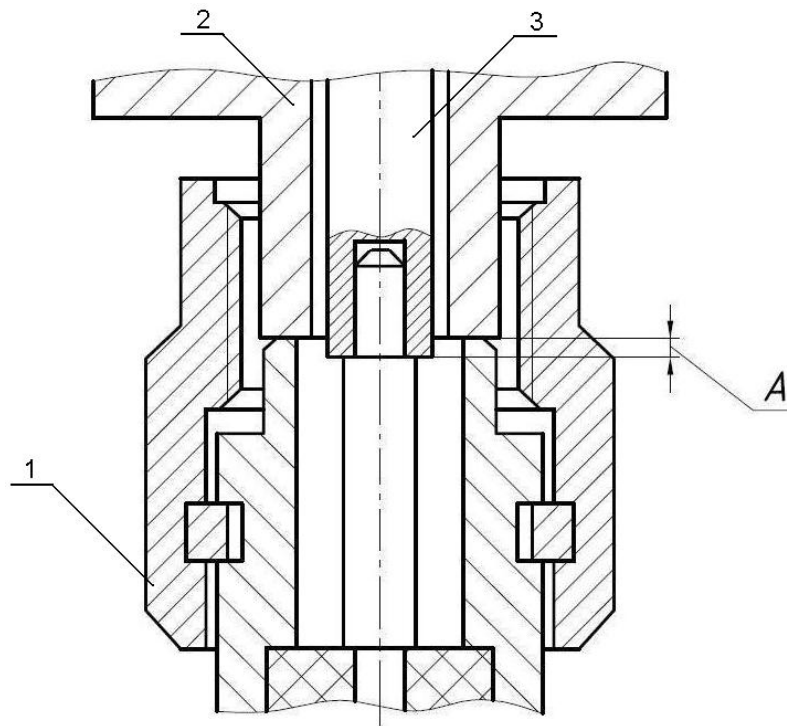
б) за результат измерений считать отклонение стрелок от нулевого положения;

в) повторить операции а), б) несколько раз (не менее трех), каждый раз поворачивая соединитель и измеритель друг относительно друга на угол, приблизительно равный 120°;

г) если хотя бы один результат выходит за пределы заданного допуска, то проверяемый соединитель считать непригодным;

**Примечание** – В случае, если результат одного измерения отличается от других более чем в 2–3 раза, то необходимо провести повторные измерения.

д) если все измеренные значения лежат в пределах допуска, то за действительное значение размера «А» принять среднеарифметическое из всех измеренных.



1- устройство с проверяемым соединителем; 2 - втулка; 3 – измерительный наконечник

Рисунок 5 – Проверка присоединительного размера «А» соединителя «вилка»

### 5.3.5 Проверка размера «А» соединителя «розетка» типов N и III

Проверка присоединительного размера «А» соединителей типов N и III, «розетка» проводится с помощью измерителя присоединительных размеров «ИПР-7-розетка».

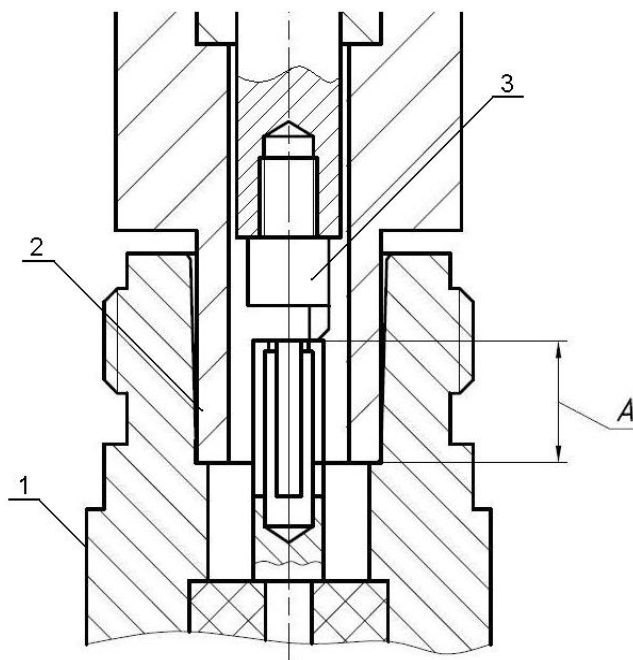
Перед проведением измерений необходимо провести установку нуля (5.3.2). Измерение присоединительного размера «А» проводить в указанной далее последовательности:

а) взять устройство с проверяемым соединителем 1, ввести в него «ИПР-7-розетка», как показано на рисунке 6. При этом втулка 2 должна войти во внешний проводник соединителя, торец втулки должен плотно, без перекосов соприкоснуться с плоскостью внешнего проводника, контактная поверхность измерительного наконечника 3 с опорной плоскостью центрального проводника;

б) за результат измерений считать отклонение стрелок от «нулевого» положения, установленного при калибровке;

в) повторить операции а) и б) несколько раз (не менее трех), каждый раз поворачивая ИПР на угол, приблизительно равный 120°;

г) если хотя бы один результат выходит за пределы заданного поля допуска, указанного в ГОСТ РВ 51914, то проверяемый соединитель считать непригодным;



1 - устройство с проверяемым соединителем; 2 - втулка; 3 – измерительный наконечник

Рисунок 6 – Проверка размера «А» соединителя «розетка»

**Примечание** – В случае, если результат одного измерения отличается от других более чем на 0,1 мм, провести повторные измерения.

д) если все измеренные значения находятся в пределах допуска, то за действительное значение проверяемого размера принять среднеарифметическое значение из всех измеренных.

### 5.3.6 Проверка размера «А» соединителя «вилка» типов N и III

Проверка присоединительного размера «А» соединителей типов N и III, «вилка» проводится с помощью измерителя присоединительных размеров «ИПР-7-вилка».

Перед проведением измерений необходимо провести установку нуля (5.3.2). Измерение присоединительного размера «А» проводить в указанной далее последовательности:

а) взять устройство с проверяемым соединителем 1, ввести в него «ИПР-7-вилка», как показано на рисунке 7. При этом центральный проводник соединителя «вилка» должен войти в отверстие измерительного наконечника 3, контактная поверхность измерительного наконечника должна соприкоснуться с плоскостью центрального проводника, торец втулки 2 с опорной плоскостью внешнего проводника. Сочленение торца втулки 2 с опорной плоскостью внешнего проводника должно быть плотным, без перекосов;

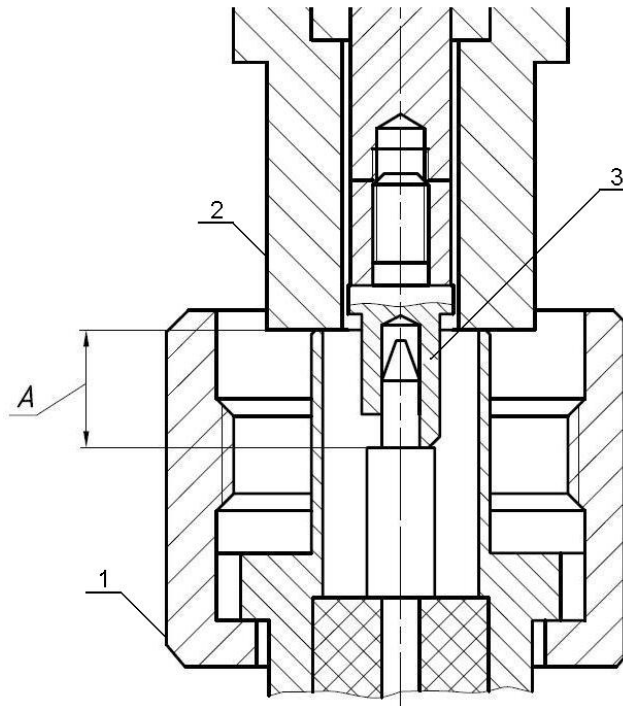
б) за результат измерений считать отклонение стрелок от «нулевого» положения, установленного при калибровке;

в) повторить операции а), б) несколько раз (не менее трех), каждый раз поворачивая ИПР на угол, приблизительно равный 120°;

г) если хотя бы один результат выходит за пределы заданного поля допуска, указанного в ГОСТ РВ 51914, то проверяемый соединитель считать непригодным;

**Примечание** – В случае, если результат одного измерения отличается от других более чем на 0,1 мм, провести повторные измерения.

д) если все измеренные значения находятся в пределах допуска, то за действительное значение проверяемого размера принять среднеарифметическое значение из всех измеренных.



1 - устройство с проверяемым соединителем; 2 - втулка; 3 – измерительный наконечник

Рисунок 7 – Проверка размера «А» соединителя «вилка»

## 5.4 Сочленение и расчленение соединителей «вилка» и «розетка»

### 5.4.1 Общие указания

Перед сочленением следует провести визуальный контроль целостности и чистоты соединителей подключаемых устройств и, при необходимости, выполнить проверку присоединительных размеров.

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРОИЗВОДИТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЕ:**

- УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ;
  - УСТРОЙСТВ, У КОТОРЫХ БЫЛИ ОБНАРУЖЕНЫ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ИЛИ ПОСТОРОННИЕ ЧАСТИЦЫ, КОТОРЫЕ НЕ УДАЛЯЮТСЯ В ПРОЦЕССЕ ЧИСТКИ;
  - УСТРОЙСТВ, У СОЕДИНИТЕЛЕЙ КОТОРЫХ ВЫЯВЛЕНЫ НЕСООТВЕТСТВИЯ ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ.
- НЕВЫПОЛНЕНИЕ ЭТИХ ДЕЙСТВИЙ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ СОЕДИНИТЕЛЕЙ УСТРОЙСТВ.**

При сочленении необходимо зафиксировать корпус одного из подключаемых устройств. Это необходимо для исключения его смещения при сочленении.

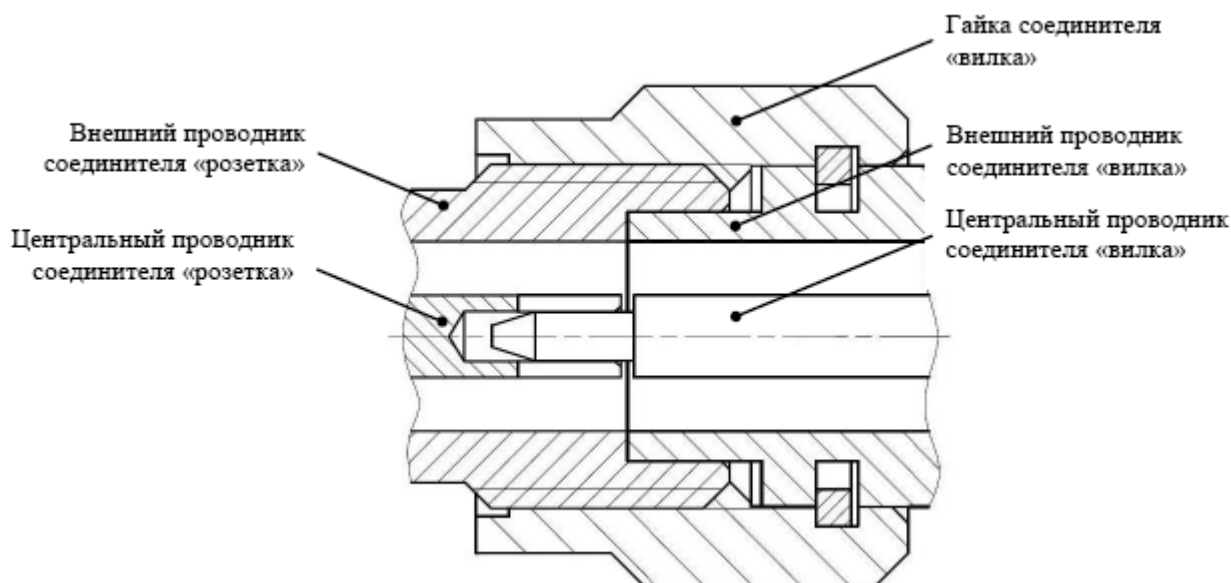
Устройство, фиксация которого обеспечена, будем называть зафиксированным или устройством, к которому проводится подключение. Устройство, которое не зафиксировано – подключаемым (отключаемым) устройством.

#### 5.4.2 Сочленение соединителей типов IX вариант 3 и 3,5 мм

Сочленение проводить в указанной далее последовательности:

- а) аккуратно совместить соединители зафиксированного и подключаемого устройств;
- б) удерживая подключаемое устройство, накрутить гайку соединителя «вилка» таким образом, чтобы центральный проводник соединителя «вилка» вошел в центральный проводник соединителя «розетка». При этом рабочие поверхности центральных проводников и опорные плоскости внешних проводников должны соприкасаться, как показано на рисунке 8;

**ВНИМАНИЕ! ПРИСОЕДИНЕНИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ВРАЩЕНИЕМ ГАЙКИ СОЕДИНИТЕЛЯ «ВИЛКА».**  
**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВРАЩАТЬ КОРПУС ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА.**  
**ВРАЩЕНИЕ КОРПУСА ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА ПРИВОДИТ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ ОБОИХ УСТРОЙСТВ.**



(слева – соединитель «розетка», справа – «вилка»)

Рисунок 8 – Соединение соединителей типов 3,5 мм и IX вариант

- в) с помощью ключа с калиброванным усилием затянуть гайку соединителя «вилка», при этом удерживать подключаемое устройство пальцами или с помощью ключа гаечного (поддерживающего ключа), предохраняя его от проворачивания. Окончательное затягивание гайки соединителя «вилка» проводить, удерживая ключ за канавку на конце ручки в месте, указанном стрелкой на рисунке 9. Затягивание прекратить в момент излома ручки ключа.



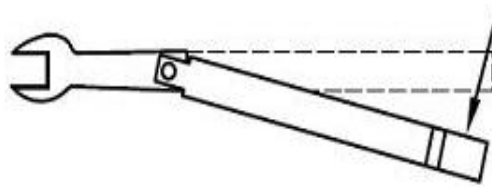


Рисунок 9 – Допускаемый излом ключа

**Примечание** – Излома ручки ключа, изображенного на рисунке 9, достаточно для достижения усилия затягивания  $(0,9 \pm 0,1)$  Н·м.

**ВНИМАНИЕ! НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ПРОВОДИТЬ ЗАТЯГИВАНИЕ ДО ИЗЛОМА КЛЮЧА, ИЗОБРАЖЕННОГО НА РИСУНКЕ 10. ПРЕВЫШЕНИЕ УСИЛИЯ ЗАТЯГИВАНИЯ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.**

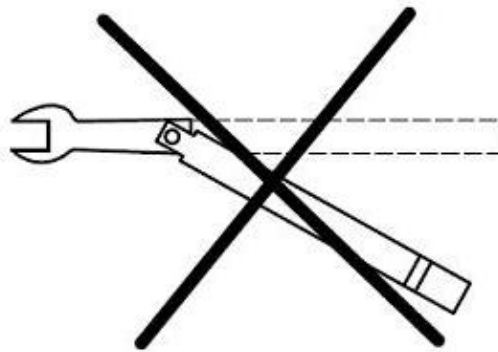


Рисунок 10 – Недопустимый излом ключа

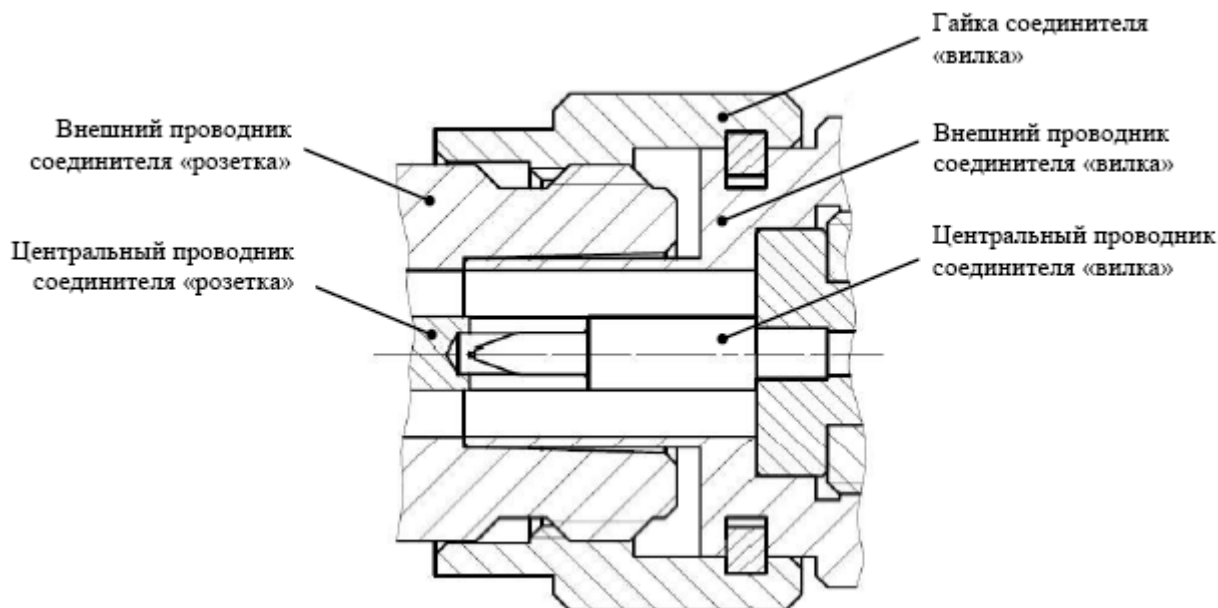
### 5.4.3 Сочленение соединителей типов N и III

Сочленение проводить в указанной далее последовательности:

- а) аккуратно совместить соединители сочленяемых устройств;
- б) удерживая подключаемое устройство, руками накрутить гайку соединителя «вилка». При этом рабочие поверхности центральных проводников и опорные плоскости внешних проводников должны соприкасаться, как показано на рисунке 11;

**ВНИМАНИЕ! СОЧЛЕНЕНИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ВРАЩЕНИЕМ ГАЙКИ СОЕДИНИТЕЛЯ «ВИЛКА».**

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВРАЩАТЬ КОРПУС ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА. ВРАЩЕНИЕ КОРПУСА ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА ПРИВОДИТ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ ОБОИХ УСТРОЙСТВ.**



(слева – соединитель «розетка», справа – «вилка»)

Рисунок 11 – Сочленение соединителей типов III или N

в) затянуть с помощью тарированного ключа гайку соединителя «вилка», при этом следует удерживать подключаемое устройство пальцами или с помощью ключа гаечного, предохраняя его от проворачивания. Окончательное затягивание гайки соединителя «вилка» проводить, удерживая ключ за канавку на конце ручки в месте, указанном стрелкой на рисунке 12. Затягивание прекратить в момент излома ручки ключа.

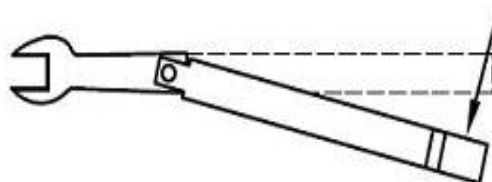


Рисунок 12 – Допустимый излом ключа

**Примечание** – Излом ручки ключа, изображенный на рисунке 12, достаточен для достижения требуемого усилия затягивания.

**ВНИМАНИЕ! НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ПРОВОДИТЬ ЗАТЯГИВАНИЕ ДО ИЗЛОМА КЛЮЧА, ИЗОБРАЖЕННОГО НА РИСУНКЕ 13.**

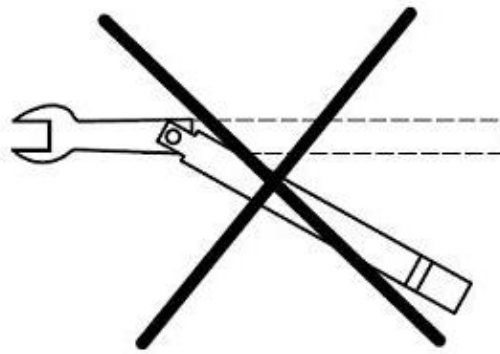


Рисунок 13 – Недопустимый излом ключа

#### 5.4.4 Расчленение соединителей

Расчленение соединителей проводится в последовательности обратной сочленению.

В ходе выполнения всей операции следует удерживать отключаемое устройство в таком положении, чтобы центральный проводник его соединителя находился на той же прямой, что и до расчленения.

**ВНИМАНИЕ! ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ РАСЧЛЕНЯЕМЫХ УСТРОЙСТВ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ ИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.**

Расчленение соединителей проводить в указанной далее последовательности:

- а) с помощью ключа, которым проводилось затягивание, ослабить крепление гайки соединителя «вилка», при этом удерживать подключаемое устройство пальцами или с помощью ключа гаечного, предохраняя его корпус от проворачивания;
- б) удерживая отключаемое устройство в таком положении, чтобы центральный проводник его соединителя находился на той же прямой, что и до расчленения, раскрутить гайку соединителя «вилка»;
- в) расчленить соединители.

#### 5.5 Установка измерителя на рабочее место

Перед установкой измерителя на рабочее место необходимо убедиться, что на рабочем месте выполнены требования 3 и 4 настоящего РЭ, относящиеся к рабочему месту.

Установить измеритель на ровную поверхность рабочего стола так, чтобы все ножки измерителя упирались в нее, и обеспечивался свободный доступ к разъемам и выключателю питания. Расстояние между задней панелью измерителя и соседними предметами должно быть не менее 100 мм.

Устройства, подключаемые к измерителю, должны располагаться на рабочей поверхности стола или непосредственно над ней.

**ВНИМАНИЕ! НЕ ДОПУСКАЮТСЯ ЧРЕЗМЕРНЫЕ ПЕРЕГИБЫ КАБЕЛЕЙ ПИТАНИЯ И ETHERNET.**

## 5.6 Подготовка измерителя к работе

В случае если измеритель и комплект принадлежностей находились в условиях, отличных от условий эксплуатации, выдержать их в условиях эксплуатации не менее двух часов.

Провести визуальный контроль по 5.1.

Провести проверку присоединительных размеров измерителя, мер и переходов из наборов калибровочных мер и кабелей СВЧ из комплекта измерителя, а также устройств, которые к ним будут подключаться.

## 5.7 Включение измерителя

Включение измерителя проводится в следующей последовательности:

- а) включить компьютер;
- б) установить программное обеспечение, если оно не было ранее установлено (см. РЭ часть II);
- в) убедиться, что переключатель ВКЛ измерителя находится в выключенном положении;
- г) соединить клемму « $\perp$ » на задней панели измерителя с шиной защитного заземления;
- д) соединить измеритель и компьютер с помощью кабеля *Ethernet*;
- е) подключить измеритель к сети ~ 220 В 50 Гц с помощью кабеля питания;
- ж) установить переключатель ВКЛ в положение включено «I», не более чем через 1 минуту должны начать светиться индикаторы состояния переключателя электропитания ВКЛ и «a2» на передней панели измерителя;
- з) запустить ПО и подключиться к измерителю (см. РЭ часть II);
- и) выдержать измеритель в течение времени установления рабочего режима.

## 5.8 Выключение измерителя

Выключение измерителя проводится в следующей последовательности:

- а) остановить процесс измерений;
- б) закрыть программное обеспечение;
- в) при необходимости, разобрать схему измерений;
- г) выключить измеритель, установив переключатель ВКЛ на передней панели измерителя в положение выключено «O»;
- д) при необходимости, отсоединить измеритель сначала от компьютера, затем от сети ~ 220 В 50 Гц, затем от шины защитного заземления.

## 6 Калибровка

### 6.1 Порядок использования наборов калибровочных мер

В процессе калибровки к портам измерителя подключаются устройства с известными параметрами – калибровочные меры отражения и передачи. Сравнивая известные и измеренные параметры калибровочных мер, ПО Graphit вычисляет факторы ошибок (см. приложение А), которые будут использоваться для коррекции измерений.

Для калибровки измерителя используют наборы калибровочных мер из комплекта измерителя:

- набор калибровочных мер НКММ-03-03Р (тип IX вариант 3);
- набор калибровочных мер НКММ-13-13Р (тип 3,5 мм);
- набор калибровочных мер НКММ-01-01Р (тип III);
- набор калибровочных мер НКММ-11-11Р (тип N).

В наборы калибровочных мер входят переходы с соединителями соответствующим портам измерителя с одной стороны и соединителями требуемого типа с другой. В качестве мер отражения используются нагрузки холостого хода, короткозамкнутые и согласованные. Характеристики калибровочных мер содержатся в файле на компакт-диске из состава набора калибровочных мер.

#### Какие нагрузки лучше использовать – согласованные или рассогласованные?

Погрешности измерений в основном определяются точностью параметров калибровочных мер. Поэтому лучше те нагрузки, параметры которых более точно заданы.

Хорошая согласованная нагрузка отражает порядка минус 40 дБ (0,01 в линейном масштабе), а в расчётах коэффициент отражения принимается равным 0. Таким образом, ошибка описания согласованной нагрузки составляет  $\pm 0,01$ .

Параметры нагрузок, изготовляемых в НПФ "Микран", измеряются с помощью эталонного векторного анализатора цепей. Который после TRL-калибровки измеряет коэффициент отражения от рассогласованной нагрузки  $\sim 0,2$  с погрешностью не хуже  $\pm 0,005$ .

Характеристики калибровочных мер содержатся в файле описания набора, который необходимо выбрать перед использованием набора. После выбора пункта меню "Калибровка \ Список калибровочных наборов..." (рисунок 14) появляется диалоговое окно управления наборами калибровочных мер (рисунок 15).

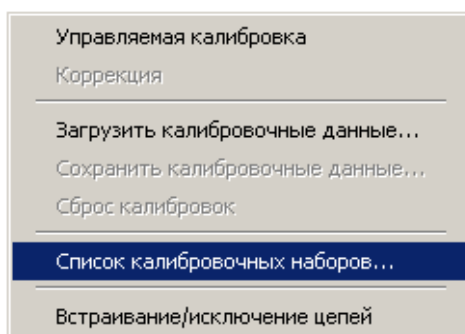


Рисунок 14 – Меню калибровки

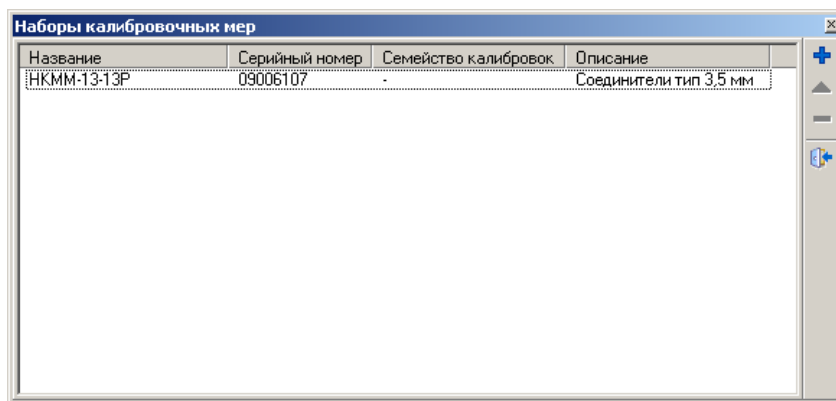


Рисунок 15 – Управление наборами калибровочных мер

В центральной части диалогового окна управления наборами калибровочными наборами перечислены доступные калибровочные наборы. Нажатие кнопки "+" в правой части открывает стандартное диалоговое окно открытия файла, с помощью которого можно добавить файл описания требуемого набора в список доступных наборов. Двойной щелчок "мышью" по строке в списке наборов или нажатие кнопки "▲" загружает редактор калибровочных наборов. Кнопка "-" удаляет набор из списка доступных. Кнопка с дверкой закрывает диалоговое окно.

В приложении Б рассмотрены редактор файла описания характеристик мер из набора калибровочных мер, используемые модели калибровочных мер, способы описания.

## 6.2 Выбор вида калибровки

### 6.2.1 Общие сведения о видах калибровок

Погрешности измерений обусловлены шумами, помехами и неидеальностью аппаратуры. Значительная часть неидеальностей аппаратуры постоянна во времени и проявляется в виде систематических составляющих в результатах измерений. Для их компенсации используется модель, включающая 12 параметров (факторов ошибок), которые вычисляются в процессе калибровки.

Предусмотрены следующие виды калибровок:

Нормировка частотной неравномерности

- нормировка тракта отражения
- нормировка тракта передачи (на проход)

Однопортовая векторная калибровка

- в прямом направлении (для измерения  $S_{11}$ )
- в обратном направлении (для измерения  $S_{22}$ )

Двухпортовая векторная калибровка

- в прямом направлении (для измерения  $S_{11}, S_{21}$ )
- в обратном направлении (для измерения  $S_{22}, S_{12}$ )
- полная двухпортовая в обоих направлениях (для измерения  $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ )

**Нормировка** – простейший вид калибровки и коррекции. В ходе калибровки запоминается последовательность, характеризующая частотную неравномерность тракта передачи или тракта отражения. Коррекция заключается в делении измеренных величин на значения, запомненные при калибровке.

**Однопортовая векторная калибровка** применяется перед измерением отражения от

однопортовых устройств. При измерении устройств, подключенных к обоим портам измерителя, однопортовая калибровка компенсирует часть факторов ошибок, поэтому измерения не столь точны, как при использовании полной двухпортовой калибровки.

Двухпортовая векторная калибровка в одном направлении представляет собой комбинацию однопортовой векторной калибровки и нормировки. Измерение отражения не отличается от измерений при однопортовой калибровке – компенсируются те же факторы ошибок. При измерении коэффициента передачи компенсируются следующие факторы ошибок: неравномерность тракта передачи (как при нормировке), рассогласование источника и изоляция между портами.

Полная двухпортовая векторная калибровка в обоих направлениях компенсирует 10 факторов ошибок (исключая изоляцию) или все 12. Коррекция результатов измерения после полной двухпортовой калибровки требует поочередного зондирования в прямом и обратном направлениях, поэтому измерения могут выполняться вдвое медленнее, чем в других вариантах калибровки.

Очевидно, что чем больше компенсируется факторов ошибок, тем выше точность измерений. При этом нельзя забывать, что оценка факторов также выполняется с некоторой погрешностью, которая в свою очередь зависит от качества калибровочных мер.

Для отдельных S-параметров могут применяться калибровочные данные разного вида, если они не противоречат друг другу. Например, для измерения  $S_{11}$  и  $S_{21}$  может использоваться двухпортовая векторная калибровка в прямом направлении и одновременно с этим для измерения  $S_{22}$  и  $S_{12}$  может применяться нормирование.

## 6.2.2 Порядок выбора вида калибровки

**Процесс калибровки начинается** с выбора пункта меню "Калибровка \ Управляемая калибровка" (рисунок 16).

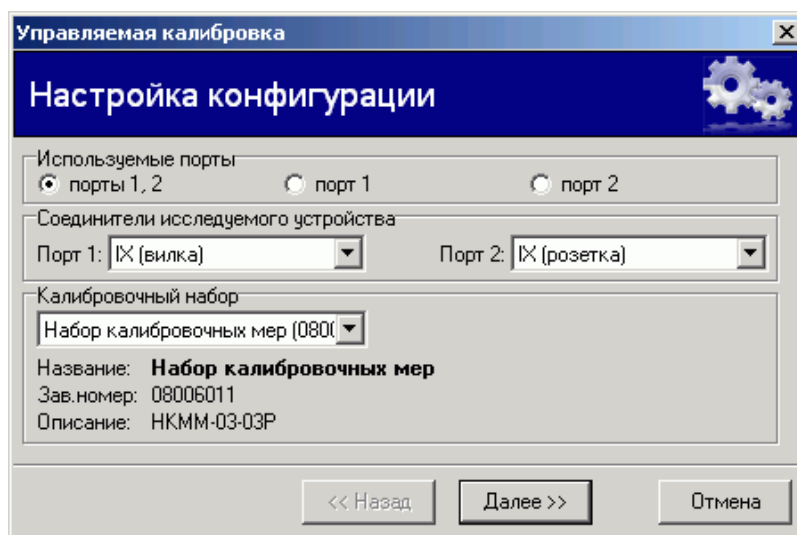


Рисунок 16 – Первый шаг мастера управляемой калибровки

Радио-кнопки в группе "Используемые порты" задают используемые при калибровке и измерении порты измерителя. Если выбран один из портов – "порт 1" или "порт 2", то измеряться будет только отражение от ИУ, подключенного к порту 1 или 2. Если выбрана радио-кнопка "порты 1, 2", то измеряться могут как отражение от ИУ, так и передача через него.

В группе "Соединители исследуемого устройства" в полях со списком выбираются

типы соединителей: IX, III, N, 3,5/SMA розетка или вилка. В списке доступных типов соединителей отображаются только соединители, используемые в файлах описания наборов калибровочных мер (см. 6.1).

Поле со списком в группе "Калибровочный набор" мастера управляемой калибровки позволяет выбрать набор для предстоящей калибровки. В списке отображаются только те наборы, которые имеют в своём составе меры с соединителями, совпадающими с соединителями ИУ.

## 6.3 Виды калибровок

### 6.3.1 Нормировка

Нормировка – в общем случае это деление измеряемого S-параметра на некоторую комплексную величину, характеризующую коэффициент передачи тракта.

**Нормировке коэффициента передачи** должна предшествовать калибровка на проход (рисунок 17), в ходе которой измеренные значения запоминаются в качестве калибровочных данных. Дополнительно может быть измерена изоляция между портами.

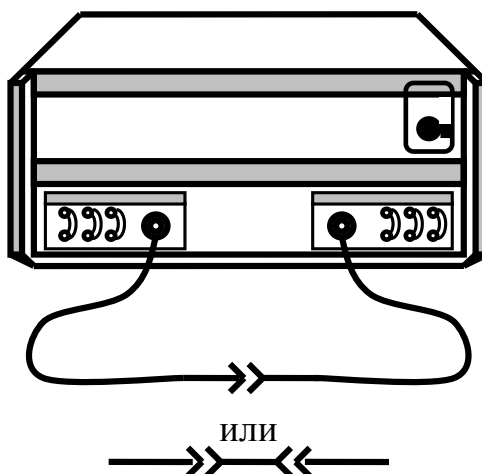


Рисунок 17 – Калибровка на проход

Последовательность калибровки для нормировки коэффициента передачи:

- Шаг 1. Задать частотный диапазон, количество точек, уровень выходной мощности, выбрать фильтр ПЧ (см. 7.1).
- Шаг 2. Выбрать пункт меню "Калибровка \ Управляемая калибровка".  
Появится диалоговое окно мастера управляемой калибровки. Выбрать соединители ИУ и набор калибровочных мер; в группе "Используемые порты" – радио-кнопку "порты 1, 2" и нажать кнопку "Далее". Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.
- Шаг 3. В поле со списком "Тип калибровки" выбрать вариант "Частотной неравномерности на проход", как показано на рисунке 18.



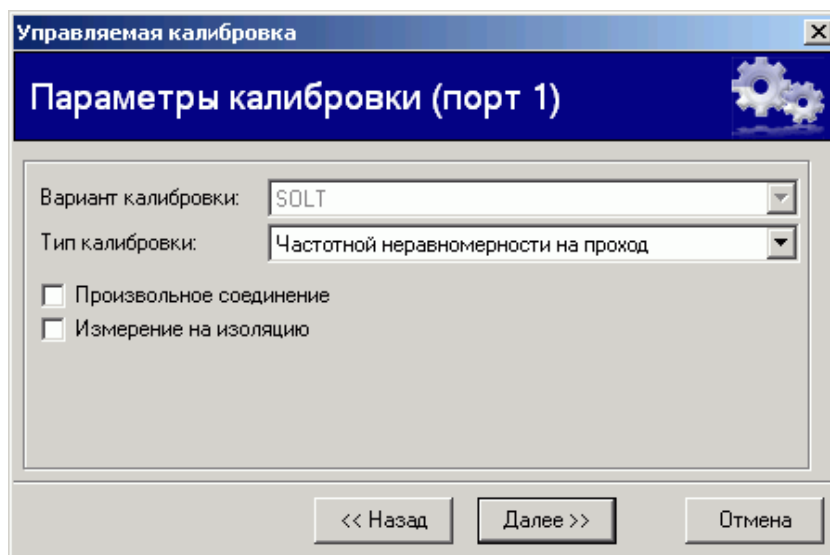


Рисунок 18 – Параметры нормировки на проход

При сброшенном флажке "Произвольное соединение" мастер калибровки в последующих шагах предложит подключить меру на проход из набора калибровочных мер, а при коррекции результатов измерений будут учтены параметры меры на проход. При установленном флажке "Произвольное соединение" в качестве меры на проход будет использоваться произвольное устройство, включенное на проход. В этом случае результат коррекции будет представлять собой отличие коэффициента передачи ИУ от коэффициента передачи устройства, на которое выполнялась калибровка, что часто применяется при настройке по образцу.

Установка флажка "Измерение на изоляцию" позволит измерить и учесть при коррекции результатов измерений изоляцию между измерительными портами.

Шаг 4. Нажать кнопку "Далее" и следовать инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит соединить измерительные порты, используя меру на проход из калибровочного набора или произвольную. Если в предыдущем шаге было задано измерение изоляции, то будет предложено подключить к портам согласованные или рассогласованные нагрузки. После выполнения всех необходимых измерений появится окно, свидетельствующее о завершении калибровки.

После успешного завершения калибровки установится флажок в пункте меню "Калибровка \ Коррекция". Флажок в пункте меню "Калибровка \ Коррекция" может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

**Нормировка коэффициента отражения** может выполняться на одну из нагрузок – холостого хода (ХХ), короткозамкнутую (КЗ) или произвольную (с неизвестными параметрами). Кроме того нормировка может выполняться на среднее (точнее полу-разность) величин отражений от нагрузки ХХ и КЗ. Дополнительно может быть измерено отражение от согласованной нагрузки, для оценки направленности измерительного порта. Схема калибровки приведена на рисунке 19.

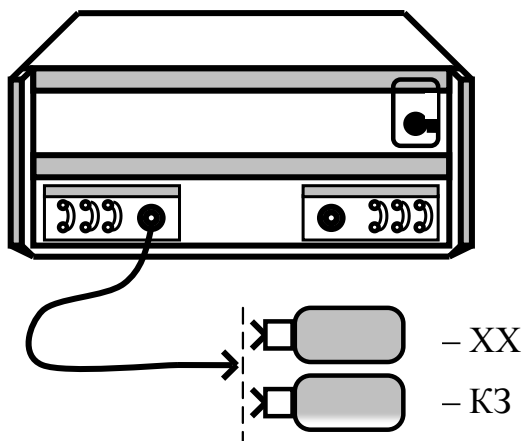


Рисунок 19 – Калибровка на XX и КЗ

Последовательность калибровки для нормировки коэффициента отражения:

- Шаг 1. Задать частотный диапазон, количество точек, уровень выходной мощности, выбрать фильтр ПЧ (см. 7.1).
- Шаг 2. Выбрать пункт меню "Калибровка \ Управляемая калибровка".  
Появится диалоговое окно мастера управляемой калибровки. Выбрать соединители ИУ и набор калибровочных мер, в группе "Используемые порты" – радио-кнопку "порт 1" или "порт 2" и нажать кнопку "Далее". Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.
- Шаг 3. В поле со списком "Тип калибровки" выбрать вариант "Частотной неравномерности по отражению", как показано на рисунке 20.

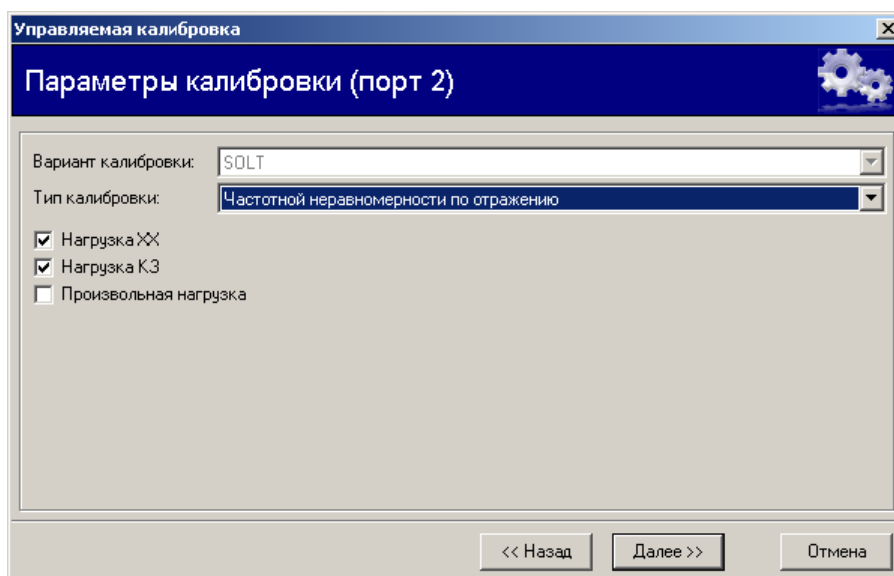


Рисунок 20 – Параметры нормировки на отражение

Флажки "Нагрузка XX", "Нагрузка КЗ" и "Произвольная нагрузка" задают нагрузки, на которые будет выполнена калибровка. Установка флажка "Нагрузка XX" или "Нагрузка КЗ" сбрасывает флажок "Произвольная нагрузка" и наоборот.

В зависимости от выбранных нагрузок мастер калибровки в последующих шагах предложит подключить те или иные нагрузки. Если используются нагрузки XX и/или КЗ параметры мер будут прочитаны из набора калибровочных мер. При установлен-

ном флажке "Произвольная нагрузка" в качестве меры на отражение будет использоваться произвольное устройство (с неизвестным коэффициентом отражения), подключенное к измерительному порту. В этом случае результат коррекции будет представлять собой отличие коэффициента отражения ИУ от коэффициента отражения устройства, на которое выполнялась калибровка, что может применяться при настройке по образцу.

Шаг 4. Нажать кнопку "Далее" и следовать инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту выбранные на предыдущем шаге нагрузки.

После выполнения всех необходимых измерений появится окно, свидетельствующее о завершении калибровки.

После успешного завершения калибровки установится флажок в пункте меню "Калибровка \ Коррекция".

В приложении А приведены формулы и дополнительные комментарии к различным вариантам нормировки.

### 6.3.2 Однопортовая калибровка

Однопортовая векторная калибровка оценивает три фактора ошибок и применяется только для измерения отражения –  $S_{11}$  или  $S_{22}$ , в зависимости от номера калибруемого порта. Схема калибровки приведена на рисунке 22.

Последовательность однопортовой калибровки:

Шаг 1. Задать частотный диапазон, количество точек, уровень выходной мощности, выбрать фильтр ПЧ (см. 7.1).

Шаг 2. Выбрать пункт меню "Калибровка \ Управляемая калибровка".

Появится диалоговое окно мастера управляемой калибровки. Выбрать соединители ИУ и набор калибровочных мер, в группе "Используемые порты" – радио-кнопку "порт 1" или "порт 2" и нажать кнопку "Далее". Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 3. В поле со списком "Тип калибровки" выбрать вариант "Однопортовая", как показано на рисунке 21.

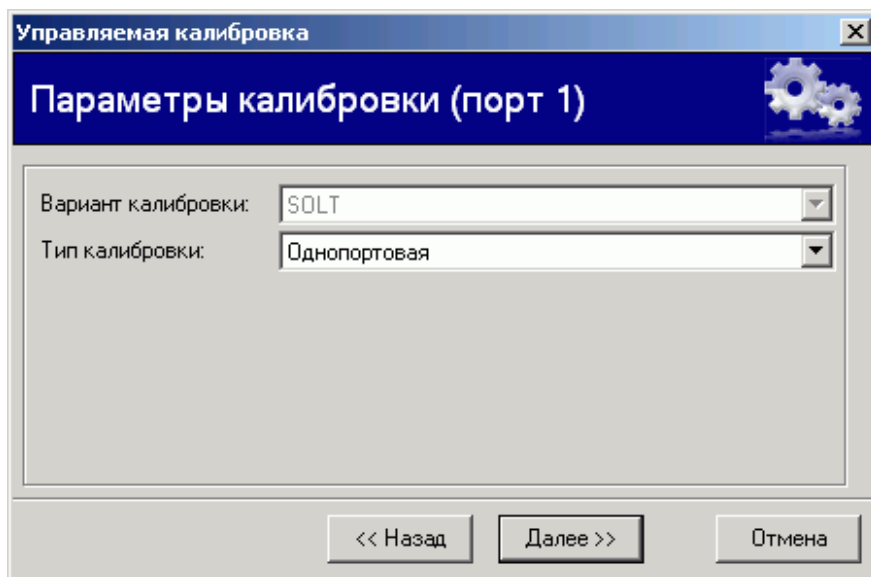


Рисунок 21 – Выбор однопортовой калибровки

Шаг 4. Нажать кнопку "Далее" и следовать инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту нагрузки XX, КЗ (рисунок 22), а также согласованную или рассогласованную нагрузку (в наборы калибровочных мер, поставляемые с измерителем, входят только согласованные нагрузки).

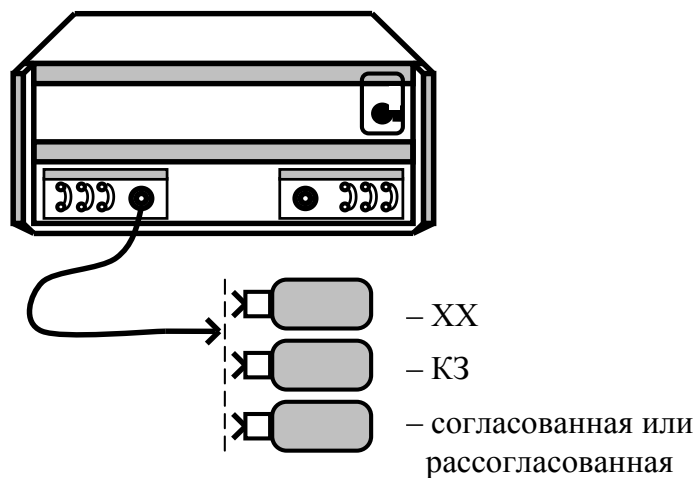


Рисунок 22 – Однопортовая калибровка

По окончании калибровки вычисляются значения трёх факторов ошибок, которые будут использоваться в последующих измерениях (при установленном флажке в меню "Калибровка \ Коррекция").

### 6.3.3 Двухпортовая калибровка в одном направлении

Двухпортовая векторная калибровка в одном направлении включает в себя векторную однопортовую калибровку, а также калибровки на проход и изоляцию. Двухпортовая калибровка в одном направлении позволяет измерять отражение и передачу при зондировании только в одном направлении. Если на диаграммах нет трасс, требующих зондирование в про-

тивоположном направлении, то измерения будут выполняться с максимальной скоростью. Если требуется зондирование в двух направлениях, то использование двухпортовой калибровки в одном направлении нецелесообразно. Лучше воспользоваться полной двухпортовой калибровкой, обеспечивающей более точные измерения.

Последовательность двухпортовой калибровки в одном направлении:

Шаг 1. Задать частотный диапазон, количество точек, уровень выходной мощности, выбрать фильтр ПЧ (см. 7.1).

Шаг 2. Выбрать пункт меню "Калибровка \ Управляемая калибровка".

Появится диалоговое окно мастера управляемой калибровки. Выбрать соединители ИУ и набор калибровочных мер, в группе "Используемые порты" – радио-кнопку "порты 1, 2" и нажать кнопку "Далее". Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 3. В поле со списком "Тип калибровки" выбрать вариант "Двухпортовая (порт 1)" или "Двухпортовая (порт 2)", как показано на рисунке 23.

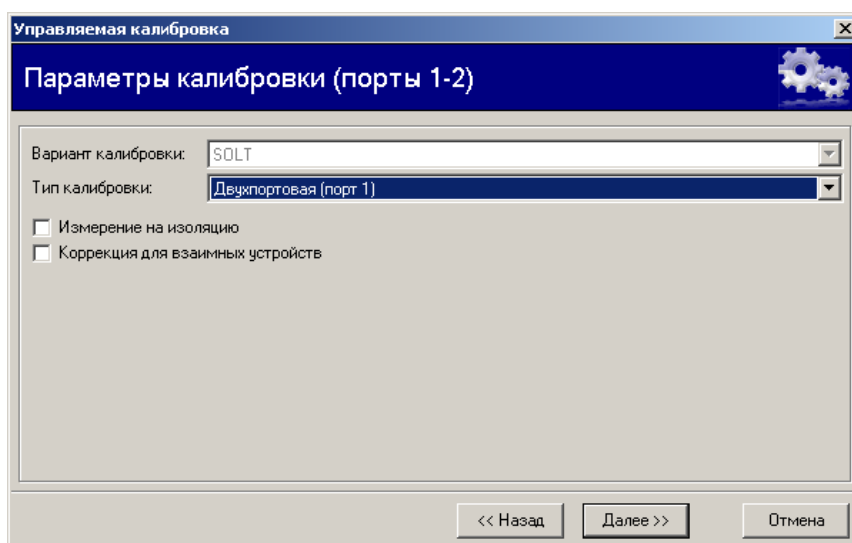


Рисунок 23 – Выбор двухпортовой калибровки в одном направлении

Установка флажка "Измерение на изоляцию" позволит измерить и учесть при коррекции результатов измерений изоляцию между измерительными портами.

При установке флажка "Коррекция для взаимных устройств" для расчета факторов ошибок используются дополнительные математические равенства с целью увеличения точности измерений. Рекомендуется при тестировании взаимных устройств.

Шаг 4. Нажать кнопку "Далее" и следовать инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту нагрузки ХХ, КЗ, а также согласованную или рассогласованную нагрузку.

Если в предыдущем шаге было задано измерение изоляции, то будет предложено подключить согласованные или рассогласованные нагрузки к обоим измерительным портам, как показано на рисунке 24.

На последнем этапе калибровки будет предложено соединить измерительные порты непосредственно на проход (если позволяют соединители) или через коаксиальный переход из набора калибровочных мер.



Рисунок 24 – Измерение изоляции между портами

По окончании калибровки вычисляются значения пяти факторов ошибок. Если в процессе калибровки не была измерена изоляция (например, по причине отсутствия двух согласованных нагрузок), то ошибки изоляции приравниваются нулю.

Результаты калибровки используются при установленном флажке в меню "Калибровка \ Коррекция".

### 6.3.4 Полная двухпортовая калибровка

Полная двухпортовая векторная калибровка включает в себя две однопортовые калибровки, калибровку на проход в оба направления и измерение изоляции также в оба направления.

#### Последовательность полной двухпортовой калибровки:

Шаг 1. Задать частотный диапазон, количество точек, уровень выходной мощности, выбрать фильтр ПЧ (см. 7.1).

Шаг 2. Выбрать пункт меню "Калибровка \ Управляемая калибровка".

Появится диалоговое окно мастера управляемой калибровки. Выбрать соединители ИУ и набор калибровочных мер, в группе "Используемые порты" – радио-кнопку "порты 1, 2" и нажать кнопку "Далее". Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 3. В поле со списком "Тип калибровки" выбрать вариант "Двухпортовая (порт 1-2)", как показано на рисунке 25.

Установка флажка "Измерение на изоляцию" позволит измерить и учесть при коррекции результатов измерений изоляцию между измерительными портами.

Шаг 4. Нажать кнопку "Далее" и следовать инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительным портам нагрузки ХХ, КЗ, а также согласованную или рассогласованную нагрузку.

Если в предыдущем шаге было задано измерение изоляции, то будет предложено подключить согласованные или рассогласованные нагрузки к обоим измерительным портам.

На последнем этапе калибровки будет предложено соединить измерительные порты непосредственно на проход (если позволяют соединители) или через коаксиальный

переход из набора калибровочных мер.

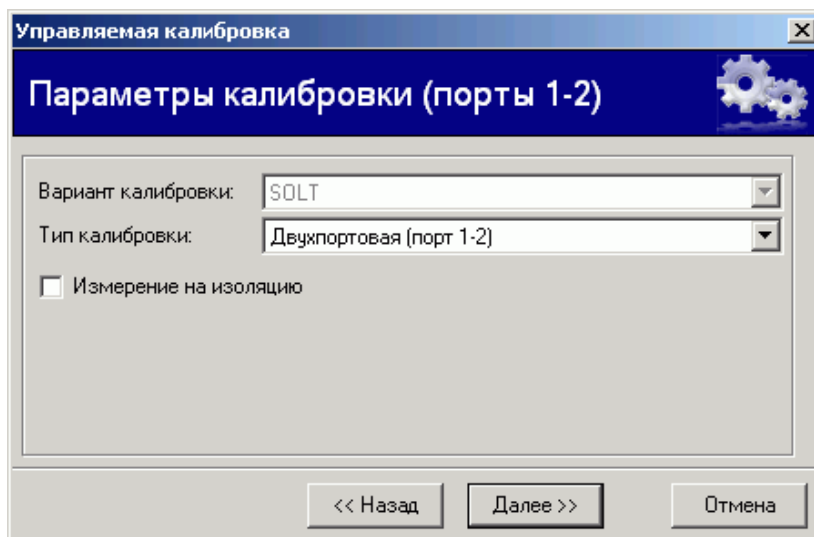


Рисунок 25 – Выбор полной двухпортовой калибровки

По окончании калибровки вычисляются значения 12 факторов ошибок. Если в процессе калибровки не была измерена изоляция (например, по причине отсутствия двух согласованных нагрузок), то ошибки изоляции приравниваются нулю.

Результаты калибровки используются при установленном флажке в меню "Калибровка \ Коррекция".

#### 6.4 Сохранение и восстановление калибровочных данных

Пункт меню "Калибровка \ Сохранить калибровочные данные..." позволяет записать результаты калибровки в файл на диске. Соответственно, пункт меню "Калибровка \ Загрузить калибровочные данные..." позволяет прочитать с диска калибровочные данные. Если было выполнено две калибровки, например две однопортовые, то данные обеих калибровок будут сохранены в одном файле.

После чтения калибровочных данных, как и после калибровки, автоматически устанавливается флажок "Калибровка \ Коррекция".

Калибровочные данные могут быть сброшены выбором пункта меню "Калибровка \ Сброс калибровок" или временно отключены очисткой флажка в пункте меню "Калибровка \ Коррекция".

## 7 Измерения

### 7.1 Управление параметрами измерения

Схема измерения g4m.gsz содержит один измерительный канал и 12 "Измерений"<sup>1)</sup> в нём, как показано на рисунке 26.

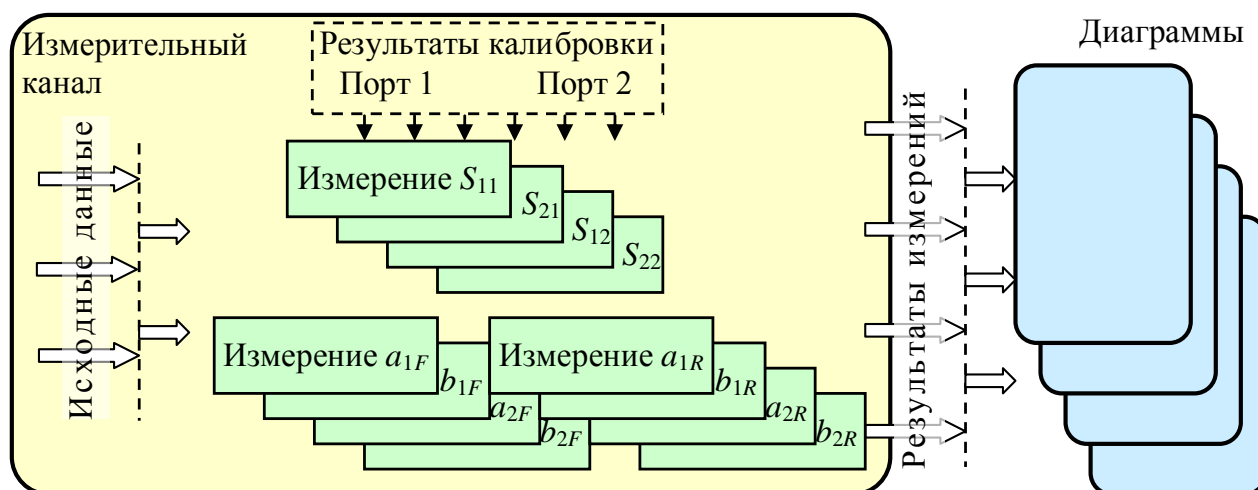


Рисунок 26 – Блок-схема обработки данных

Измерительный канал в каждой частотной точке формирует четыре комплексные амплитуды сигналов на входах приёмников – опорные  $a_1$ ,  $a_2$  и отражённые или прошедшие через исследуемое устройство  $b_1$ ,  $b_2$ . В "Измерениях  $S_{11}...S_{22}$ " из комплексных амплитуд вычисляются "некорректированные S-параметры":

$$S_{11}^M = b_{1F} / a_{1F}, \quad S_{21}^M = b_{2F} / a_{1F}, \quad S_{12}^M = b_{1R} / a_{2R}, \quad S_{22}^M = b_{2R} / a_{2R}.$$

Символ "M" (от англ.: *Measured* – измеренный) в верхнем индексе означает некорректированный. Символы "F" (от англ.: *forward*) и "R" (от англ.: *reverse*) в нижних индексах означают направление зондирования.

Из "некорректированных S-параметров" с использованием калибровочных данных вычисляются оценки S-параметров ИУ, которые затем отображаются в диаграммах в заданных форматах. Коррекция выполняется, если была выполнена соответствующая калибровка и флажок в меню "Калибровка \ Коррекция" установлен, в противном случае в диаграмму поступают "некорректированные S-параметры".

"Измерения  $a_{1F}$ ,  $b_{1F}...b_{2R}$ " служат для индикации уровней мощности в трактах ПЧ измерительных приёмников  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  и  $b_2$  при прямом и обратном зондировании. Перечисленные "Измерения" служат только для контроля наличия сигнала на тех или иных входах измерителя и применяются в сложных схемах измерения с использованием конфигурируемого блока.

На рисунке 27 представлен пример отображения результатов измерений программным обеспечением.

<sup>1)</sup> Здесь и далее слово "Измерение" в кавычках означает часть измерительного канала.



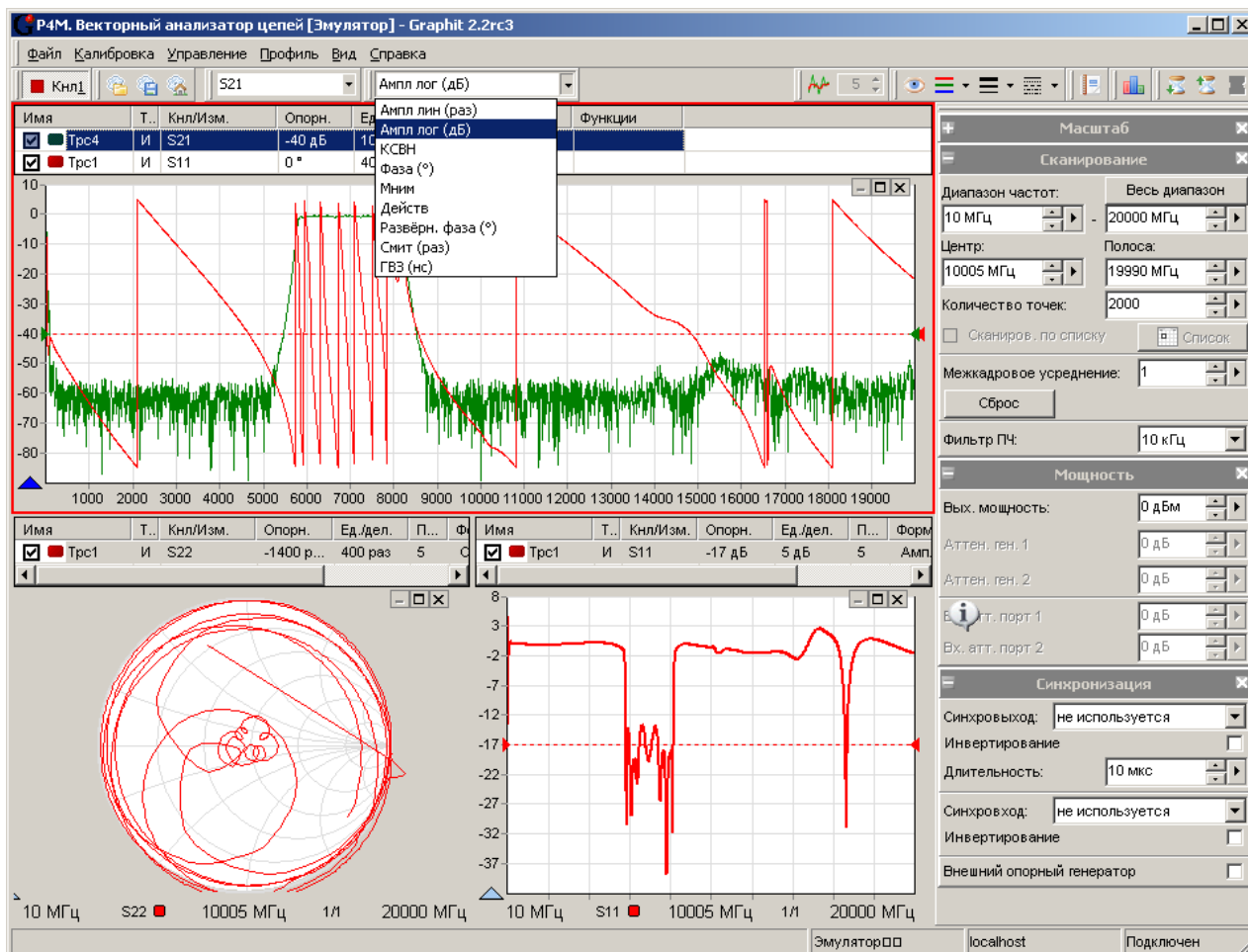


Рисунок 27

**Параметры измерительного канала** задаются в панелях управления "Сканирование", "Мощность" и "Синхронизация".

В полях с регулировкой значений "**Диапазон частот**" задаются начальное и конечное значения частоты. В полях с регулировкой значений "**Центр**" и "**Полоса**" задаются центральная частота и полоса обзора. Если изменить диапазон частот, то в соответствии с новым диапазоном будут пересчитаны "**Центр**" и "**Полоса**", а при изменении "**Центра**" или "**Полосы**" будет пересчитан диапазон.

При вводе значений с клавиатуры фон поля ввода становится жёлтым, сигнализируя пользователю о том, что параметры ещё не переданы прибору. Введённые с помощью клавиатуры параметры передаются в прибор по нажатию клавиши "Enter". Щелчки и движение колеса "мыши" обрабатываются немедленно. Прибор, получив параметры, может скорректировать их значения. В этом случае значения в соответствующих полях изменятся.

В полях ввода диапазона частот, центра и полосы ввод значения можно закончить символом "G" или "Г", чтобы ввести величину в 1000 раз большую, т.е. ввести частоту в гигагерцах. Ввод после числового значения символа "к" (латиницей или кириллицей) приведёт к вводу величины в 1000 раз меньшей, что соответствует частоте в килогерцах.

В поле с регулировкой значения "**Вых. мощн**" задаётся уровень мощности зондирующего сигнала.

Поле с регулировкой значения "**Фильтр ПЧ**" задаёт полосу пропускания цифрового фильтра промежуточной частоты. Выбор более узкой полосы пропускания повышает отно-

шение сигнал/шум, но увеличивает время измерения. На рисунке 28 приведены АЧХ фильтра ПЧ для полос 10 кГц, 1 кГц и 100 Гц.

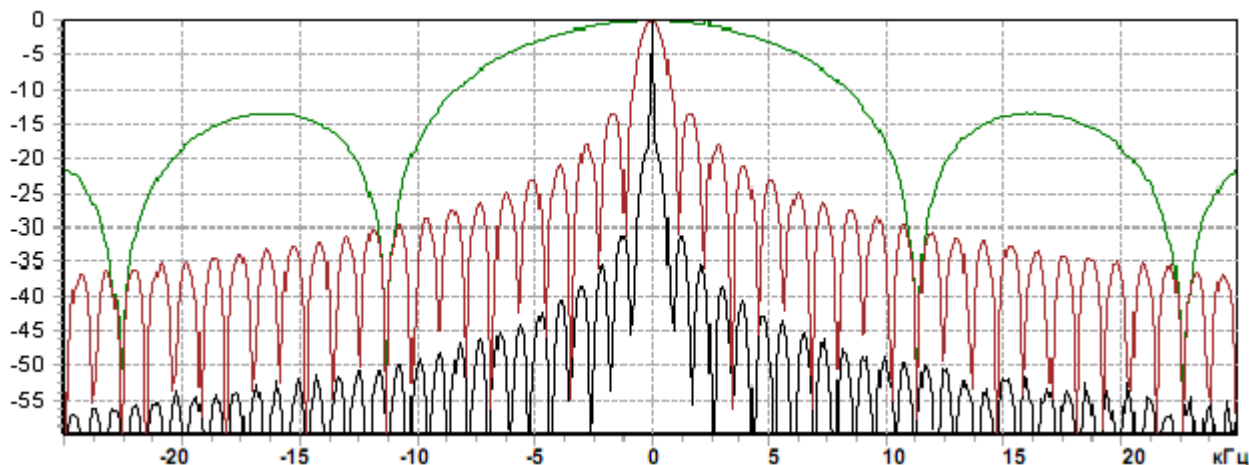


Рисунок 28 – АЧХ фильтра ПЧ

Поле с регулировкой значения "Межкадровое усреднение" задаёт коэффициент межкадрового усреднения  $K$ . При  $K > 1$  вместо результатов измерений отображаются средние значения в каждой частотной точке, вычисленные по формуле:

$$\bar{v}_k = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot v_k + \frac{k-1}{k} \cdot \bar{v}_{k-1} & \text{при } k < K \\ \frac{1}{K} \cdot v_k + \frac{K-1}{K} \cdot \bar{v}_{k-1} & k \geq K \end{cases}$$

где  $k$  – номер кадра,  $v_k$  – измеренная комплексная величина,  $\bar{v}_k$  – усреднённая комплексная величина.

В списке каналов отображаются счётчик усреднённых кадров  $k$  и коэффициент усреднения  $K$ , как показано на рисунке 29.

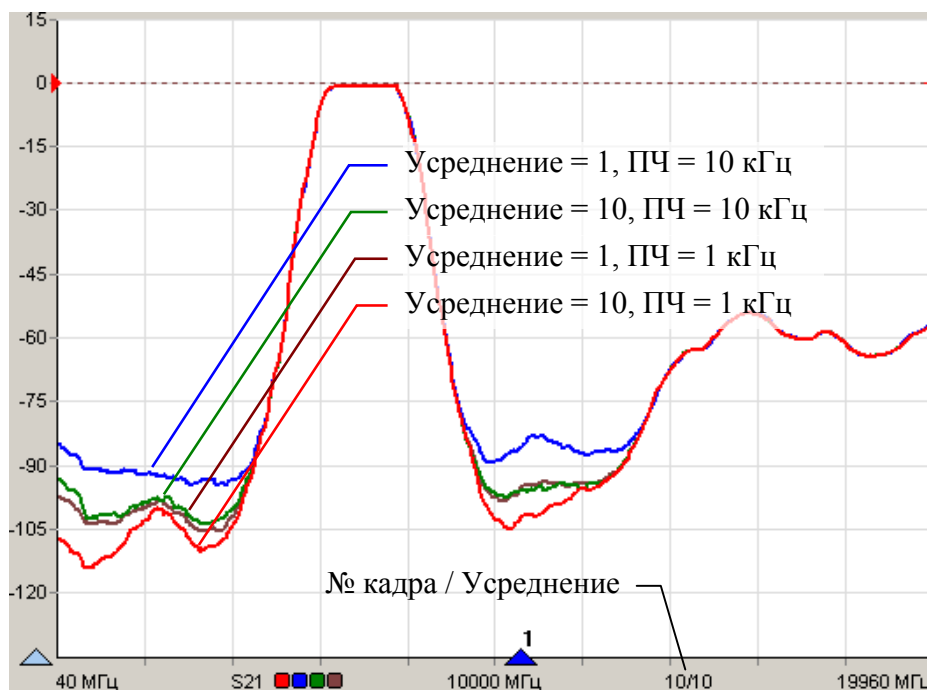


Рисунок 29 – Влияние усреднения и полосы пропускания фильтра ПЧ

Усреднение и выбор более узкой полосы пропускания тракта ПЧ приводят к снижению уровня шумов. С увеличением усреднения, например, в 10 раз или при сужении полосы ПЧ в 10 раз уровень шумов должен снизиться на 10 дБ. Это теоретически – для некоррелированных шумов. Практически снижение уровня шумов ограничено некоторым уровнем, обусловленным наличием в сигнале помех, синхронных с зондирующим сигналом. На рисунке 29 приведена АЧХ полосового фильтра, снятая с различными усреднениями и полосами ПЧ. Трассы сглажены, чтобы лучше видеть изменения уровня шумов вне полосы пропускания фильтра.

**Параметры отображения.** Управление диаграммами и трассами изложено в части II настоящего РЭ, посвящённой общим вопросам использования ПО Graphit. Специфика векторного анализатора цепей вносит определённые особенности в управление графиками. Прежде всего, это список "Измерений", а также форматы отображения трасс.

Список "Измерений" выполняет роль горизонтальной шкалы и располагается под областью построения графиков (см. рисунок 30). Кроме диапазона сканирования в строке списка "Измерений" приведены название "Измерения" с цветовыми метками соответствующих трасс, разделённые наклонной чертой количество накопленных кадров и коэффициент межкадрового усреднения, а также тип калибровки.

Для обозначения типа калибровки используются следующие сокращения:

- ДП или ДП(!) – двухпортовая векторная калибровка;
- ОП или ОП(!) – однопортовая векторная калибровка;
- НП или НП(!) – двухпортовая калибровка в одном направлении;
- НОРМ или НОРМ(!) – нормировка.

Восклицательный знак свидетельствует об интерполяции калибровочных данных в точках с частотами, не совпадающими с частотами на которых выполнялась калибровка.

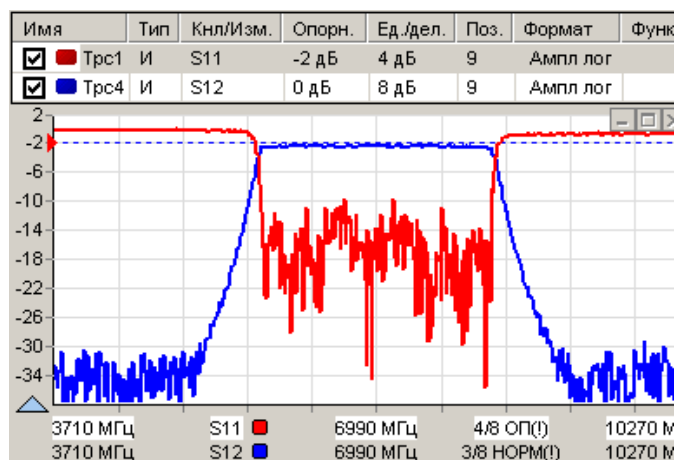


Рисунок 30

Измерительная трасса отображает данные одного из "Измерений". Выбрать "Измерение" можно в панели инструментов "Измеряемая величина" или в контекстном меню трассы.

Трасса может отображать значения комплексных амплитуд сигналов на входах  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  при прямом (обозначается 1→2) или обратном (2→1) зондировании, а также их отношения – S-параметры.

Все "Измерения" формируют последовательности комплексных величин, отображаемые трассами в заданном формате. Формат отображения трассы задаётся в панели инструментов "Формат отображения" или в контекстном меню трассы. Трасса отображается в декартовых координатах в виде ломанной кривой, соединяющей пары точек с координатами  $(x_n, y_n)$ , вычисленными из измеренной комплексной величины  $v_n$  для каждой частотной точки  $f_n$ .

Трасса в формате "Ампл.лин (раз)" отображает величины:

$$y_n = |v_n| = \sqrt{\operatorname{Re}(v_n)^2 + \operatorname{Im}(v_n)^2}, \quad x_n = f_n \text{ [МГц]}, \quad n = 1 \dots N,$$

где  $n$  – номер измеряемой точки,  $N$  – количество точек.

Трасса в формате "Ампл.лог (дБ)" отображает величины:

$$y_n = 20 \cdot \lg(|v_n|) = 10 \cdot \lg(\operatorname{Re}(v_n)^2 + \operatorname{Im}(v_n)^2) \text{ [дБ]}, \quad x_n = f_n \text{ [МГц]}.$$

Трасса в формате "КСВН" отображает величины:

$$y_n = \frac{1 + |v_n|}{1 - |v_n|}, \quad x_n = f_n \text{ [МГц]}.$$

Трасса в формате "Фаза (°)" отображает величины:

$$y_n = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} 2 \left( \frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right) [^\circ], \quad x_n = f_n \text{ [МГц]},$$

где  $\operatorname{arctg} 2 \left( \frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right)$  – угол между вектором  $v$  и вещественной осью (в интервале  $\pm\pi$ ).

Трасса в формате "Развёрнутая фаза (°)", в отличие от формата "Фаза (°)", не имеет разрывов вблизи  $\pm 180^\circ$  и отображает величины:

$$x_n = f_n \text{ [МГц]}, \quad \phi_n = \operatorname{arctg} 2 \left( \frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right), \quad n = 1 \dots N,$$

$$y_1 = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \phi_1, \quad y_i = y_{i-1} + \frac{180^\circ}{\pi} \cdot |\phi_i - \phi_{i-1}|_{\pm\pi}, \quad i = 2 \dots N,$$

$$|\Delta\phi|_{\pm\pi} = \begin{cases} \left( \frac{\Delta\phi}{2 \cdot \pi} - \left[ \frac{\Delta\phi}{2 \cdot \pi} - \frac{1}{2} \right] \right) \cdot 2 \cdot \pi, & \Delta\phi < 0 \\ \left( \frac{\Delta\phi}{2 \cdot \pi} - \left[ \frac{\Delta\phi}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{2} \right] \right) \cdot 2 \cdot \pi, & \Delta\phi \geq 0 \end{cases},$$

где  $|\Delta|_{\pm\pi}$  – оператор взятия по модулю  $\pm\pi$ ,  $[x]$  – оператор вычисления целой части  $x$ .

Другими словами, очередной отсчёт развёрнутой фазы равен сумме предыдущего с приращением, взятым по модулю  $\pm 180^\circ$ .

Трасса в формате "ГВЗ (нс)" отображает групповую задержку в наносекундах:

$$x_n = f_n \text{ [МГц]}, \quad \phi_n = \operatorname{arctg} 2 \left( \frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right), \quad n = 1 \dots N,$$

$$y_1 = \frac{|\phi_1 - \phi_2|_{\pm\pi}}{x_2 - x_1} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} \text{ [нс]}, \quad y_N = \frac{|\phi_{N-1} - \phi_N|_{\pm\pi}}{x_N - x_{N-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} \text{ [нс]},$$

$$y_i = \frac{|\phi_{i-1} - \phi_{i+1}|_{\pm\pi}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} \text{ [нс]}, \quad i = 2 \dots N - 1,$$

где  $|\Delta|_{\pm\pi}$  – оператор взятия по модулю  $\pm\pi$ .

**ВНИМАНИЕ! ЕСЛИ ФАЗЫ ИЗМЕРЯЕМЫХ В СОСЕДНИХ ЧАСТОТНЫХ ТОЧКАХ ВЕЛИЧИН ОТЛИЧАЮТСЯ БОЛЕЕ ЧЕМ НА ПОЛПЕРИОДА, ТО ТРАССА В ФОРМАТЕ "ФАЗА (°)" БУДЕТ ВЫГЛЯДЕТЬ НЕВЕРНО. В УЗЛАХ ТРАССЫ (В ТОЧКАХ ИЗМЕРЕНИЯ) ЗНАЧЕНИЕ ФАЗЫ БУДЕТ ВЕРНЫМ, А СОЕДИНЯЮЩИЕ ИХ ЛИНИИ НЕКОРРЕКТНЫ.**

**НЕВЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ БУДУТ ОТОБРАЖАТЬСЯ В ФОРМАТАХ "РАЗВЁРНУТАЯ ФАЗА" И "ГВЗ". ДЛЯ КОРРЕКТНОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ГВЗ НЕОБХОДИМО,**

**ЧТОБЫ ФАЗА ЗА ДВА ШАГА ПО ЧАСТОТЕ НЕ ИЗМЕНЯЛАСЬ БОЛЕЕ ЧЕМ НА  $\pm\pi$ . РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧЕВИДНО – СЛЕДУЕТ УМЕНЬШИТЬ ШАГ ПО ЧАСТОТЕ, УВЕЛИЧИВ ЧИСЛО ТОЧЕК ИЛИ УМЕНЬШИВ ДИАПАЗОН ЧАСТОТ.**

Трасса в формате "Мним.часть" отображает величины:

$$y_n = \text{Im}(v_n), \quad x_n = f_n \text{ [МГц]}.$$

Трасса в формате "Действ.часть" отображает величины:

$$y_n = \text{Re}(v_n), \quad x_n = f_n \text{ [МГц]}.$$

Трасса в формате "Смит (раз)" отображает величины:

$$y_n = \text{Im}(v_n), \quad x_n = \text{Re}(v_n).$$

В диаграмме Смита не отображаются оси абсцисс и ординат и соответствующие им шкалы. Соответственно такие атрибуты трассы как опорный уровень, позиция и цена деления не влияют на отображение. В маркерах отображаются значения модуля и фазы измеряемой величины.

## 7.2 Измерение коэффициента отражения

Варианты подключения для измерения отражения от устройств с одним или двумя портами (двухполюсников или четырехполюсников) приведены на рисунке 31.

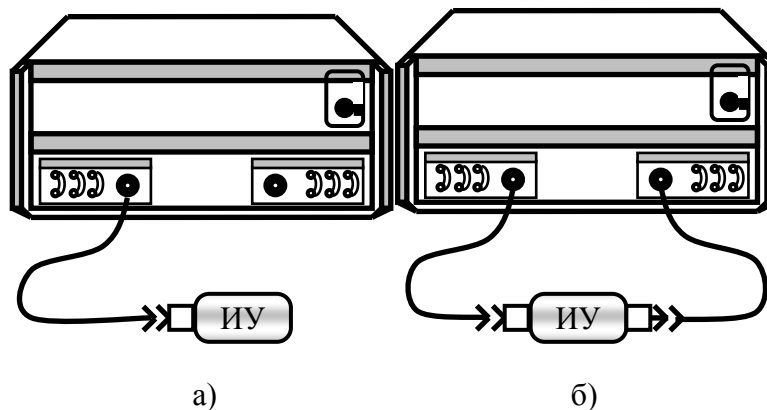


Рисунок 31 – Варианты подключения ИУ

**ВНИМАНИЕ! ПРЕВЫШЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ 16 дБм НА ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПОРТУ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЖЕТ ВЫВЕСТИ ЕГО ИЗ СТРОЯ. ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПОДАВАТЬ НА ВХОД ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТЬ БОЛЕЕ 0 дБм. ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА МОЩНОСТИ ВХОДНОГО СИГНАЛА МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВНУТРЕННИЕ АТТЕНЮАТОРЫ ПРИЕМНИКА СИГНАЛА (ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ С ОПЦИЕЙ «ДМА»).**

Измерения следует проводить в указанной далее последовательности:

1) Провести визуальную проверку чистоты и целостности соединителей измерителя, кабелей СВЧ и элементов из набора калибровочных мер, а также исследуемого устройства; выполнить проверку присоединительных размеров указанных соединителей<sup>1)</sup>; при необ-

<sup>1)</sup> Периодичность проведения проверки присоединительных размеров устройств определяется интенсивностью их использования, но не реже одного раза на каждые 50 подключений.

ходимости, провести чистку соединителей;

2) Для измерения КО однопортового ИУ подключить переход коаксиальный с типом одного из соединителей NMD 3,5 мм розетка из состава набора калибровочных мер непосредственно к порту измерителя или через кабель СВЧ. Для измерения КО двухпортового ИУ подключить вначале кабели СВЧ к портам измерителя, к ним подключить переходы коаксиальные. Допускается вместо двух кабелей СВЧ использовать один кабель с длиной не менее 0,7 м. Наборы калибровочных мер и кабели СВЧ описаны в РЭ часть I;

3) Запустить ПО, произвести подключение к измерителю в соответствии с его IP-адресом. При необходимости, проверить идентификационные данные ПО (см. РЭ часть I). Установить на измерителе параметры по умолчанию. Скрыть отображение трасс S21 и S12 или их удалить. Запустить процесс измерений. Произвести автомасштаб трасс S11 и (или) S22.

4) Установить параметры измерений: диапазон частот, количество точек, фильтр ПЧ, уровень выходной мощности;

5) Провести калибровку:

Варианты калибровок, для которых нормируются пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения (см. пункт «Технические характеристики» РЭ часть I):

а) Однопортовая калибровка.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.2.

б) Полная двухпортовая калибровка.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.4.

**Примечание** – Допускается использовать другие виды калибровок, позволяющих проводить измерения при ограниченном количестве калибровочных мер и (или) ускоряющих процесс измерений. При их применении пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения не нормируются.

1 Нормировка на отражение от известных нагрузок – холостого хода и/или короткозамкнутой.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.

Можно использовать при отсутствии некоторых калибровочных мер или невозможности их подключения, например, при измерениях на пластине.

2 Нормировка на отражение от произвольной нагрузки (с неизвестными параметрами).

Последовательность калибровки приведена в 6.3.

Этот вариант калибровки применяется для измерения отличия коэффициента отражения ИУ от коэффициента отражения устройства, на которое выполнялась калибровка, что может быть полезно при настройке по образцу.

3 Двухпортовая калибровка в одном направлении.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.3.

Однопортовая и двухпортовая калибровка в одном направлении дают одинаковые результаты измерения отражения.

5) Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 31, подключив ИУ к переходам коаксиальным, по сечению которых была проведена калибровка. После калибровки нельзя менять переходы коаксиальные местами или подключать к ним дополнительные устройства. Также нельзя менять установленные ранее параметры измерений.

б) Провести измерения КО исследуемого устройства в установленном диапазоне частот. При необходимости, установить межкадровое усреднение для снижения флуктуации результата измерений;

При выполнении измерений возможна установка различных форматов отображения

измерений, проведение математических операций с трассами, маркерные измерения, создание отчета, сохранение результатов измерений, построение ограничительных линий и т.д.

**Примечание** – При тестировании узкополосных устройств, используйте функцию «Сглаживание» очень предусмотрительно, потому что возможны затягивания резких перепадов частотной характеристики ИУ.

- 7) Остановить процесс измерений;
- 8) Отсоединить ИУ;
- 9) При необходимости, разобрать схему измерений и выключить измеритель.

### 7.3 Измерение коэффициента передачи

Вариант подключения при измерении коэффициента передачи приведён на рисунке 31-б.

Измерения следует проводить в указанной далее последовательности:

1) Провести визуально проверку чистоты и целостности соединителей измерителя, кабелей СВЧ и элементов из набора калибровочных мер, а также исследуемого устройства; выполнить проверку присоединительных размеров указанных соединителей<sup>1)</sup>; при необходимости, провести чистку соединителей;

2) Подключить вначале кабели СВЧ к портам измерителя, к ним подключить переходы коаксиальные с типом одного из соединителей NMD 3,5 мм розетка из состава набора калибровочных мер. Допускается вместо двух кабелей СВЧ использовать один кабель с длиной не менее 0,7 м. Наборы калибровочных мер и кабели СВЧ описаны в РЭ часть I;

3) Запустить ПО, произвести подключение к измерителю в соответствии с его IP-адресом. При необходимости, проверить идентификационные данные ПО (см. РЭ часть I). Установить на измерителе параметры по умолчанию. Скрыть отображение трасс S11 и S22 или их удалить. Запустить процесс измерений. Произвести автомасштаб трасс S21 и (или) S12.

4) Установить параметры измерений: диапазон частот, количество точек, фильтр ПЧ, уровень выходной мощности;

5) Провести полную двухпортовую калибровку. Последовательность калибровки приведена в 6.3.4.

**Примечание** – Допускается использовать другие виды калибровок, позволяющих проводить измерения при ограниченном количестве калибровочных мер и (или) ускоряющих процесс измерений. При их применении пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения не нормируются.

1 Нормировка частотной неравномерности тракта передачи.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.

Нормировка используется при отсутствии некоторых калибровочных мер или невозможности их подключения, например, при измерениях на пластине.

2 Двухпортовая калибровка в одном направлении.

Последовательность калибровки приведена в 6.3.3.

Возможность зондирования только в одном направлении обеспечивает высокую производительность.

б) Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 31-б, подключив ИУ к пе-

<sup>1)</sup> Периодичность проведения проверки присоединительных размеров устройств определяется интенсивностью их использования, но не реже одного раза на каждые 50 подключений.

реходам коаксиальным, по сечению которых была проведена калибровка. После калибровки нельзя менять переходы коаксиальные местами или подключать к ним дополнительные устройства. Также нельзя менять установленные ранее параметры измерений.

7) Провести измерения КП исследуемого устройства в установленном диапазоне частот. При необходимости, установить межкадровое усреднение для снижения флуктуации результата измерений;

При выполнении измерений возможна установка различных форматов отображения измерений, проведение математических операций с трассами, маркерные измерения, создание отчета, сохранение результатов измерений, построение ограничительных линий и т.д.

Примечание – При тестировании узкополосных устройств, используйте функцию «Сглаживание» очень предусмотрительно, потому что возможны затягивания резких перепадов частотной характеристики ИУ.

- 8) Остановить процесс измерений;
- 9) Отсоединить ИУ от переходов коаксиальных;
- 10) При необходимости, разобрать схему измерений и выключить измеритель.

## 8 Дополнительные возможности

### 8.1 Фазовая задержка

Функция "Фазовая задержка" позволяет внести или компенсировать задержку сигнала. Включается функция нажатием кнопки на панели инструментов "Фазовая задержка" или установкой флажка "Включена" в панели управления, как показано на рисунке 32.

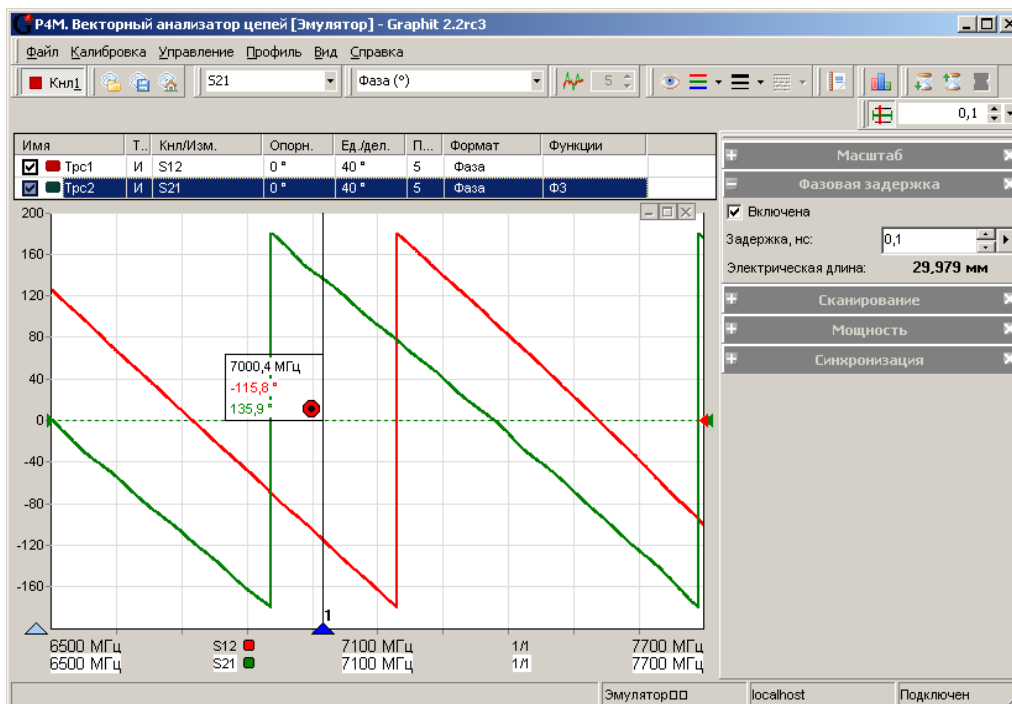


Рисунок 32 – Компенсация задержки фазы



Положительная величина, заданная в поле ввода "Задержка", компенсирует задержку. Отрицательная величина, наоборот, вносит задержку. Ниже поля ввода "Задержка" отображается электрическая длина, соответствующая длине линии передачи без ослабления, расчётным путём вставленной или исключённой из схемы измерения.

Функция влияет на отображение трасс в форматах "Фаза (°)", "Развёрнутая фаза", "ГВЗ" и "Смит" и вычисляется по формуле:

$$v'_n = v_n \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot f_n}, \quad n = 1 \dots N, \quad (1)$$

где  $v$  – корректируемая комплексная величина,  $\Delta$  [нс] – компенсируемая задержка,  $f_n$  [ГГц] – частота.

Выбрать величину компенсируемой задержки можно на основании группового времени запаздывания, или подобрать вручную, установив курсор в поле ввода и вращая колесо манипулятора "мышь".

## 8.2 Использование переходов

Переходы используют при необходимости сочленения исследуемых устройств, калибровочных мер и кабелей СВЧ, имеющих различный тип соединителей.

Использование переходов вносит дополнительные отражения, задержку и ослабление сигнала. Наличие перехода не оказывает влияния на результаты измерений, если переход постоянно присутствует в тракте: как при калибровке, так и при измерениях. Если после калибровки требуется подключение или отключение перехода, его влияние необходимо учитывать. Ниже рассмотрены способы компенсации влияния переходов.

**Метод эквивалентных переходов** – самый простой способ компенсации влияния переходов. Данный метод используется при измерении устройств, когда порты измерителя не могут быть подключены друг к другу непосредственно. В этом случае калибровка на проход выполняется через переход, который при измерении заменяется на эквивалентный, как показано на рисунке 33.

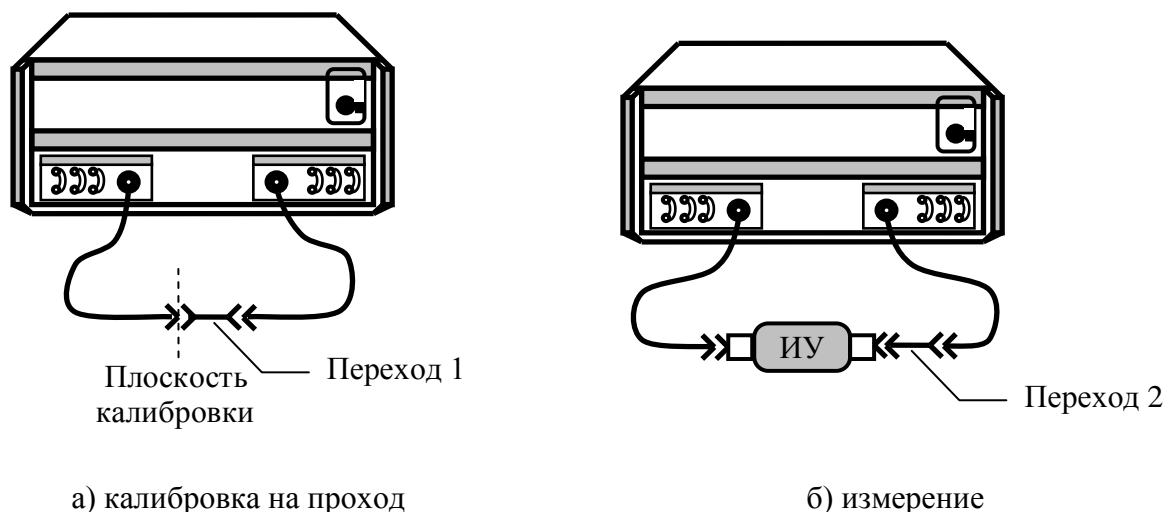


Рисунок 33 – Использование эквивалентных переходов

Эквивалентные переходы 1 и 2 трудно сделать одинаковыми, т.к. они имеют соединители различного вида – у одного вилка, а у другого розетка. Поэтому переходы всегда будут иметь некоторое отличие в частотных характеристиках, которое отразится на результатах измерений.

Если известны параметры перехода, то лучше учесть влияние перехода на этапе ка-

либровки, т.е. воспользоваться "методом известного перехода", изложенным ниже.

**Метод известного перехода** – это просто калибровка на проход, используя переключку с ненулевой задержкой. Величина задержки задаётся в параметрах калибровочных мер. При измерении ИУ подключается непосредственно к портам без каких-либо переходов.

**Коррекция фазовой задержки** – это функция над трассой, описанная в разделе 8, позволяющая внести или компенсировать задержку сигнала эквивалентную задержке в исключённом или вставленном переходе.

### 8.3 Система синхронизации

Система синхронизации предназначена для работы в комплексе с другими измерительными приборами или для управления внешними устройствами – переключателями, модуляторами и т.п. Для подключения измерительных приборов или внешних устройств на задней панели измерительного блока имеются следующие входы и выходы синхронизации:

- "СИНХР" – выход сигнала синхронизации;
- "СИНХР" – вход сигнала синхронизации;
- "ОГ" – выход сигнала опорного генератора частотой 10 МГц;
- "ОГ" – вход сигнала внешнего опорного генератора частотой 10 МГц.

Структурная схема системы синхронизации приведена на рисунке 34.

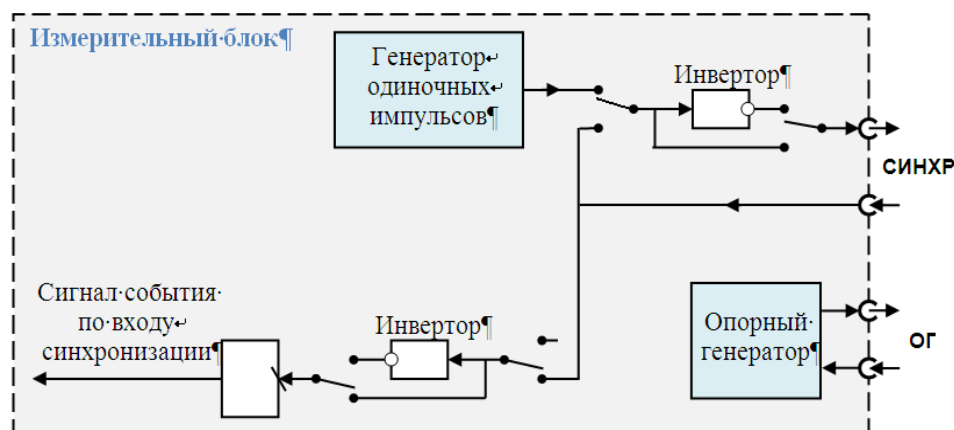


Рисунок 34 – Структура системы синхронизации

Генератор одиночных импульсов формирует импульсы при наступлении определённого события – начало перестройки частоты, окончание перестройки и др.

Опорный генератор является внутренним эталоном частоты 10 МГц. Вход или выход опорного генератора может быть подключён соответственно к выходу или входу опорного генератора другого измерительного прибора. В результате оба прибора будут работать от общего опорного генератора. При этом достигаются две цели:

- а) повышается точность установки частоты (если внешний опорный генератор более точен);
- б) стабилизируются фазовые соотношения СВЧ сигналов двух измерительных приборов.

Параметры системы синхронизации задаются в панели управления "Синхронизация", представленной на рисунке 35.

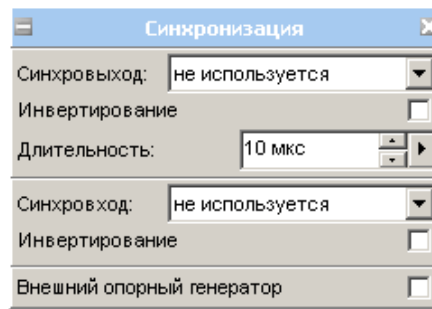


Рисунок 35 – Панель управления системой синхронизации

**Режим работы выхода синхронизации** задаётся в поле со списком "Синхровыход":

- а) "не используется" – на выходе устанавливается постоянное напряжение 0 В или 5 В, если установлен флажок "Инвертирование";
- б) "старт развёртки" – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с началом развёртки по частоте;
- в) "след. точка" – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с началом перестройки на очередную частотную точку;
- г) "захват ФАПЧ" – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с окончанием перестройки частоты;
- д) "транслируется вход" – на выход поступает ретранслированный сигнал с входа.

Перечисленные выше сигналы могут инвертироваться, если установить флажок "Инвертирование", расположенный рядом с полем со списком "Синхровыход".

Длительность одиночных импульсов задаётся (в интервале от 1 до 255 мкс) в поле с регулировкой значения "Длительность".

На рисунке 36 приведены эпюры напряжений на выходе синхронизации, формируемых в зависимости от режима синхронизации и выполняемой измерительным блоком операции.

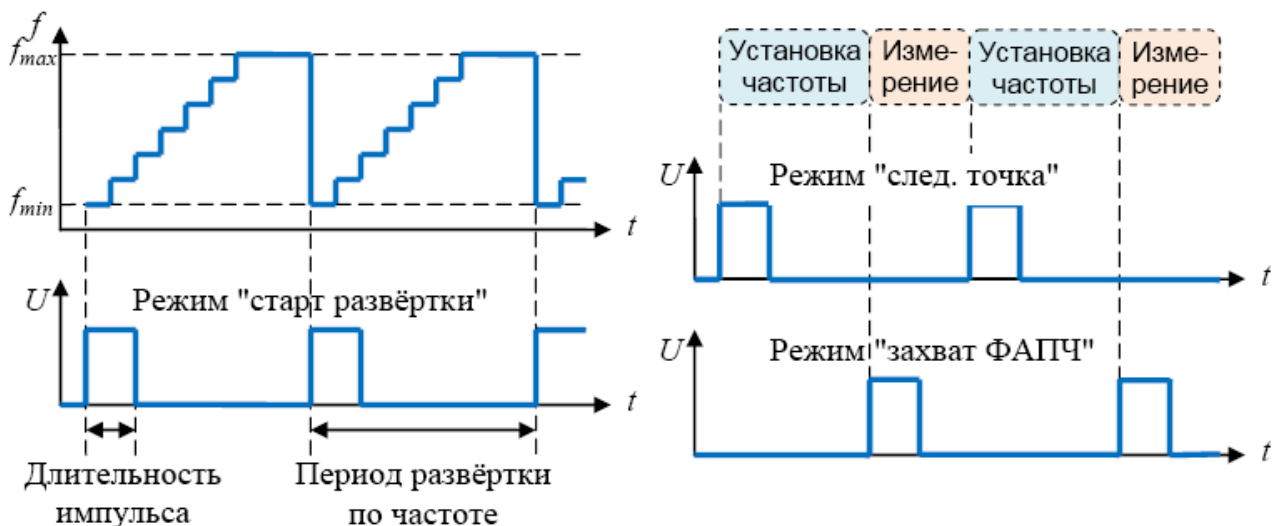


Рисунок 36 – Режимы работы выхода синхронизации

По нарастающему фронту поступившего на вход синхроимпульса фиксируется "Событие по входу синхронизации". Установка флажка "Инвертирование", расположенного рядом с полем со списком "Синхровыход", позволит фиксировать событие по падающему фронту синхроимпульса. Реакция измерительного блока на "Событие по входу синхронизации" задаётся в поле со списком "Синхровыход":

- а) "не используется" – поступившие на вход синхроимпульсы игнорируются;
- б) "старт развёртки" – по приходу синхроимпульса начинается развёртка по частоте;
- в) "след. точка" – по приходу синхроимпульса начинается перестройка на следующую частотную точку;
- г) "начало измерения" – по приходу синхроимпульса начинается измерение на текущей частоте.

На рисунке 37 показано изменение этапов работы измерительного блока в зависимости от режима синхронизации и поступления входных синхроимпульсов.

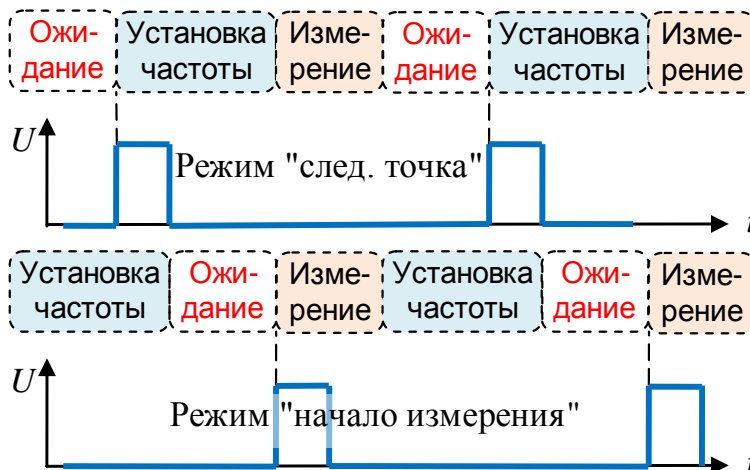


Рисунок 37 – Режимы работы входа синхронизации

Рассмотрим пример синхронной работы измерителя и СЧ. Пусть требуется измерить коэффициент отражения от выхода работающего (горячего) усилителя. Для обеспечения штатного режима работы усилителя на его вход подают сигнал частоты  $f_1$  (рисунок 38).

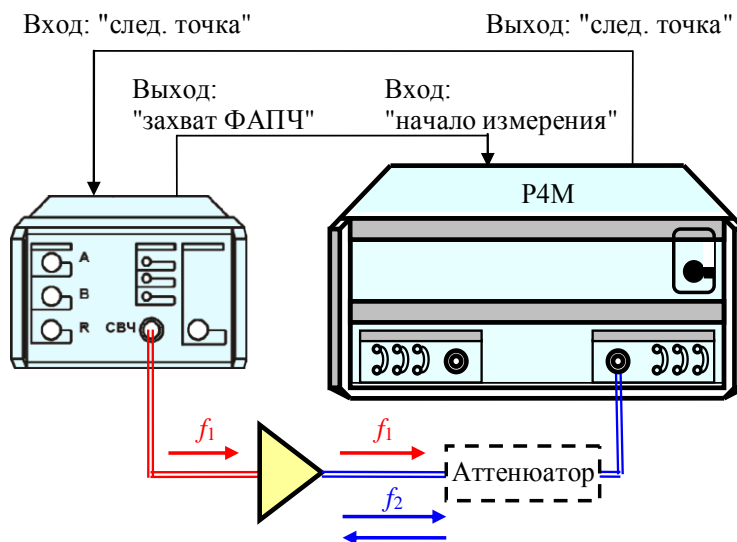


Рисунок 38 – Измерение "горячего" S22

Выход усилителя зондируется сигналом частоты  $f_2$ , отличающейся от частоты работы усилителя  $f_1$ , так чтобы сигнал частоты  $f_1$  оказался вне полосы пропускания приёмника измерителя. При выборе разницы частот  $f_1$  и  $f_2$  следует учитывать подавление сигнала частотой  $f_1$  фильтром ПЧ. Уровень помехи на частоте  $f_1$  должен быть на  $\sim 20$  дБ меньше уровня отражённого сигнала на частоте  $f_2$ .

**ВНИМАНИЕ! ПРЕВЫШЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ (16 дБм) НА ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПОРТУ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЖЕТ ВЫВЕСТИ ЕГО ИЗ СТРОЯ. ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ, СЛЕДУЕТ ПОДКЛЮЧИТЬ АТТЕНЮАТОР, И ВЫПОЛНИТЬ КАЛИБРОВКУ, ПРИСОЕДИНЯЯ МЕРЫ ИЗ КАЛИБРОВОЧНОГО НАБОРА К АТТЕНЮАТОРУ.**

Для измерения "горячего"  $S_{22}$  в диапазоне частот требуется синхронная перестройка частот  $f_1$  и  $f_2$ . Необходимо соединить вход "← СИНХР" на задней панели измерителя с выходом "С → СИНХР" на задней панели СЧ и наоборот – выход с входом СЧ.

В программе управления СЧ следует задать диапазон изменения частоты  $f_1$  и количество частотных точек. Для выхода синхронизации установить режим "захват ФАПЧ", для входа – "след. точка".

В программе управления измерителя следует задать диапазон изменения частоты  $f_2$  и количество частотных точек (такое же, как в СЧ). Для выхода синхронизации установить режим "след. точка", для входа – "начало измерения".

Существует возможность пропуска первого синхроимпульса – когда один прибор стартовал и уже сформировал синхроимпульс, а второй ещё не начал работу. Поэтому первым следует запускать прибор, ожидающий первый синхроимпульс, в рассматриваемом примере это СЧ.

В результате приборы будут работать следующим образом:

а) с началом перестройки на следующую частоту измеритель формирует синхроимпульс;

б) СЧ по переднему фронту синхроимпульса также начинает перестройку частоты.

в) СЧ, закончив перестройку частоты, формирует синхроимпульс.

г) измеритель, закончив перестройку частоты, ожидает прихода синхроимпульса, если тот не пришёл раньше. После чего начинает измерение.

## Приложение А (справочное) Погрешности измерений

Погрешности измерителя по закономерностям проявления можно разделить на следующие группы:

- а) Погрешности, обусловленные температурным дрейфом – *неустранимы*
  - б) Случайные погрешности
    - погрешности соединений и переключений – *неустранимы*
    - влияние шумов – *уменьшается с увеличением времени измерения*
  - в) Систематические погрешности
    - Инструментальные
    - Методические
- } *в основном устраняются  
векторной калибровкой*

Погрешности, обусловленные температурным дрейфом параметров электронных компонент, в общем случае не устранимы. Чтобы снизить их влияние, рекомендуется прогревать аппаратуру перед калибровкой и измерениями.

Погрешности соединений обусловлены характеристиками контактов в разъёмных соединениях. Погрешности соединения изменяются от подключения к подключению, поэтому они отнесены к случайным. Следует заметить, что часть соединений не изменяют своих параметров (не размыкаются) в промежутке времени от начала калибровки и до проведения измерений, а значит, могут быть учтены при калибровке. Например, соединение кабеля СВЧ и измерительного порта вносит в тракт некоторую неоднородность, которая компенсируется векторной калибровкой.

Другая составляющая случайных погрешностей обусловлена шумами генератора, приёмника, АЦП и других компонент. Влияние шумов может быть снижено усреднением или выбором более узкой полосы фильтра ПЧ.

Систематические погрешности обусловлены паразитными проникновениями и отражениями сигнала, а также частотной неравномерностью в тракте СВЧ. Предполагается, что они не изменяются во времени, а значит, могут быть оценены и скомпенсированы.

Для оценки и компенсации систематических составляющих погрешности необходима модель влияния факторов ошибок на измеряемые параметры. На рисунке А.1 представлена упрощенная функциональная схема измерителя, иллюстрирующая распространение сигналов и помех.

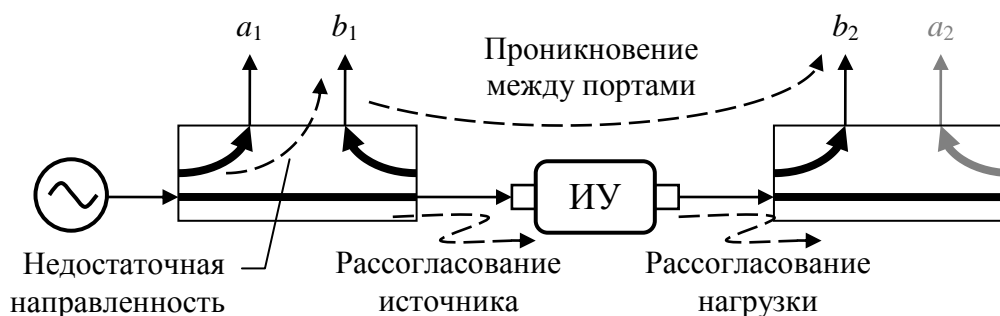


Рисунок А.1 – Функциональная схема прямого зондирования

Функциональная схема на рисунке А.1 соответствует случаю **прямого зондирования** – от первого порта ко второму. На измерительный вход  $a_1$  поступает ответвлённый зондирующий сигнал. На вход  $b_1$  ответвляется отражённый сигнал, а на вход  $b_2$  прошедший через ИУ. При **обратном зондировании** функциональная схема аналогична приведённой выше.

Набор из шести факторов ошибок, представленных в таблице А.1, характерен как для прямого, так и обратного зондирования, т.е. общее количество составляющих (ошибок) 12.

Т а б л и ц а А.1 – Факторы ошибок

Наименование	Обозначение	Примечание
Фактор направленности ( <i>Directivity</i> )	$E_D$	Паразитные проникновения
Фактор изоляции ( <i>Crosstalk or Isolation</i> )	$E_X$	
Согласование источника сигнала ( <i>Source impedance mismatches</i> )	$E_S$	Паразитные отражения
Согласование нагрузки ( <i>Load impedance mismatches</i> )	$E_L$	
Неравномерность тракта отражённого сигнала ( <i>Frequency response reflection tracking</i> )	$E_R$	Частотные неравномерности
Неравномерность тракта передаваемого из порта в порт сигнала ( <i>Frequency response transmission tracking</i> )	$E_T$	

Прибор измеряет амплитуды и фазы сигналов на входах  $a_1, b_1, b_2$  при прямом зондировании и на входах  $a_2, b_1, b_2$  – при обратном. Из измеренных значений вычисляются **измеряемые параметры рассеяния** ИУ по формулам:

$$S_{11}^M = \frac{b_{1F}}{a_{1F}}, \quad S_{21}^M = \frac{b_{2F}}{a_{1F}}, \quad S_{12}^M = \frac{b_{1R}}{a_{2R}}, \quad S_{22}^M = \frac{b_{2R}}{a_{2R}}, \quad (1)$$

где  $a, b$  – комплексные значения сигналов, цифра в индексе означает номер порта, а буква означает направление зондирования:  $F$  – прямое (от англ.: *forward*),  $R$  – обратное (от англ.: *reverse*);  $S$  – параметры рассеяния, верхний индекс  $M$  (от англ.: *measured*) означает измеряемый (некорректированный)  $S$ -параметр.

Перечисленные выше факторы ошибок линейным образом комбинируют с измеряемыми сигналами, что позволяет использовать линейную модель искажений в измерительной системе. Согласно этой модели мы имеем дело с идеальным (неискажающим) измерителем и виртуальными искажающими адаптерами, включенные последовательно в схему измерения, как показано на рисунках А.2 и А.3.

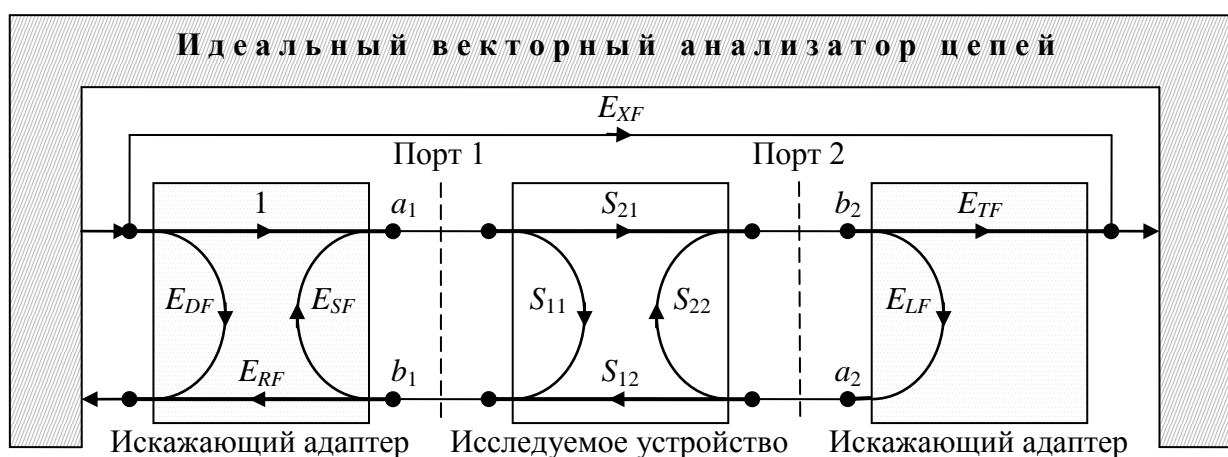


Рисунок А.2 – Модель с 6 факторами ошибок при прямом зондировании



Рисунок А.3 – Модель с 6 факторами ошибок при обратном зондировании

Свойства искажающих адаптеров описываются S-параметрами, представляющие собой факторы ошибок, приведённые в таблице А.1. Вторая буква в индексе –  $F$  или  $R$ , означает направление зондирования. Искажающие адаптеры характеризуют как цепи внутри измерителя, так и кабели СВЧ и переходы вплоть до соединителя, к которому подключались меры при калибровке и к которому должно подключаться ИУ. Можно сказать, что прибор калибруется в некотором сечении коаксиального тракта, обозначенного пунктирной линией на рисунках А.2 и А.3.

Если тестируется устройство с одним портом, то модель упрощается до 3 факторов ошибок и принимает вид как показано на рисунке А.4.

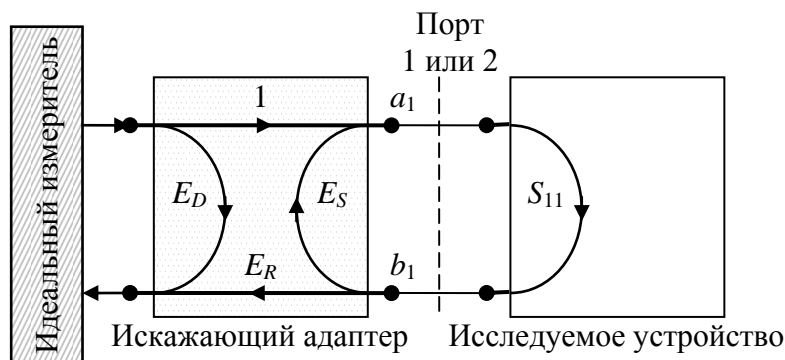


Рисунок А.4 – Модель с 3 факторами ошибок для работы с одним портом

Основываясь на сигнальных графах на рисунках А.2, А.3 и А.4 можно записать уравнения, определяющие связь измеряемых и истинных S-параметров:

$$S_{11}^M = f_{3err}(E_D, E_R, E_S, S_{11}) \quad \text{и} \quad S_{11} = f_{3err}^{-1}(E_D, E_R, E_S, S_{11}^M)$$

для модели с 3 факторами ошибок;

$$\begin{bmatrix} S_{11}^M & S_{12}^M \\ S_{21}^M & S_{22}^M \end{bmatrix} = f_{12err}\left(\{E\}, \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}\right) \quad \text{и} \quad \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = f_{12err}^{-1}\left(\{E\}, \begin{bmatrix} S_{11}^M & S_{12}^M \\ S_{21}^M & S_{22}^M \end{bmatrix}\right)$$

для модели с 12 факторами ошибок  $\{E\}$ .

Целью калибровки является определение параметров модели – набора факторов ошибок  $\{E\}$ . Для этого выполняется ряд измерений устройств с известными параметрами. Изме-



ренные значения  $\{S^M\}$  подставляются в приведённые выше уравнения. Получается система уравнений, которая решается относительно искомых параметров  $\{E\}$ . Все факторы ошибок  $\{E\}$  являются частотно-зависимыми. Поэтому они оцениваются для каждой частотной точки в заданном пользователем диапазоне.

В зависимости от типа выполненной калибровки оцениваются и корректируются различное количество факторов ошибок. При этом соответственно достигаются различные точности измерений.

Нормировка коэффициента передачи использует запомненные в процессе калибровки коэффициенты передачи меры на проход:  $S_{21Thru}^M$  или  $S_{12Thru}^M$ . Дополнительно может быть измерена изоляция между портами:  $E_{XF}$  или  $E_{XR}$ .

Коррекция коэффициента передачи осуществляется в соответствии с выражением:

$$S_{21}^* = (S_{21}^M - E_{XF}^*) \cdot \frac{S_{21Thru}}{S_{21Thru}^M}, \quad S_{12}^* = (S_{12}^M - E_{XR}^*) \cdot \frac{S_{12Thru}}{S_{12Thru}^M},$$

где  $S_{21}^*$  и  $S_{12}^*$  – оценки коэффициента передачи (здесь и далее символ '\*' в верхнем индексе означает оценку параметра),  $S_{21Thru}$  и  $S_{12Thru}$  – известные коэффициенты передачи меры на проход.

Изоляция  $E_{XF}^* = S_{21}^M$  и  $E_{XR}^* = S_{12}^M$  измеряется при подключении двух согласованных нагрузок. Если при калибровке был пропущен этап измерения изоляции, то  $E_X^* = 0$ .

Если калибровка выполнялась на произвольную меру передачи (с неизвестными коэффициентами передачи), то  $S_{21Thru}$ ,  $S_{12Thru}$  принимаются равными 1. В этом случае оценки  $S_{21}^*$  и  $S_{12}^*$  будут представлять собой отличие коэффициента передачи ИУ от коэффициентов передачи меры, на которую выполнялась калибровка, что часто применяется при настройке по образцу.

Нормировка коэффициента отражения может выполняться на величину отражения от нагрузки ХХ или на среднее (с учётом фазы) отражений от нагрузки ХХ и КЗ. Дополнительно может быть измерено отражение от согласованной нагрузки. Коррекция коэффициентов отражения выполняется по формулам:

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Open}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Open} \quad \text{или} \quad S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Short}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Short}, \quad \text{при использовании од-}$$

ной нагрузки ХХ или КЗ;

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{\frac{S_{11Open}^M - E_{DF}^*}{\Gamma_{Open}} + \frac{S_{11Short}^M - E_{DF}^*}{\Gamma_{Short}}} \cdot 2, \quad \text{при использовании двух нагрузок ХХ и КЗ;}$$

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Калиб}^M - E_{DF}^*}, \quad \text{при калибровке на произвольную нагрузку,}$$

где  $S_{11}^*$  – оценки коэффициента отражения,  $\Gamma_{Open}$  и  $\Gamma_{Short}$  – известные коэффициенты отражения нагрузок ХХ и КЗ,  $S_{11Open}^M$  и  $S_{11Short}^M$  – измеренные при калибровке коэффициенты отражения от нагрузок ХХ и КЗ,  $S_{11Калиб}^M$  – измеренные при калибровке коэффициент отражения от произвольной нагрузки.

В качестве оценки направленности используется измеренный коэффициент отражения от согласованной нагрузки:  $E_{DF}^* = S_{11Load}^M$ . Если при калибровке не использовалась согласованная нагрузка, то  $E_{DF}^* = 0$ .

Если калибровка выполнялась на произвольную нагрузку (с неизвестными коэффициентами отражения), оценка  $S_{11}^*$  будут представлять собой отличие коэффициентов отражения ИУ от коэффициента отражения нагрузки, на которую выполнялась калибровка, что может

применяться при настройке по образцу.

Аналогичные выражения можно записать для  $S_{22}$  и зондирования в обратном направлении.

Однопортовая векторная калибровка оценивает и корректирует факторы ошибок  $E_D$ ,  $E_R$  и  $E_S$ .

Двухпортовая векторная калибровка в одном направлении оценивает факторы ошибок  $E_D$ ,  $E_R$ ,  $E_S$ ,  $E_T$  и  $E_X$  (если в процессе калибровки не было пропущено измерение изоляции). При измерении отражения для коррекции используются те же формулы, что и при однопортовой калибровке, и компенсируются те же факторы ошибок  $E_D$ ,  $E_R$  и  $E_S$ . При измерении передачи компенсируются 5 или 4 оцененных факторов ошибок.

Полная двухпортовая векторная калибровка в обоих направлениях компенсирует 10 факторов ошибок (исключая изоляцию  $E_X$ ) или все 12, обеспечивая наивысшую точность измерений.

Для однопортовой и полной двухпортовой калибровки нормируются пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения (см. пункт «Технические характеристики» РЭ часть I).

## Приложение Б (справочное)

### Описание наборов калибровочных мер

Меры – устройства с известными характеристиками, подключаемые к измерительным портам в процессе калибровки. Из мер составляются наборы, позволяющие выполнить те или иные виды калибровок. Характеристики входящих в набор мер содержатся в файле описания калибровочного набора. Ниже рассмотрены характеристики мер и средства для их просмотра и редактирования.

Необходимость создания и редактирования файла описания калибровочного набора может возникнуть при использовании калибровочного набора стороннего производителя, при измерениях на пластине и в других случаях, когда нет возможности использовать поставляемый с измерителем набор мер.

Для создания и редактирования файлов описания калибровочных наборов служит "Редактор наборов калибровочных мер", который можно запустить, воспользовавшись ярлыком "Пуск \ Программы \ Микран \ Graphit Р4М 2.2rc3 \ Редактор наборов калибровочных мер", или дважды щёлкнув по названию набора в окне управления наборами калибровочных мер ПО *Graphit*. При запуске редактора из ПО *Graphit* блокируются функции записи в открытый файл набора, чтобы исключить непреднамеренное искажение характеристик.

На рисунке Б.1 представлено окно редактора наборов после чтения файла описания набора.

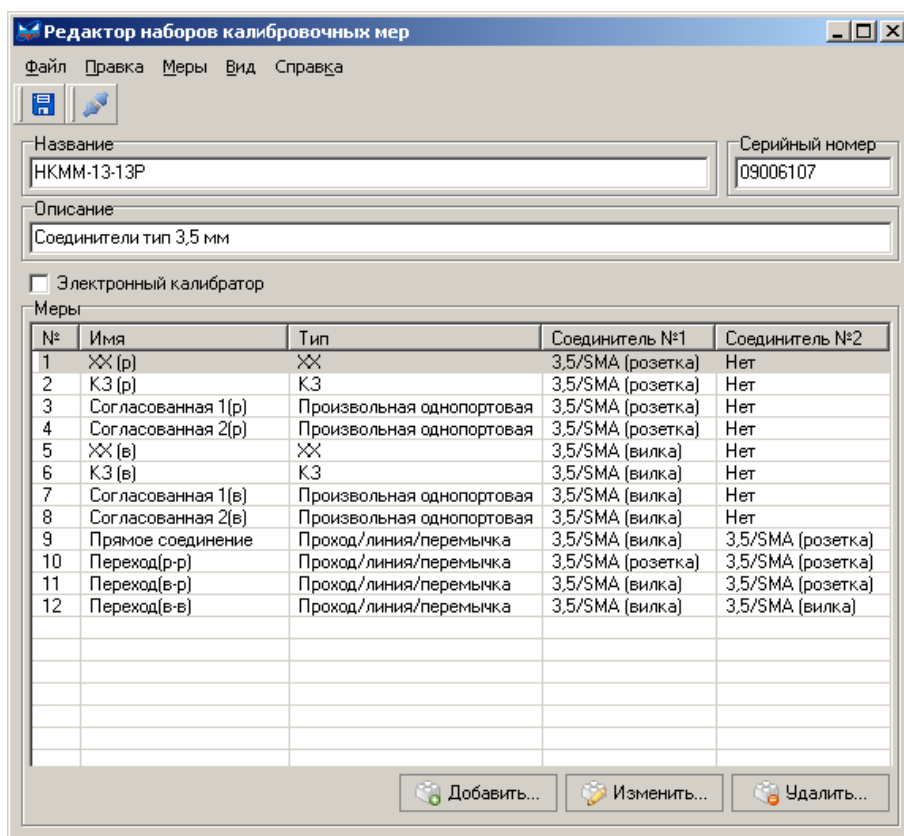


Рисунок Б.1 – Окно редактора наборов калибровочных мер

Нажатие кнопки с изображением двух разъёмов открывает диалоговое окно, позволяющее задать список используемых в наборе соединителей.

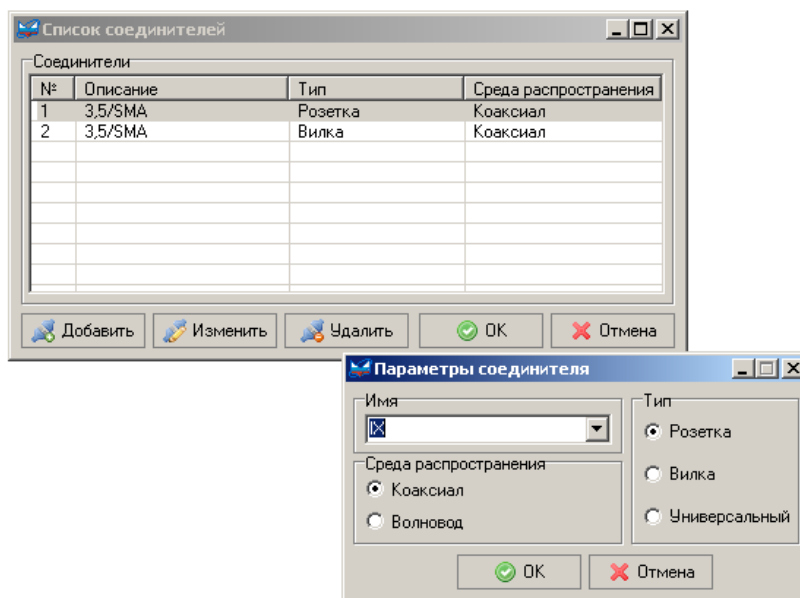


Рисунок Б.2 – Управление списком используемых соединителей

С помощью кнопки "Добавить" в список используемых соединителей добавляется новая запись. Чтобы изменить запись, следует выделить соответствующую строку в списке и нажать кнопку "Изменить" или дважды щелкнуть "мышью" по соответствующей строке в списке.

При добавлении или изменении записи появляется диалоговое окно, изображённое в правой части рисунка Б.2. Поле ввода со списком "Тип" позволяет выбрать тип соединителя из списка – Ш, IX, N, 3,5/SMA, или ввести собственное наименование, например: "Щуп № 1". Радио-кнопки в группе "Вид" позволяют выбрать вид соединителя – розетка, вилка или универсальный.

Для калибровки используются следующие типы мер:

а) Меры отражения

- Нагрузка холостого хода
- Нагрузка короткозамкнутая
- Согласованная нагрузка
- Произвольная однопортовая нагрузка

б) Мера передачи – перемычка, переход или линия передачи

Характеристики мер задаются таблично или параметрически. В случае параметрического описания мер отражения отдельно рассматривают отражающую часть – КЗ или XX, и линию передачи, смещающую (англ.: *offset*) отражающую часть от плоскости калибровки, как показано на рисунке Б.3.

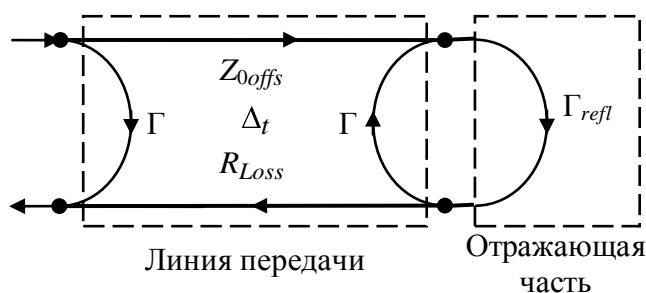


Рисунок Б.3 – Модель меры отражения

Линия передачи характеризуется следующими параметрами:

- $\Delta_t$  [с] – задержка сигнала в линии передачи (англ.: *Offset delay*) при распространении в одну сторону;
- $Z_{0offs}$  [Ом] – характеристическое сопротивление линии передачи без учёта потерь (англ.: *Offset Z<sub>0</sub>*);
- $R_{Loss}$  [ГОм/с] – потери в линии передачи (англ.: *Offset loss*);
- предполагается, что характеристический импеданс линии передачи равен импедансу системы, поэтому коэффициент отражения от линии передачи  $\Gamma = 0$ .

Коэффициент отражения  $\Gamma_{refl}$  произвольной нагрузки задаётся действительным числом. Для согласованной нагрузки  $\Gamma_{refl} = 0$ . Коэффициенты отражения  $\Gamma_{refl}$  для нагрузок ХХ и КЗ вычисляются по формулам:

$$\Gamma_{reflOpen} = \frac{1 - i \cdot 2\pi \cdot f \cdot Z_r \cdot C}{1 + i \cdot 2\pi \cdot f \cdot Z_r \cdot C}, \quad C = C_0 + C_1 f + C_2 f^2 + C_3 f^3,$$

$$\Gamma_{reflShort} = \frac{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L - Z_r}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L + Z_r}, \quad L = L_0 + L_1 f + L_2 f^2 + L_3 f^3,$$

где  $f$  [Гц] – частота,  $Z_r$  [Ом] – импеданс системы;

$C$  – паразитная ёмкость, аппроксимируемая полиномом с коэффициентами;

$C_0$  [10-15 Ф],  $C_1$  [10-27 Ф/Гц],  $C_2$  [10-36 Ф/Гц<sup>2</sup>],  $C_3$  [10-45 Ф/Гц<sup>3</sup>];

$L$  – паразитная индуктивность, аппроксимируемая полиномом с коэффициентами

$L_0$  [10-12 Гн],  $L_1$  [10-24 Гн/Гц],  $L_2$  [10-33 Гн/Гц<sup>2</sup>],  $L_3$  [10-42 Гн/Гц<sup>3</sup>].

Перечисленные выше параметры задаются в диалоговом окне (см. рисунок Б.4), появляющимся после нажатия кнопки "Добавить" или "Изменить", или после двойного щелчка "мышью" по строке в списке мер.

Текст из поля ввода "Название" будет отображаться "Мастером калибровки" на соответствующем шаге калибровки. Текст из поля ввода "Серийный номер" нигде не используется, но может быть полезен для идентификации однотипных нагрузок.

Радио-кнопки в группе "Тип" задают тип меры. Поля со списком "Соединитель № 1" и "Соединитель № 2" (только для меры передачи) задают типы соединителей.

Поля с регулировкой значения в группе "Коэффициенты полинома" задают коэффициенты полинома, аппроксимирующего зависимости паразитной ёмкости и индуктивности, для нагрузок ХХ и КЗ. Группа неактивна для других типов мер или при установленном флажке "Табличное представление".

Поля с регулировкой значения в группе "Параметры" задают параметры линии передачи:  $\Delta_t$ ,  $R_{Loss}$  и  $Z_{0offs}$ , рассмотренные выше. Группа неактивна при установленном флажке "Табличное представление".

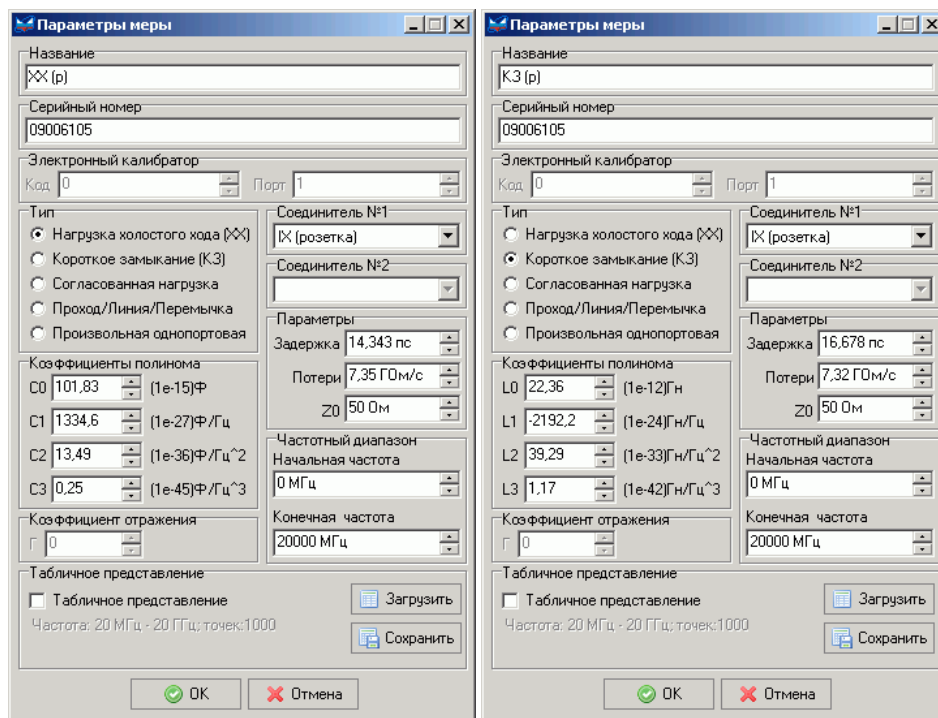


Рисунок Б.4 – Параметры нагрузок XX и КЗ

В группе "Частотный диапазон" задаются начало и конец диапазона рабочих частот.

Поле с регулировкой значения "Коэффициент отражения" активен только при параметрическом описании произвольной однопортовой нагрузки.

Кнопка "Загрузить" в группе "Табличное представление" позволяет считать *SIP*- или *S2P*-файл, содержащий таблицу *S*-параметров калибровочной меры. Если мера однопортовая, а считывается *S2P*-файл, то пользователю будет предложено выбрать один из двух коэффициентов отражения, как показано на рисунке Б.5.

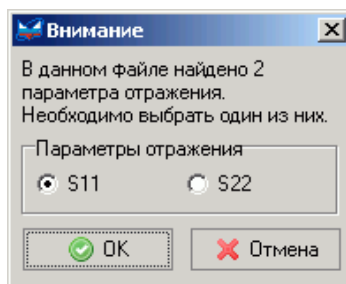


Рисунок Б.5

Кнопка "Сохранить" позволяет сохранить на диск *SIP*-файл для однопортовых мер или *S2P*-файл для двухпортовых.

На рисунке Б.6 приведены два варианта описания согласованной нагрузки – параметрическое (в левой части рисунка) и табличное (в правой). При параметрическом описании коэффициент отражения принимается равный нулю. Более предпочтительно табличное описание, позволяющее учесть неидеальность согласованной нагрузки.

Среди описаний мер передачи следует отметить вариант прямого подключения измерительных портов друг к другу. Чтобы мастер калибровки предложил такое соединение, в списке мер должна присутствовать запись о фиктивной мере передачи с нулевой задержкой и

с соединителями различного вида – вилкой и розеткой (запись № 9 в списке на рисунке Б.1).

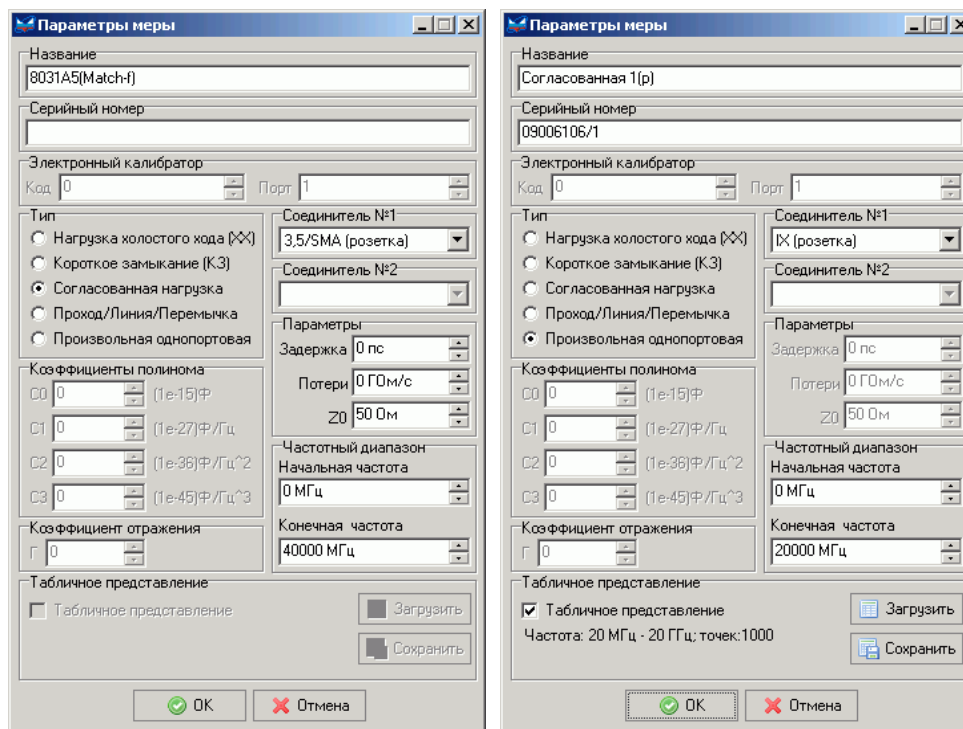


Рисунок Б.6 – Описание согласованных нагрузок

Мастер калибровки выбирает из списка меры, с подходящими соединителями и диапазоном рабочих частот. Для каждой найденной в списке меры отражения (их должно быть от 3 до 6) будет выполнен этап калибровки на отражение. Для калибровки на проход будет использована первая по списку подходящая мера передачи. Если требуется изменить перечень используемых в калибровке мер, то можно сделать копию файла калибровочных мер и удалить из него лишние записи или создать новый вариант калибровки.