



АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ

P4213/P4226/P4226A

Руководство по эксплуатации

Часть II. Использование по назначению

ЖНКЮ.468166.032 РЭ

Предприятие-
изготовитель: АО «НПФ «Микран»

Адрес: 634041 Россия
г. Томск, пр. Кирова, 51д

тел: 8 800 301-00-29,
+7 (3822) 90-00-29

тел/факс: +7 (3822) 42-36-15

e-mail: pribor@micran.ru

сайт: www.micran.ru

Версия документа: 2.26.0

Содержание

Руководство по эксплуатации	Часть II. Использование по назначению	7
1 Нормативные ссылки		7
2 Определения, обозначения и сокращения		7
3 Общие сведения и указания		9
3.1 Установка программного обеспечения		10
3.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах подключения измерительного блока к компьютеру		12
3.2.1 Описание и выбор сетевых параметров		12
3.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного блока к компьютеру (рекомендуемое)		14
3.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети		15
3.2.4 Изменение сетевых параметров		16
3.3 Запуск программы и подключение к Р42		17
3.4 Активация программных опций (при необходимости)		20
4 Описание программного обеспечения		21
4.1 Описание элементов интерфейса пользователя		21
4.2 Обработка, измерения и отображение данных		26
4.3 Главное меню программы		32
4.4 Настройка графического интерфейса		33
4.5 Панели инструментов		34
4.6 Панели управления и параметры		34
4.6.1 Панель «Измерение»		39
4.6.2 Панель «Частота»		41
4.6.3 Панель «Мощность»		41
4.6.4 Панель «Масштаб»		42
4.6.5 Панель «Синхронизация»		43
4.6.6 Панель «Импульсные измерения»		44
4.6.7 Панель «Измерение шума»		44
4.6.8 Панель «Функции трасс»		45
4.6.9 Панель «Временная область»		46
4.6.10 Панель «Фильтрация»		46
4.6.11 Панель «Преобразование частоты»		47
4.6.12 Панель «Маркеры»		48
4.6.13 Панель «Ограничение»		48
4.6.14 Панель «Сервис»		49
4.7 Трассы		49
4.7.1 Создание, обновление и удаление трасс		51

4.7.2	Сохранение и загрузка трасс	53
4.7.3	Формат отображения	54
4.7.4	Масштабирование трасс и настройка осей	55
4.7.5	Накопление	58
4.7.6	Сглаживание	59
4.7.7	Усреднение	60
4.7.8	Ограничительные линии	61
4.7.9	Статистика	63
4.8	Запуск и остановка измерений	64
4.9	Использование профилей пользователя	64
4.10	Маркерные измерения	66
4.10.1	Добавление и удаление маркеров	68
4.10.2	Настройка параметров маркера	69
4.10.3	Режимы слежения маркера	73
4.10.4	Связные маркеры	77
4.11	Сохранение и загрузка результатов измерений, отчёты	81
4.12	Список «горячих» клавиш	84
4.13	Сообщения для пользователя и журнал событий	86
4.14	Управление мощностью СВЧ	88
5	Установка параметров и конфигурация	89
5.1	Установка параметров измерения	89
5.1.1	Установка параметров зондирования и измерения	89
5.1.2	Доступные измерения и форматы. Установка параметров отображения измерительных трасс	91
5.2	Конфигурация портов	97
5.2.1	Преобразование опорного импеданса	98
5.2.2	Смещение мощности порта	98
5.2.3	Характеристика выходной мощности	99
5.2.4	Смещение плоскости калибровки	99
5.2.5	Компенсация потерь	99
6	Калибровка	100
6.1	Наборы калибровочных мер	100
6.2	Выбор метода калибровки	103
6.3	Выбор калибровочных наборов и типа калибровки	104
6.4	Типы калибровок	107
6.4.1	Нормировка	109
6.4.2	Однопортовая калибровка	113
6.4.3	Двухпортовая калибровка в одном направлении	115
6.4.4	Полная двухпортовая калибровка	117
6.4.5	Калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств	119
6.4.6	Калибровка коэффициента шума (для P4226A)	125
6.5	Автоматическая калибровка	130

6.6 Калибровка в волноводном тракте, калибровка <i>TRL</i>	133
6.7 Калибровка источников и приёмников	136
6.7.1 Коррекция выходной мощности	137
6.7.2 Коррекция приёмников.....	139
6.7.3 Коррекция мощности гетеродина.....	141
6.8 Сохранение, восстановление и отключение калибровочных данных .	142
7 Измерения	143
7.1 Измерение коэффициента отражения	143
7.2 Измерение коэффициента передачи.....	145
7.3 Измерение нелинейности ФЧХ.....	146
7.4 Измерение компрессии	147
7.5 Векторные функции трасс	150
7.5.1 Функция «Фазовая задержка».....	150
7.5.2 Функция «Временная область».....	151
7.5.3 Функция «Фильтрация».....	157
7.6 Измерение времени развертки	159
7.7 Исключение/встраивание цепей, компенсация	159
7.8 Использование переходов	163
7.9 Система синхронизации Р42	164
7.10 Измерения устройств с преобразованием частоты.....	169
7.10.1 Общие сведения.....	169
7.10.2 Измерение параметров смесителей с векторной калибровкой ...	170
7.10.3 Измерение параметров смесителей/умножителей со скалярной калибровкой.....	175
7.11 Измерения в импульсном режиме	180
7.11.1 «Импульсный» режим	186
7.11.2 Режим «профиль импульса»	190
7.12 Измерение коэффициента шума	192
7.12.1 Измерение КШ со скалярной калибровкой	195
7.12.2 Измерение КШ с векторной калибровкой	198
8 Мастер автоматической поверки (для Р4226А)	201
Приложение А (справочное) Описание наборов калибровочных мер	206
Приложение Б (справочное) Форматы используемых файлов	213
Б.1 Формат <i>SnP</i> -файлов	213
Б.2 Формат <i>ENR</i> -файлов	214

Приложение В (справочное) Перечень возможных неисправностей	218
Приложение Г (справочное) Решение проблем при настройке сетевых параметров	225
Приложение Д (справочное) Программный интерфейс управления	231
Д.1 Введение	231
Д.2 Подключение через библиотеку <i>MiVISA</i>	232
Д.3 Доступ через <i>Micran Instrument Connector</i>	233

Руководство по эксплуатации

Часть II. Использование по назначению

1 Нормативные ссылки

Touchstone® File Format Specification: Version 2.1 /Ratified by the IBIS Open Forum. – January 26, 2024. – [?]: cop. IBIS Open Forum, 2024. – 36 p.

SCPI-1999: Standard Commands for Programmable Instruments, Version 1999.0. SCPI Consortium, May 1999.

2 Определения, обозначения и сокращения

анализатор(-ы): анализаторы цепей векторные P4213/P4226/P4226A (далее – «P42»).

«Измерение»: часть измерительного канала, выполняющая вычисление измеряемых величин из оцифрованных сигналов измерительных входов P42. Здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс.

Определения для элементов интерфейса пользователя приведены в таблице 4.1.

АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

АХ – амплитудная характеристика.

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

ВАЦ – векторный анализатор цепей.

ВЧ– высокие частоты.

ГШ – генератор шума.

дБм (для уровня мощности) – десятичный логарифм отношения мощности в Вт к 1 мВт, умноженный на десять.

ИОШТ – избыточная относительная шумовая температура.

ИУ – исследуемое устройство.

КО – коэффициент отражения.

КП – коэффициент передачи.

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению.

КУ – коэффициент усиления.

КШ – коэффициент шума.

ОГ – опорный генератор.

ОС – операционная система.

ПГ – погрешность.

ПК – персональный компьютер.

ПО – программное обеспечение.

ПО *Graphit* – программа управления анализаторами Р4213/Р4226/Р4226А, программное обеспечение *Graphit* Р4М.

ПЧ – промежуточная частота.

РЭ – руководство по эксплуатации.

СВЧ – сверхвысокие частоты.

Р42 – анализаторы цепей векторные Р4213/Р4226/Р4226А, то же, что «анализатор».

СН – согласованная нагрузка.

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика.

ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты.

ENR – excess noise ratio (power ratio), то же, что ИОШТ.

3 Общие сведения и указания

Анализаторы цепей векторные Р4213/Р4226/Р4226А (далее – «анализатор» или «Р42») состоят из измерительного блока и программного обеспечения *Graphit* Р4М (далее – ПО *Graphit*), находящегося на *flash*-накопителе в комплекте поставки. Для работы ПО *Graphit* необходимо, чтобы компьютер удовлетворял следующим минимальным требованиям:

- операционная система *Windows*® 7/8/10/11, *Astra Linux CE* 2.12.45, *Ubuntu LTS* 22.04;
- двухъядерный процессор x86 или x64 с тактовой частотой 2,4 ГГц;
- наличие адаптера локальной сети – *Ethernet* 100 Мбит/с;
- встроенный графический адаптер серии *Intel*® *HD Graphics* 4000, либо дискретный с объёмом видеопамяти 512 МБ;
- оперативная память 2 ГБ;
- разрешение экрана 1280 × 720 (для работы с мастером поверки Р4226А – 1600 × 900);
- наличие клавиатуры и мыши, либо устройство сенсорного ввода;
- 80 МБ свободного места на жёстком диске.

Р42 с установленным на компьютер ПО *Graphit* обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение комплексных коэффициентов отражения и передачи (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}), комплексных сопротивлений (Z_{11} , Z_{21} , Z_{12} , Z_{22}) и проводимостей (Y_{11} , Y_{21} , Y_{12} , Y_{22}) в режимах сканирования по частоте и мощности;
- измерение коэффициента шума и эквивалентной шумовой температуры¹⁾;
- отображение значений мощности, поступающих на входы измерительных и опорных приёмников;
- отображение результатов измерений в различных форматах, в полярной системе координат или в виде диаграммы Вольперта-Смита;
- сохранение и загрузку измеренных данных;
- сохранение и загрузку калибровочных данных;
- усреднение, сглаживание, накопление и проверку ограничения результатов измерений;
- отображение статистических данных;
- векторные и скалярные математические операции;
- автоматическое масштабирование;
- маркерные измерения;
- задание граничных значений при допусковом контроле;
- создание профилей измерений и подготовка сводных отчётов.

¹⁾Доступно только для приборов Р4226А.

❗ *Внимание! При первичной установке ПО Graphit рекомендуется проверить, что его версия не ниже версии 2.6, а также выложенной на сайте предприятия-изготовителя (сайт указан на титульном листе; версия ПО отображается в имени файла дистрибутива или в установленной версии в диалоге «О программе Graphit...» (меню программы «Справка > О программе Graphit...»)) в разделе «Продукция» > «Измерительно-информационные системы» > «Контрольно-измерительная аппаратура СВЧ» > «Анализаторы цепей векторные ...» > далее выбрать соответствующие подразделы.*

Подготовку Р42 к измерениям необходимо проводить согласно соответствующему разделу ч. I настоящего РЭ.

Выключение Р42 следует проводить в следующей последовательности:

- остановить процесс измерений;
- закрыть ПО Graphit;
- при необходимости разобрать схему измерений;
- выключить Р42 при помощи выключателя питания на передней панели;
- отсоединить кабель питания и затем клемму заземления от системы защитного заземления.

3.1 Установка программного обеспечения

На flash-накопителе из комплекта поставки Р42 содержатся файлы и каталоги:

autorun.exe – файл программы «автозапуска», представляющей собой окно с основными командами просмотра и установки ПО.

autorun.inf – служебный файл настройки «автозапуска».

Adobe – папка с дистрибутивом свободно распространяемого средства просмотра PDF-файлов *Adobe Reader®*.

Autorun – каталог со служебными файлами программы «автозапуска».

Docs – каталог, содержащий руководство по эксплуатации и методику поверки в файлах pdf-формата;

Install – каталог, содержащий установочные файлы ПО Graphit.

Licenses – каталог для файл-ключа лицензии программных опций.

Production – папка с электронными каталогами продукции АО «НПФ «Микран».

i *Для установки на компьютер ПО Graphit необходимо запустить программу **install_graphit_2.6.x_R4M.exe**, находящуюся в каталоге Install на flash-накопителе. В результате откроется «мастер» установки ПО Graphit, на первом шаге которого будет предложено выбрать язык про-*

граммы, как показано на рисунке 3.1.

! Для установки программного обеспечения пользователь компьютера должен иметь права администратора.

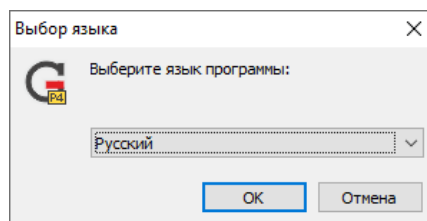


Рисунок 3.1 – Вид окна «Выбор языка» мастера установки ПО *Graphit*

На первом шаге установки пользователю предлагается выбрать «быструю» установку (режим «полной» установки с параметрами по умолчанию) или нажать на кнопку «Далее», если требуется изменить набор устанавливаемых компонентов, либо директорию расположения файлов программы (рисунок 3.2-а).

После нажатия на кнопку «Далее» в процессе установки будет предложено ознакомиться с лицензионным соглашением, указать имя пользователя и организацию, выбрать директорию, в которую будет установлено ПО *Graphit*, а также выбрать компоненты для установки (рисунок 3.2-б). В состав компонентов по умолчанию дополнительно включены:

- программный эмулятор приборов (для работы в ПО *Graphit* без подключения к Р42);
- редактор наборов калибровочных мер;
- файлы справки;
- мастер отчётов;
- драйвер электронного калибратора (необходим при наличии устройства электронной калибровки);
- руководство и примеры программирования *SCPI*.

Для прекращения установки необходимо нажать кнопку «Отмена». При завершении установочного процесса будет предложено автоматически запустить ПО *Graphit* и просмотреть список внесённых в текущую версию изменений.

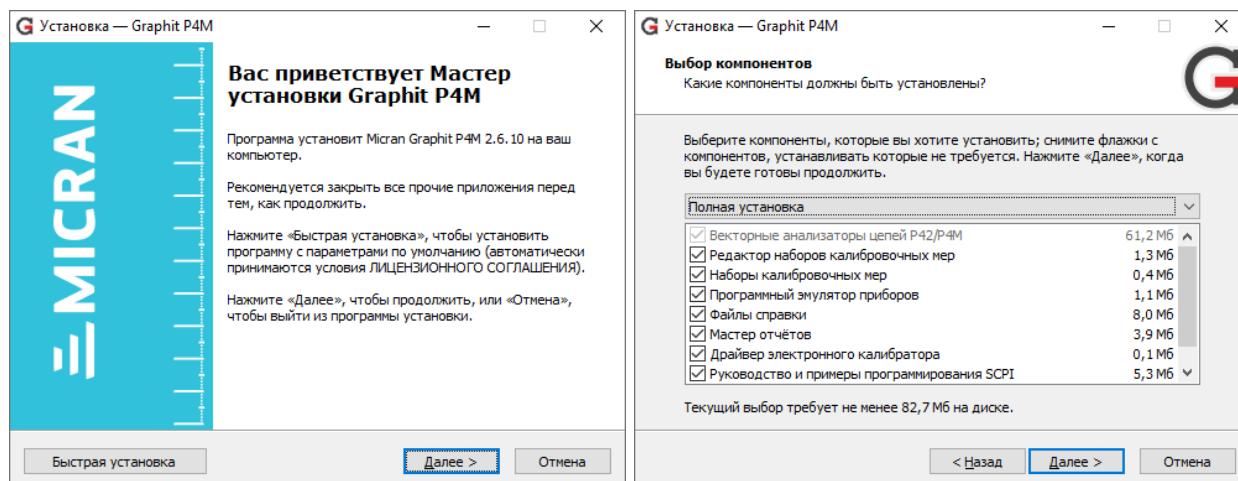


Рисунок 3.2 – Установка ПО Graphit

3.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах подключения измерительного блока к компьютеру

3.2.1 Описание и выбор сетевых параметров

Измерительный блок использует интерфейс *Ethernet* для подключения к компьютеру непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети. Для идентификации P42 в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», хранящихся в текстовых файлах на встроенном в P42 FTP-сервере. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров P42:

IP-адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
IP-адрес шлюза:	0.0.0.0
Сетевое имя:	r42-13-00000001 (<i>тип и серийный номер P42 могут отличаться</i>)

На задней панели P42 имеется линейка из шести переключателей КОНФИГУРАТОР (рисунок 3.3), с помощью которых выбирается набор сетевых параметров.

Назначение переключателей КОНФИГУРАТОР представлено в таблице 3.1.

Первый переключатель выбирает набор сетевых параметров. При выключенном первом переключателе будут использоваться «Фабричные» параметры, а при включённом – параметры «Пользователя».

Второй переключатель разрешает использование протокола автоматиче-

ской конфигурации *DHCP*. При выключенном переключателе используются *IP*-адрес и маска, заданные в наборе сетевых параметров. При этом сетевое имя» игнорируется. При включённом переключателе делается попытка получить значения сетевых параметров от сервера локальной сети. Сервер, получив *DHCP*-запрос, регистрирует «Сетевое имя» и возвращает Р42 *IP*-адрес и маску. Если Р42 не получил ответа на *DHCP*-запрос, то устанавливаются *IP*-адрес и маска, указанные в наборе сетевых параметров.

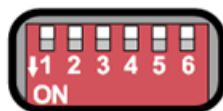


Рисунок 3.3 – Переключатели КОНФИГУРАТОР на задней панели Р42 (все выключены)

Шестой переключатель должен быть всегда в положении выключен. Во включённом положении формируется сигнал *Reset*, препятствующий работе измерительного блока.

Изменение положений переключателей 1 и 2 применяется только после перезапуска питания Р42 или кратковременного включения шестого переключателя.

Т а б л и ц а 3.1 – Назначение переключателей КОНФИГУРАТОР

Номер переключателя	Назначение	Значение <i>ON</i> или ВКЛ	Значение <i>OFF</i> или ВЫКЛ
1	Выбор набора сетевых параметров	Используется набор «Пользователя»	Используется «Фабричный» набор
2	Автоматическая конфигурация	При включении питания Р42 пытается передать <i>DHCP</i> -серверу «Сетевое имя» и в ответ получить <i>IP</i> -адрес и маску. Если Р42 не получил ответа, то устанавливаются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров.	Используются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров. «Сетевое имя» игнорируется
3 - 5	Не используются	—	—

Номер переключателя	Назначение	Значение ON или ВКЛ	Значение OFF или ВЫКЛ
6	<i>Reset</i> (должен быть выключен)	Формируется сигнал <i>Reset</i> , препятствующий работе Р42; кратковременное включение перезапускает внутренний процессор; использование не рекомендуется	Нормальное положение

3.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного блока к компьютеру (рекомендуемое)

При прямом подключении (рисунок 3.4), Р42 соединяется кабелем *Ethernet UTP 5* категории («витая пара»), входящим в комплект поставки, непосредственно с сетевой картой управляющего ПК.

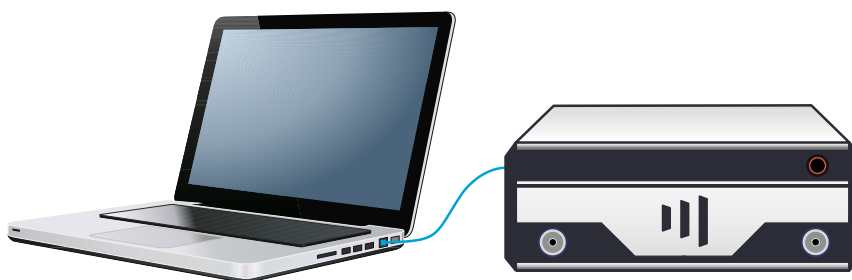


Рисунок 3.4 – Прямое подключение

Этот вариант подключения не требует каких-либо настроек¹⁾. При этом должны быть выполнены следующие условия:

а) все переключатели КОНФИГУРАТОР на задней панели Р42 должны быть выключены, т.е. будет использоваться «Фабричный» набор сетевых параметров;

б) параметры *TCP/IP*-протокола в компьютере должны быть установлены по умолчанию, т.е. включена автоматическая конфигурация. Для этого в командной строке «Выполнить» (открывается через меню «Пуск» или сочетанием клавиш  +R) наберите латиницей *ncpa.cpl* и нажмите «**Enter**». В открывшемся окне щёлкните правой кнопкой мыши на необходимом активном подключении по локальной сети и в контекстном меню выберите пункт «Свойства». Далее в списке компонентов, используемых этим подключением, для *Windows® 7* выберите строку «Протокол Интернета версии 4 (*TCP/IPv4*)», для *Windows® XP* – «Протокол Интернета (*TCP/IP*)», а для *Windows® 10/11* – «*IP* версии 4 (*TCP/IP*)», и нажмите кнопку «Свойства». Установите радиокнопку

¹⁾Необходимо отметить, что после включения питания измерительного блока, интерфейсы компьютера и измерительного блока обнаруживают друг друга. После чего компьютер начинает процедуру автоматической конфигурации *TCP/IP*-протокола, которая может длиться около 40 с.

«Получить *IP*-адрес автоматически» и нажмите «ОК».

3.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети

В варианте подключения к локальной сети (рисунок 3.5) Р42 может управлять любой компьютер локальной сети. Одним Р42 не могут управлять несколько компьютеров одновременно, но возможно управление одним компьютером несколькими Р42 для исследования сложных СВЧ устройств. При необходимости, Р42 могут обмениваться синхросигналами.

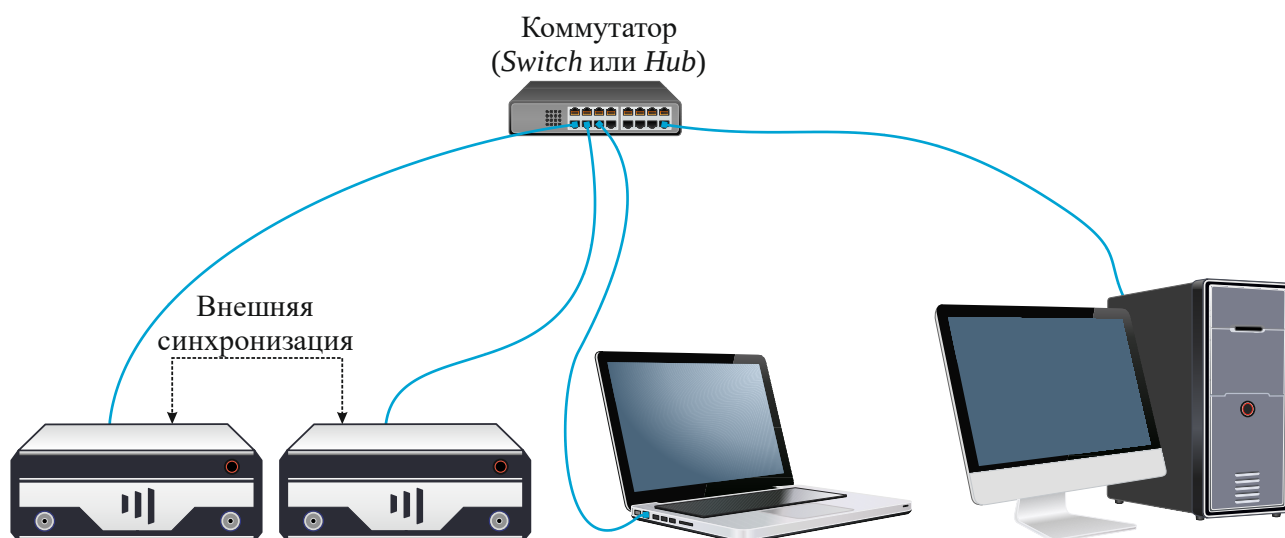


Рисунок 3.5 – Подключение к локальной сети Р42 (расположены слева)

Вариант подключения к локальной сети отличается от прямого подключения только количеством узлов. ПК и подключённый к нему Р42 тоже можно считать локальной сетью, состоящей из двух узлов. Более важно наличие в сети сервера автоматической конфигурации – *DHCP*-сервера, для использования которого необходимо включить переключатель 2 конфигуратора. Переключатель 2 можно не выключать, тогда при отсутствии *DHCP*-сервера Р42 после безуспешных попыток получить *IP*-адрес (через 20 секунд) продолжит работать так, как работал бы с выключенным переключателем 2.

Рассмотрим возможные варианты включения Р42 в локальную сеть. Пусть в вариантах с 1 по 3 в ПК и в приборе включена автоматическая конфигурация *IP*-протокола (второй переключатель конфигуратора в положении «ON», первый – в положении «OFF»).

Вариант первый – включение в локальную сеть с *DHCP*- и *DNS*-серверами. ПК и Р42 получают *IP*-адреса от *DHCP*-сервера. *DHCP*-сервер регистрирует сетевое имя Р42 на *DNS*-сервере, что позволит использовать сетевое имя в качестве адреса Р42.

Вариант второй – включение в локальную сеть, содержащую только *DHCP*-сервер. ПК и Р42 получают от сервера *IP*-адреса. Адрес прибора будет не

известен, но он будет определён с помощью функции обнаружения приборов при подключении ПО.

Вариант третий – включение одного Р42 в локальную сеть, не содержащую серверов. Вариант эквивалентен прямому подключению. Р42 будет доступен по адресу 169.254.0.254.

Для пользователя представленные выше варианты и прямое подключение вместе с ними выглядят одинаково. Он подключает Р42 более предпочтительным для него способом – непосредственно к ПК или в локальную сеть и, при подключении посредством ПО, выбирает Р42 из списка обнаруженных.

Вариант четвёртый – в ПК выключена автоматическая конфигурация IP-протокола. Бывают такие локальные сети, где администратор вручную задаёт адреса ПК. В измерительном блоке также надо запретить автоматическую конфигурацию – установить переключатель 2 конфигуратора в положение «OFF», и задать IP-адрес прибора в «пользовательском» наборе сетевых параметров (см. п. 3.2.4).

❗ При возникновении проблем при конфигурации сетевых параметров обратитесь к администратору локальной сети или попробуйте воспользоваться информацией и рекомендациями, изложенными в Приложение Г и Приложение В.

3.2.4 Изменение сетевых параметров

Изменение сетевых параметров измерительного блока может потребоваться при подключении Р42 к локальной сети или при подключении нескольких Р42 к одному компьютеру.

Изменять можно только набор сетевых параметров «Пользователя». Проще всего это сделать через WEB-интерфейс Р42, выполнив следующую последовательность действий.

а) Если адрес Р42 не известен или он не доступен с текущими сетевыми настройками:

- выключите Р42;
- выполните прямое подключение, описанное в п. 3.2.2;
- выключите все переключатели конфигуратора на задней панели Р42;
- подождите около 30 с после выключения Р42, включите Р42 и подождите около 40 с.

б) Наберите в адресной строке интернет-браузера IP-адрес Р42 (169.254.0.254 при прямом подключении к ПК) и нажмите клавишу «**Enter**». В окне браузера отобразится стартовая страница – «Информация о приборе».

в) Нажать на кнопку «Сетевые параметры», чтобы перейти на страницу управления сетевыми параметрами «Пользователя», приведённую на рисун-

ке 3.6.

г) Выполнив необходимые изменения, нажмите кнопку «Записать».

! При изменении сетевых настроек Р42 через Web-интерфейс во избежание поломки Р42 после нажатия кнопки «Записать» необходимо дождаться появления сообщения о завершении записи «Write config complete» на той же страничке настройки сетевых параметров! Время ожидания может достигать до 1 мин!

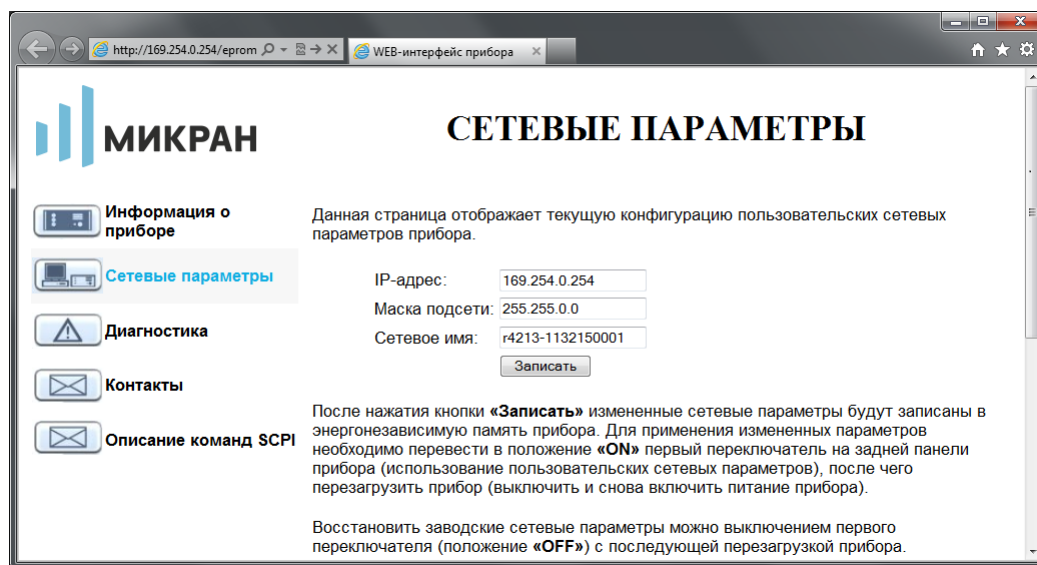


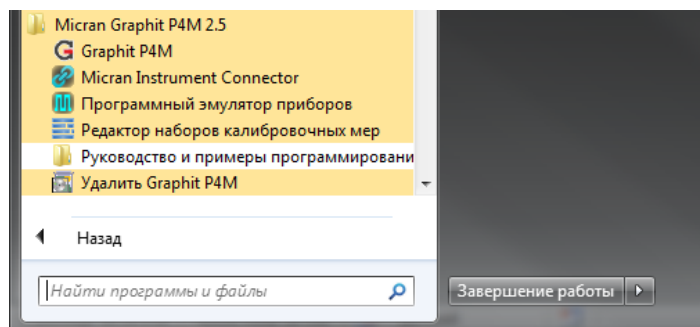
Рисунок 3.6 – Изменение сетевых параметров

IP-адрес должен быть уникальным в локальной сети. «Сетевое имя» не должно содержать кириллицу, пробелы, символ подчёркивания и другие служебные символы. Маску подсети обычно изменять не требуется.

! Изменение сетевых параметров вступит в силу только после выключения/включения питания Р42 и при включённом первом переключателе КОНФИГУРАТОР на задней панели Р42 (рисунок 3.3). Между выключением электропитания и последующим включением Р42, с целью сохранности блока питания, необходимо выдержать интервал не менее 30 с.

3.3 Запуск программы и подключение к Р42

Для запуска ПО Graphit следует нажать кнопку «Пуск» и выбрать пункт меню «Пуск > Все программы > Micran Graphit P4M 2.6.x > Graphit P4M», как показано на рисунке 3.7 (номер версии ПО может отличаться).

Рисунок 3.7 – Старт ПО *Graphit* из меню «Пуск»

После старта ПО *Graphit* появится диалог подключения к Р42 (рисунок 3.8). Под подключением здесь понимается установка TCP-соединения с измерительным блоком, инициализация и установка текущих параметров.

Диалоговое окно подключения к Р42 содержит панель «Избранное» и «Поиск приборов», в которых содержатся списки приборов с их описанием, адресом, типом, серийным номером и состоянием. В правой части диалогового окна расположены кнопки управления, позволяющие добавлять, удалять и изменять элементы списка «Избранное». Кнопка «Поиск приборов» позволяет скрыть/отобразить список «Поиск приборов». Включение переключателя «Подключаться по умолчанию» приведёт к автоматическому подключению к выбранному Р42 при следующем старте ПО *Graphit*. Для отключения данной опции необходимо после запуска программы открыть окно подключения, используя пункт главного меню программы «Управление > Подключение к ВАЦ...», и установить данный переключатель в положение «О».

Контекстное меню списков окна подключения (рисунок 3.9) кроме команд управления списками содержит дополнительные функции: копирование адреса выделенного прибора в буфер обмена, переход в браузере на WEB-интерфейс Р42 и создание ярлыка ПО *Graphit* на рабочем столе для быстрого запуска и подключения к выбранному Р42.

После выбора Р42 из списка и нажатия кнопки «Подключиться» или двойного щелчка по элементу списка выполняется попытка подключения к Р42. Если ПО не удалось установить подключение, то отобразится сообщение об ошибке (рисунок 3.10). После нажатия кнопки «ОК» диалоговое окно подключения к Р42 примет исходный вид, приведённый на рисунке 3.8. Нажатие кнопки «Отмена» закроет диалоговое окно подключения к Р42.

Чтобы повторно открыть диалог подключения к Р42, следует воспользоваться пунктом меню «Управление > Подключение к ВАЦ...».

Функция «Повторить поиск» позволяет повторить обнаружение доступных приборов. ПО обращается к DNS-серверу с просьбой преобразовать IP-адрес Р42 в сетевое имя. Если это удаётся, то в столбце «Адрес прибора» вместо IP-адреса отображается сетевое имя. Невозможность преобразования IP-адреса в сетевое имя не является ошибкой и связана, скорее всего, с тем, что Р42 не использовал автоматическую конфигурацию сетевых параметров (пере-

ключатель 2 на задней панели выключен, рисунок 3.3) и не зарегистрировал своё имя на сервере. Если поиск осуществлялся при выключенном переключателе «Все приборы», то из найденных устройств будут отображены только подходящие к текущей версии ПО *Graphit P42*.

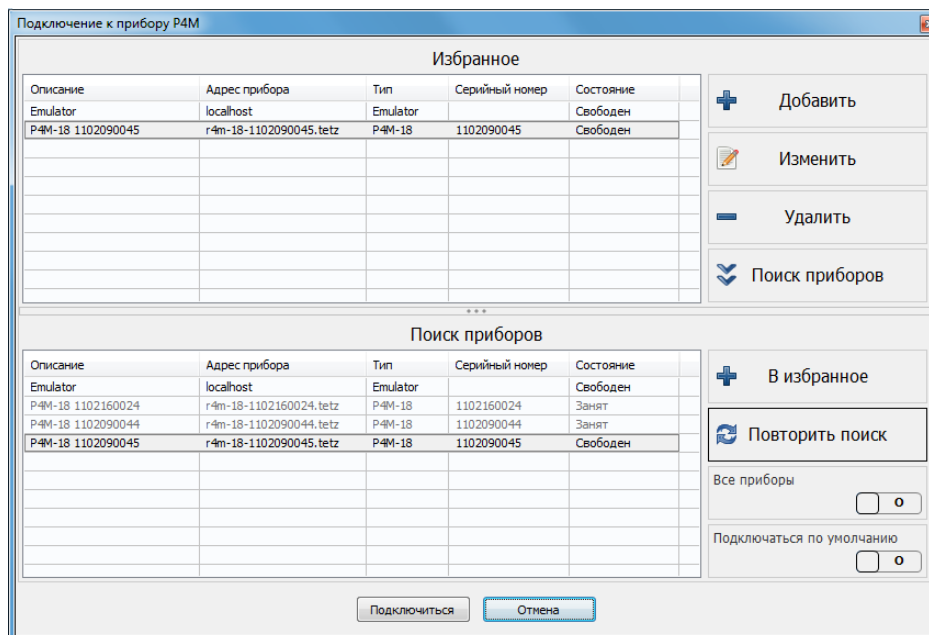


Рисунок 3.8 – Диалоговое окно подключения к P42

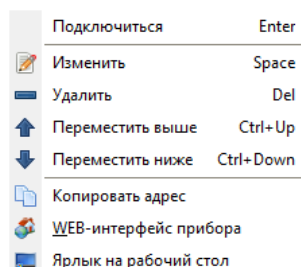


Рисунок 3.9– Контекстное меню списка окна подключения

! При возникновении проблем с подключением к P42 воспользуйтесь информацией и рекомендациями, изложенными в Приложение Г и Приложение В.

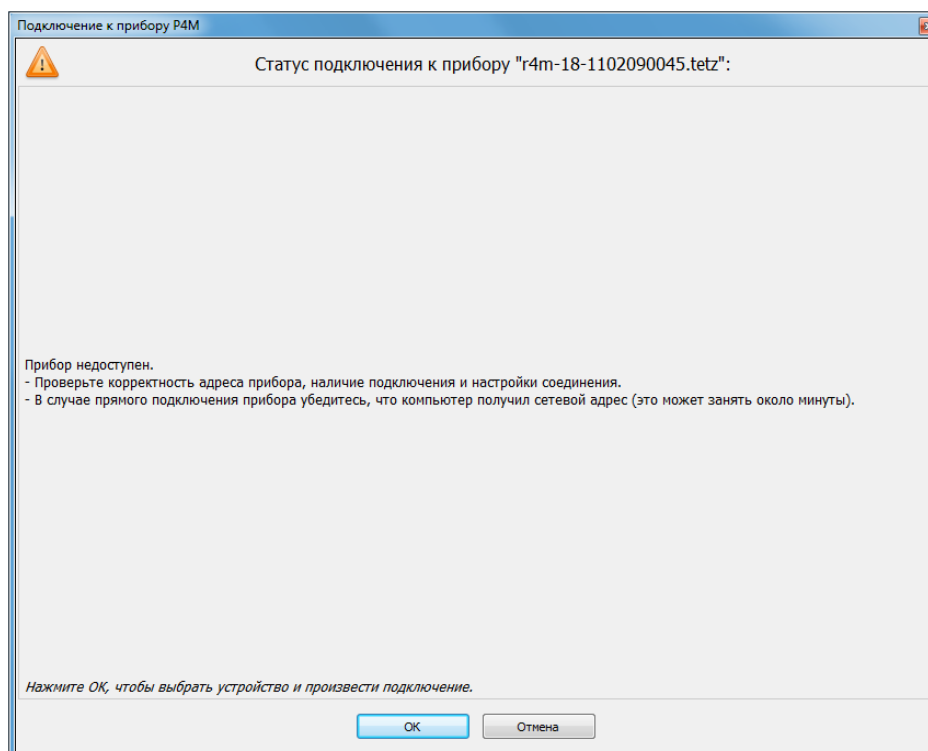
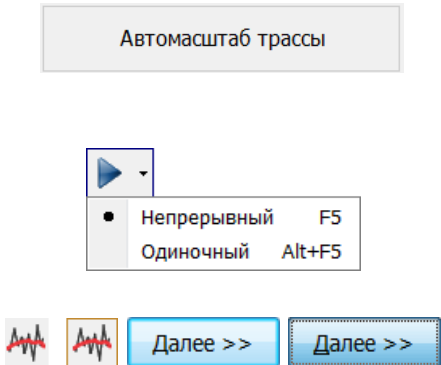
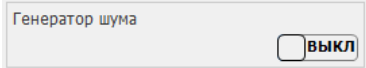
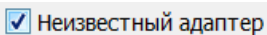
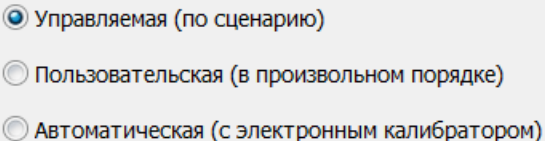
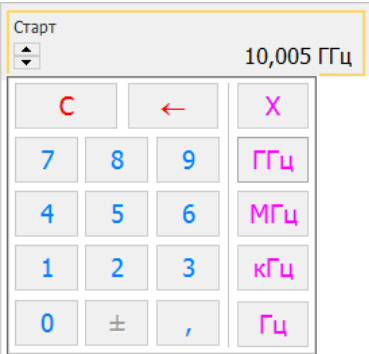
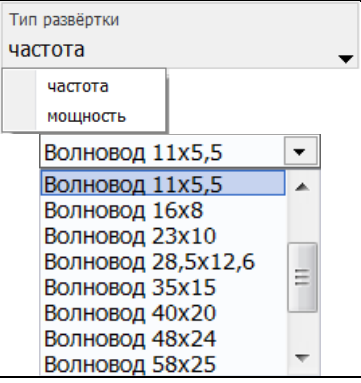
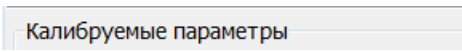


Рисунок 3.10 – Сообщение о неудачном подключении к Р42

3.4 Активация программных опций (при необходимости)

На последних версиях Р42 ключ лицензии уже содержится во встроенном ПО (не поставляется отдельно на цифровом носителе), и загружается в ПО *Graphit* автоматически. В противном случае для активации программной опции вызовите пункт меню «Управление > Список ключей...» и в появившемся окне нажмите на кнопку  для выбора файла-ключа лицензии с расширением *lk* (рисунок 3.11). Файл-ключ лицензии, поставляемой вместе с Р42, находится в директории *Licenses* на *flash*-накопителе. После добавления лицензии активация опций происходит автоматически, перезагрузка ПО *Graphit* не требуется. Список доступных программных опций ПО *Graphit* приведён в таблице 3.2.

Название	Пример внешнего вида	Описание
		на самих кнопках, или появляться в контекстной подсказке при наведении на нее указателем мыши): Кнопка с текстом и/или пиктограммой Кнопки со списком (нажатие приводит к выбору очередного элемента в списке) Кнопки с фиксацией
Переключатель (тумблер)		Переключатель (тумблер). Аналог классического флажка.
Флажок		Включает (и индицирует) определённые свойства или функции
Радиокнопка		Выбор одного из вариантов
Поле ввода (или поле с регулировкой значения)		Элемент задания значений с возможностью ввода с экранной клавиатуры (ЭК), либо перелистыванием с определённым шагом при помощи колеса прокрутки мыши или клавишами-стрелками «вверх»/«вниз». Вызов экранной клавиатуры происходит по нажатию левой кнопки мыши, контекстного меню для настроек шага или выбора одного из прошлых значений – по нажатию правой кнопки мыши.

Название	Пример внешнего вида	Описание
Поле со спис- ком		Предназначено для выбо- ра одного из элементов выпадающего списка (название поля может присутствовать в самом поле, либо слева от него)
Группа		Область диалога с назва- нием, обозначенная рам- кой, объединяет, как пра- вило, несколько элемен- тов управления, например радиокнопки, поля ввода и т.п.

Окно ПО *Graphit* содержит главное меню, панели инструментов, а также одну или несколько диаграмм и панели управления. На рисунке 4.1 меню и панели инструментов расположены в верхней части окна, панели управления расположены внутри соответствующей области в правой части окна.

Боковая **статусная панель** (на рисунке 4.1 расположена слева) отображает амплитудные параметры канала, список которых приведён в таблице 4.2. При наведении мыши на индикатор панели появится всплывающая подсказка с расшифровкой обозначения.

Нижняя **статусная панель** отображает следующие параметры измерения:

- Начальная частота/мощность/время **10 МГц**;
- Цветовые индикаторы трасс диаграммы  (кликом мыши по любому из них выбирается трасса, обозначенная цветом индикатора);
- Полоса обзора **19,99 ГГц**;
- Количество точек **501**;
- Центральная частота/мощность/время **10,005 ГГц**;
- Полоса фильтра ПЧ **ФПЧ 10 кГц**;
- Конечная частота/мощность/время **20 ГГц**.

Статусная строка (или, иначе, строка состояния) содержит информацию о подключённом Р42:

- тип и серийный номер;
- IP-адрес или сетевое имя Р42;
- статус подключения к Р42;

- режим опорного генератора «ОГ»;
- режим входа синхронизации «С/ВХ»;
- режим выхода синхронизации «С/ВЫХ»;
- отображает текущее время развёртки.

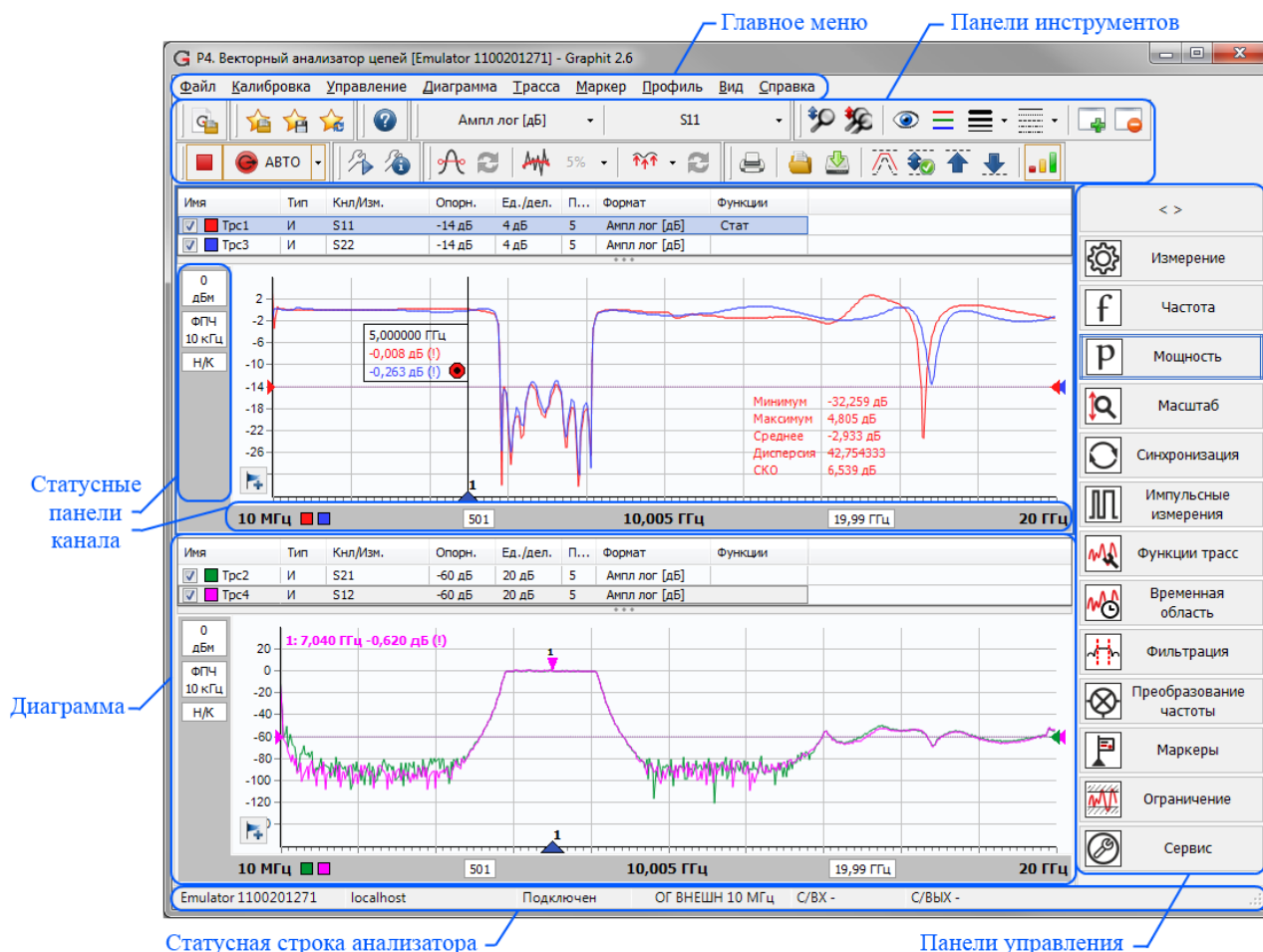


Рисунок 4.1 – Общий вид ПО Graphit P42

Т а б л и ц а 4.2 – Индикаторы боковой статусной панели канала

Наименование индикатора	Вид	Описание
Уровень выходной мощности	-10 дБм	Уровень выходной мощности
Межкадровое усреднение	3/3	Количество усреднённых кадров / степень межкадрового усреднения
Полоса ФПЧ	ФПЧ 10 кГц	Полоса фильтра промежуточной частоты (ФПЧ)
Коррекция ¹⁾	Н/К	Калибровка S-параметров не выполнена, либо выключена коррекция

Наименование индикатора	Вид	Описание
		Включен учет результатов полной двухпортовой калибровки
		Включен учет результатов однопортовой калибровки, порт 1
		Включен учет результатов нормировки частотной неравномерности на проход, порт 1
		Включен учет результатов нормировки частотной неравномерности по отражению, порт 1
		Включен учет результатов неполной двухпортовой калибровки, порт 2
		Включен учет результатов Векторная калибровка для измерения смесителей
		Включен учет результатов калибровки коэффициента шума
Встраивание/исключение цепи	 	Исключение цепи, порт 1 Встраивание цепи, порт 2
Коррекция выходной мощности		Включена коррекция выходной мощности порта 1
Коррекция приёмника		Включена коррекция анализаторного приёмника (b2) порта 2
Смещение мощности порта 2		Смещение мощности порта 2 на 1 дБ
Преобразование импеданса		Включено преобразование опорного импеданса
Компенсация потерь и смещение плоскости		Включена компенсация потерь или смещение опорной плоскости
¹⁾ Наличие дополнительного знака «(!)» означает применение интерполяции калибровочных данных.		

Панели управления и панели инструментов являются основным средством задания параметров Р42 и измерений, позволяют изменять настройки отображения и операций над трассами. Область панелей управления можно «свернуть» или «развернуть», кликнув мышью по их заголовку или по значку «>>» или «<<», расположенному выше.

4.2 Обработка, измерения и отображение данных

Для упрощения понимания функций тех или иных элементов интерфейса ПО *Graphit*, необходимо рассмотреть блок-схемы обработки данных (рисунки 4.2 и 4.3). Обработка сигнала, производимая до ПО *Graphit*, а также особенности работы, приведены на структурных схемах и в тексте при разъяснении устройства и работы Р42 в разделе с описанием Р42 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ.



Рисунок 4.2 – Обобщённая схема обработки данных

Измерительный канал – источник измеренных величин. Определяет алгоритм взаимодействия аппаратных и программных частей и соответствующие им параметры. «**Измерение**» – часть измерительного канала, выполняющая вычисление измеряемых величин из оцифрованных сигналов измерительных входов Р42. Здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс. Порядок обработки данных в измерительном канале представлен на рисунке 4.3.

Р42 поддерживает один измерительный канал:

- Измерения в частотной области.

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 . Далее 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.

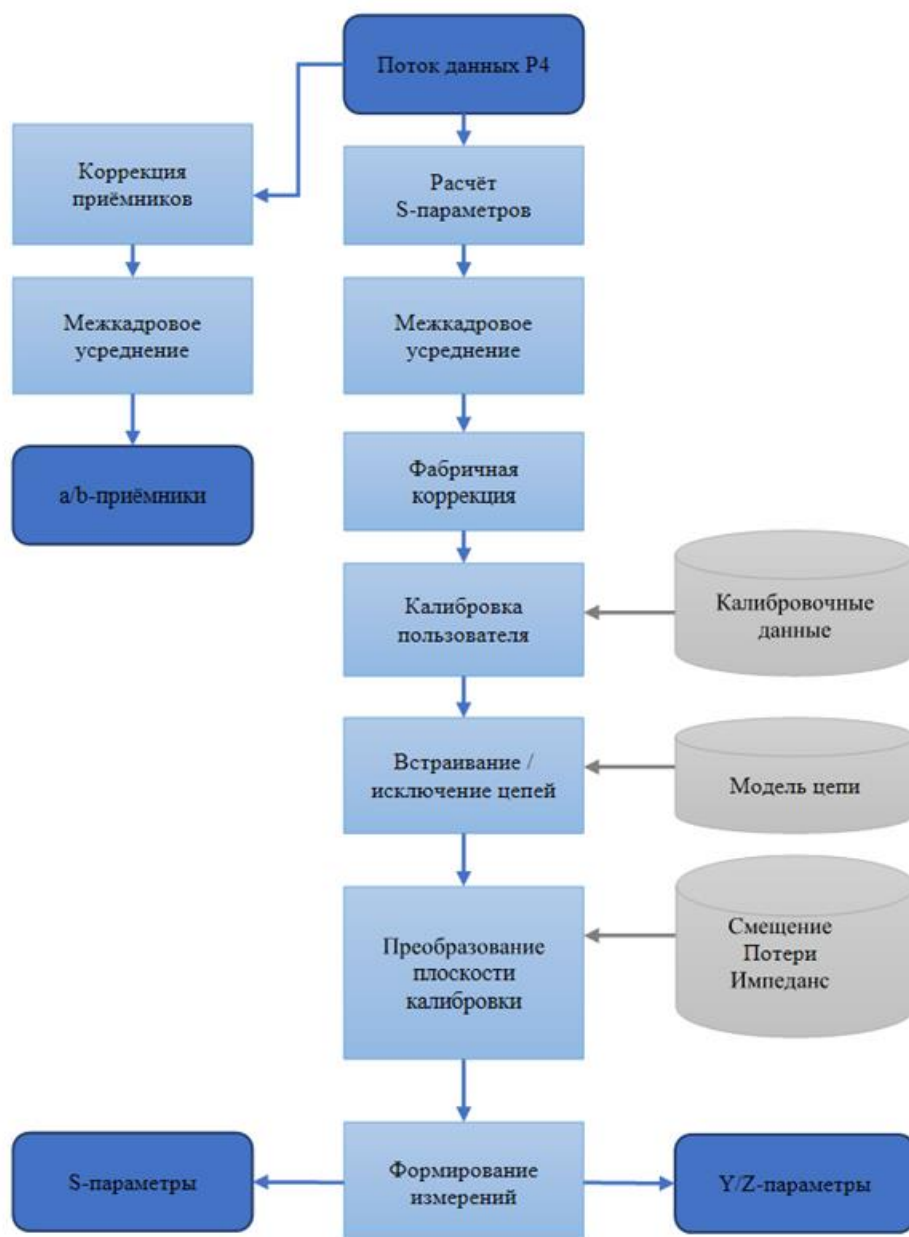


Рисунок 4.3 – Блок-схема обработки данных в измерительном канале

Из некорректированных S -параметров с использованием калибровочных данных вычисляются оценки S -параметров ИУ. Коррекция выполняется, если:

- была выполнена соответствующая калибровка;
- коррекция не отключена в окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12);
- флажок в меню «Калибровка > Отключить коррекцию» не установлен.

В противном случае в диаграмму поступают некорректированные S -

параметры.

«Измерения» $a1F$, $b1F...b2R$ служат для индикации уровней мощности в трактах ПЧ приёмников a_1 , a_2 , b_1 и b_2 при прямом и обратном зондировании.

❗ В ПО Graphit Р4М версий 2.6.x реализован ОДИН измерительный канал с возможностью переключения типа сканирования по частоте или по мощности.

Диаграмма – область экрана, содержащая графики (трассы), список трасс, координатные оси, боковую и нижнюю статусные панели канала, линии сетки и маркеры.

Трасса – последовательность измеренных, рассчитанных или запомненных точек данных «измерения», соединённых линией. Существуют следующие типы трасс:

- **измерительная трасса**, отображающая результаты измерений;
- **математическая трасса**, отображающая результат поточечной арифметической операции над трассами – сложение, вычитание, умножение, деление и другие;
- **трасса памяти**, представляющая собой статическую копию данных любой другой трассы произвольного типа, либо данные, загруженные из файла.

Маркеры – индикаторы на диаграмме, содержащие численные значения заданных точек трасс. Благодаря широкому набору функций, описанных в п. 4.10, маркеры способны находить по заданному критерию особые точки на трассе, вычислять вторичные измеряемые параметры (такие как полоса пропускания, коэффициент прямоугольности, добротности и т.п.), отображать статистические данные. Маркеры или их связи (**связные маркеры**) позволяют устанавливать некоторые параметры измерения или настройки отображения трассы.

В окне ПО Graphit одновременно могут отображаться от 1 до 4 диаграмм, и в каждой диаграмме могут отображаться до 30 трасс (максимальное число измерительных трасс – 10). Пользователю разрешено отображать на одной диаграмме трассы в разных форматах, принадлежащие различным «измерениям» и измерительным каналам. На рисунке 4.4 показан пример диаграммы с контекстным меню, появившемся после клика правой кнопкой мыши по области отображения трасс.

i Чтобы создать или удалить диаграмму, следует щёлкнуть правой кнопкой мыши по области отображения трасс и в появившемся контекстном меню выбрать соответствующий пункт. Удалить единственную диаграмму невозможно.

i При двух и более диаграммах двойной щелчок мышью по горизонтальной шкале или нажатие клавиши «F11» развернёт диаграмму до максимальных размеров, скрыв соседние диаграммы. Повторный двойной клик

мышью по горизонтальной шкале или нажатие клавиши «F11» вернёт диаграмму в прежнее состояние.

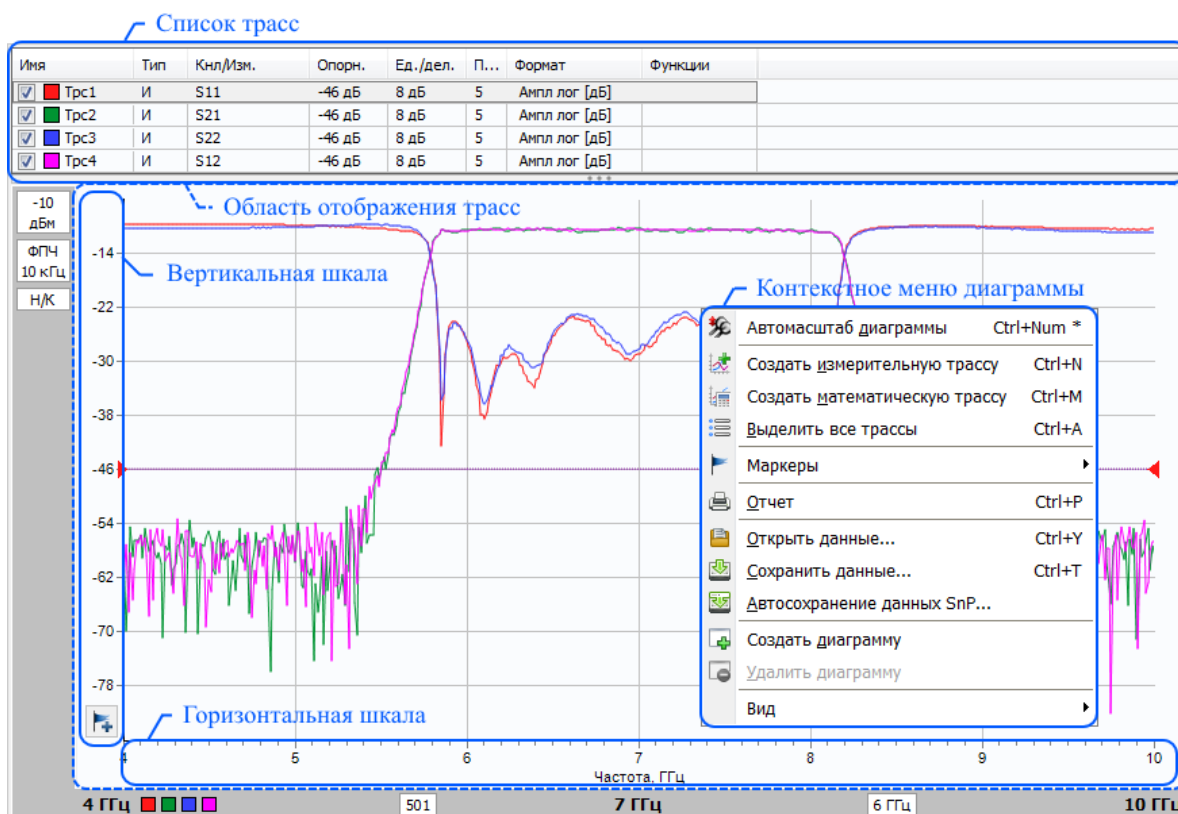


Рисунок 4.4 – Диаграмма и её контекстное меню

Список трасс, расположенный в верхней части диаграммы, представляет собой таблицу, содержащую перечень трасс и их атрибуты. В столбце «Имя» кроме названия трассы содержится флажок, позволяющий скрыть или отобразить трассу, и индикатор цвета трассы. Двойной щелчок мышью по индикатору цвета трассы позволит выбрать цвет в появившемся стандартном диалоге выбора цвета. Двойной щелчок мышью по названию трассы позволит переименовать трассу.

В столбце «Тип» отображается тип трассы: «И» – измерительная, «П» – памяти или «М» – математическая. В столбце «Кнл/Изм.» содержатся имена канала (если он не единственный) и «измерения», разделённые символом «/».

В столбцах «Опорн.», «Ед./дел.» и «Поз.» отображаются значения опорного уровня, масштаба (ед./дел.) трассы и позиции опорного уровня. Двойной щелчок мышью по любой из указанных ячеек позволит изменить значение соответствующего параметра во всплывающем поле. Более подробно эти параметры описаны в п. 4.7.1.

Столбец «Формат» отображает текущий формат данных трассы. Двойной

щелчок мышью в этом поле откроет список доступных форматов.

В столбце «Функции» отображаются сокращения названий операций, применяемых к результатам измерений (подробнее в п. 4.7), а также дополнительная информация для математических и трасс памяти.

При наличии нескольких диаграмм активная диаграмма выделяется рамкой. Трассу можно выделить непосредственно в списке, либо щёлкнув левой кнопкой мыши по пиктограмме трассы с её цветом на нижней статусной панели канала. Можно выделить несколько трасс, удерживая клавишу «**Ctrl**» или «**Shift**», для того, чтобы управлять их атрибутами одновременно. Все пункты меню, а также элементы панелей управления и инструментов, касающиеся трасс, имеют отношение только к выделенным трассам и соответствующим им измерительным каналам. Работа с трассами разных типов подробно описана в п. 4.7.

Список трасс автоматически расширяется при добавлении новой трассы (если установлен флажок «Вид > Автовысота списка трасс» в меню диаграммы), если общее количество трасс не превышает 4. Также существует возможность изменения его высоты пользователем перемещением нижней границы. Можно немного сократить занимаемую списком площадь экрана, скрыв заголовки столбцов, очистив флажок «Вид > Заголовки столбцов» в меню диаграммы.

Для быстрого создания сразу нескольких измерительных трасс рекомендуется использовать специальное окно «**Добавить измерения**» (рисунок 4.5), открыв его кнопкой  на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 4.19). Пользователю необходимо выбрать одно или несколько (используя клавишу «**Ctrl**» и клик левой кнопки мыши) необходимых измерений из списка, а также диаграмму, на которой будут созданы новые трассы.

Контекстные меню (рисунок 4.6) предназначены для быстрого доступа к свойствам и функциям диаграмм, трасс и маркеров. Необходимо отметить, что некоторые операции (например, сохранение данных трассы в файл), доступны только из контекстных меню. Далее под термином «меню» понимается контекстное меню соответствующего объекта.

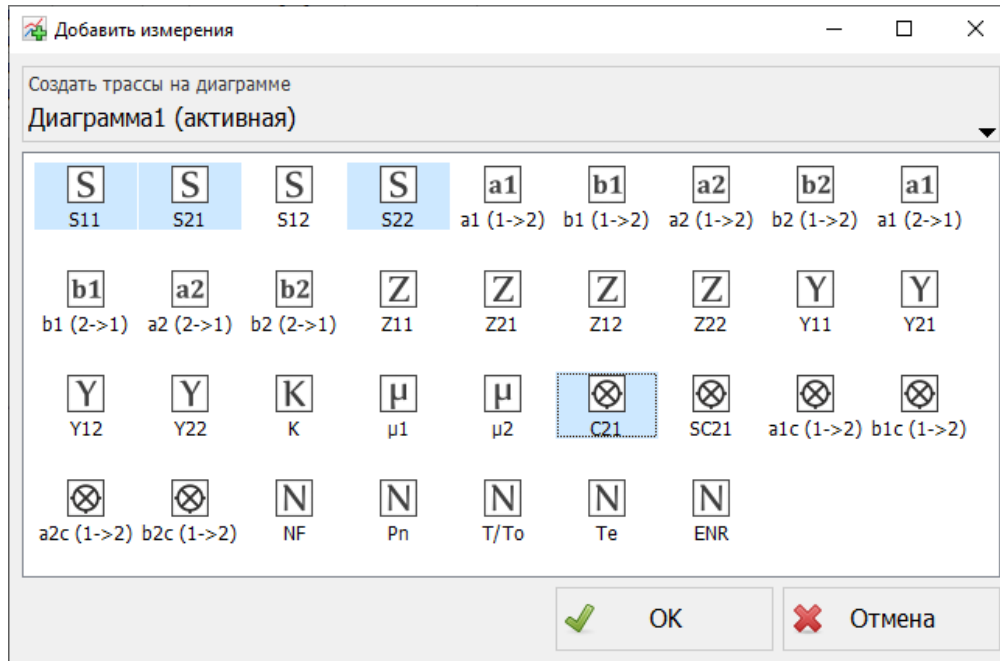
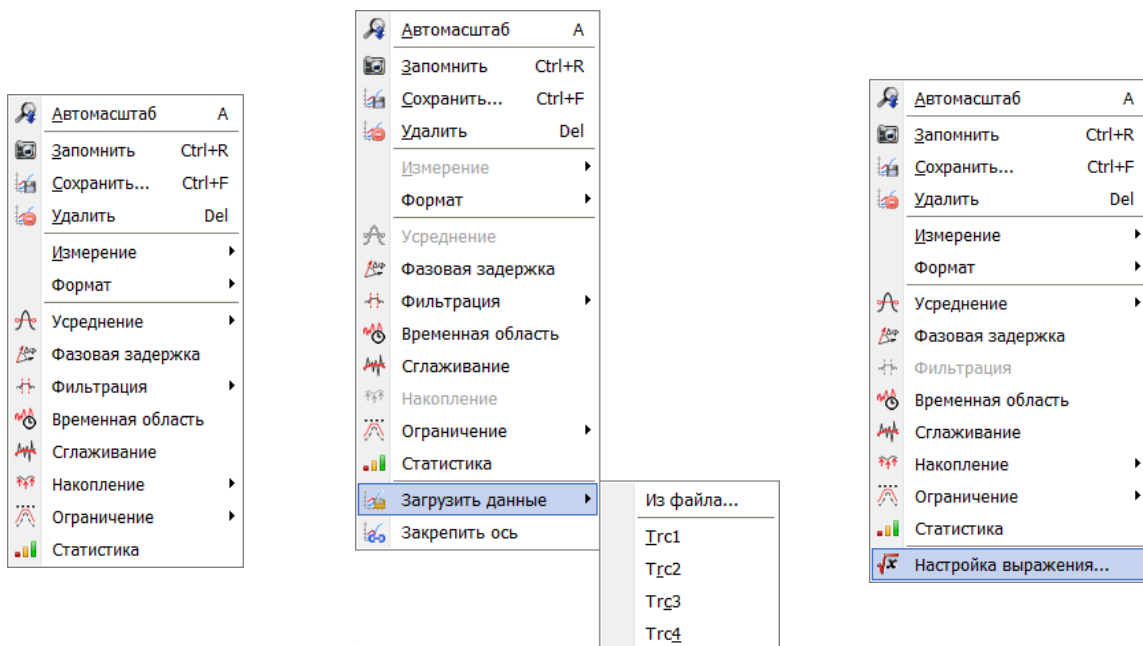


Рисунок 4.5 – Окно добавления измерений



а) Меню измерительной трассы

б) Меню трассы памяти

в) Меню математической трассы

Рисунок 4.6 – Контекстные меню трасс

4.3 Главное меню программы

Главное меню ПО *Graphit*, изображённое на рисунке 4.7, отображается в верхней части окна программы и состоит из следующих пунктов.

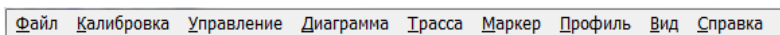


Рисунок 4.7 – Главное меню

Файл – используется для смены режима измерения ПО *Graphit* (в версиях ПО для ВАЦ смена режимов не предусматривается), выхода из программы, а также содержит функции создания и отправки снимков окна программы на определённый адрес электронной почты (рисунок 4.58).

Калибровка – меню предназначено для выполнения калибровки, управления калибровочными данными и настройки параметров коррекции.

Управление – содержит команды подключения/отключения к Р42 и запуска/остановки процесса измерений, а также запуска окна управления ключами лицензий ПО *Graphit*.

Диаграмма – дублирует контекстное меню активной диаграммы (рисунок 4.4).

Трасса – дублирует контекстное меню выделенной(-ых) трассы(трасс), изображённое на рисунке 4.6.

Маркер – дублирует контекстное меню управления активным маркером (рисунок 4.41).

Профиль – предназначено для сохранения/загрузки параметров измерений.

Вид – используется для включения или отключения панелей инструментов, панелей управления, а также содержит другие настройки графического оформления ПО *Graphit*, описанные в п. 4.4.

Справка – обеспечивает доступ к справочной системе и информации о текущей версии ПО *Graphit*.

-  Существует возможность выбора пункта главного меню с помощью клавиатуры. Для этого достаточно нажать клавишу «**Alt**» или «**F10**» и клавишами управления курсором выбрать нужный пункт.
-  После нажатия клавиши «**Alt**» или «**F10**» в тексте на многих пунктах меню появляются подчёркнутые символы. Последовательное нажатие клавиши «**Alt**», затем «подчёркнутый символ» эквивалентно выбору пункта меню.

4.4 Настройка графического интерфейса

В меню «Вид» пользователю предоставляется возможность настройки отображения объектов ПО *Graphit* (рисунок 4.8).

Цветовая схема задаётся в меню «Вид > Темы оформления». На выбор предлагается 3 темы оформления: «Стандартная», «Графит» и «Айсберг» (рисунок 4.9).

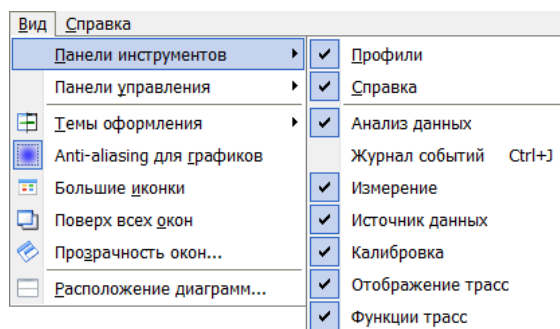


Рисунок 4.8 – Меню «Вид»

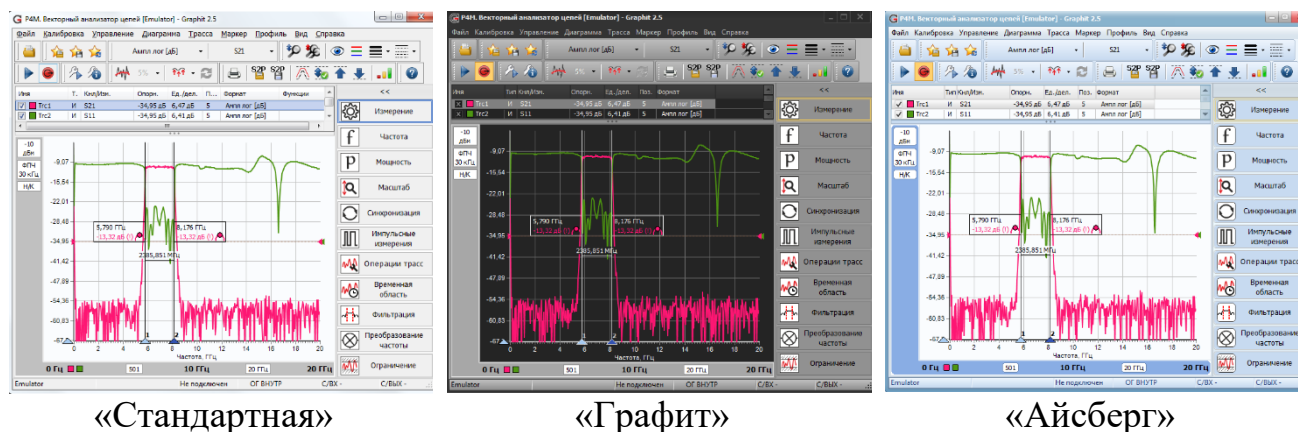


Рисунок 4.9 – Темы оформления

Эффект «*Anti-aliasing* для графиков» используется для визуального сглаживания линий трасс на диаграмме (не связан с функцией «Сглаживание» для трасс)¹⁾.

i Для «медленных» ПК рекомендуется отключать эффект «*Anti-aliasing* для графиков», а также использовать тему оформления «Стандартная».

Функция «Поверх всех окон» предназначена для фиксированного отображения ПО *Graphit* поверх остальных окон *Windows®* или других программ.

¹⁾Настройки могут применяться только при следующем запуске программы.

Настройка отображения «Большие иконки» подразумевает использование увеличенных значков кнопок панелей инструментов, в том числе и на дочерних окнах.

Эффект «Прозрачность» может быть применён ко всем дочерним окнам программы *Graphit* и отключён по умолчанию. Глубина эффекта прозрачности регулируется ползунком в соответствующем окне (рисунок 4.10).

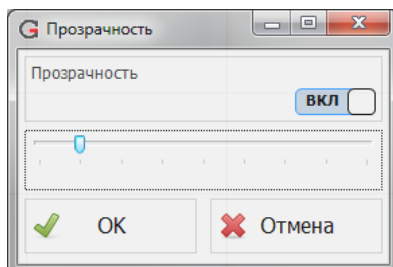


Рисунок 4.10 – Регулировка эффекта прозрачности

В окне «Расположение диаграмм» можно изменять их положение и размеры.

4.5 Панели инструментов

Панели инструментов, расположенные в верхней части главного окна программы, могут быть использованы для быстрого доступа к наиболее востребованным командам и функциям. Возможности панелей инструментов, как правило, дублируют функционал панелей управления, или пунктов главного меню, или команд контекстного меню трасс. Пользователь может перемещать панели инструментов мышью, отключать или включать их, используя меню «Вид > Панели инструментов». При наведении указателя мыши на определённый элемент панели появится всплывающая подсказка.

4.6 Панели управления и параметры

Для установки параметров измерения и настройки функций трасс используются, в основном, панели управления.

Для включения тех или иных панелей управления следует установить соответствующие флажки в соответствующем подменю «Вид» (рисунок 4.11-а), либо воспользоваться контекстным меню любой из кнопок переключения панелей управления (рисунок 4.11-б).

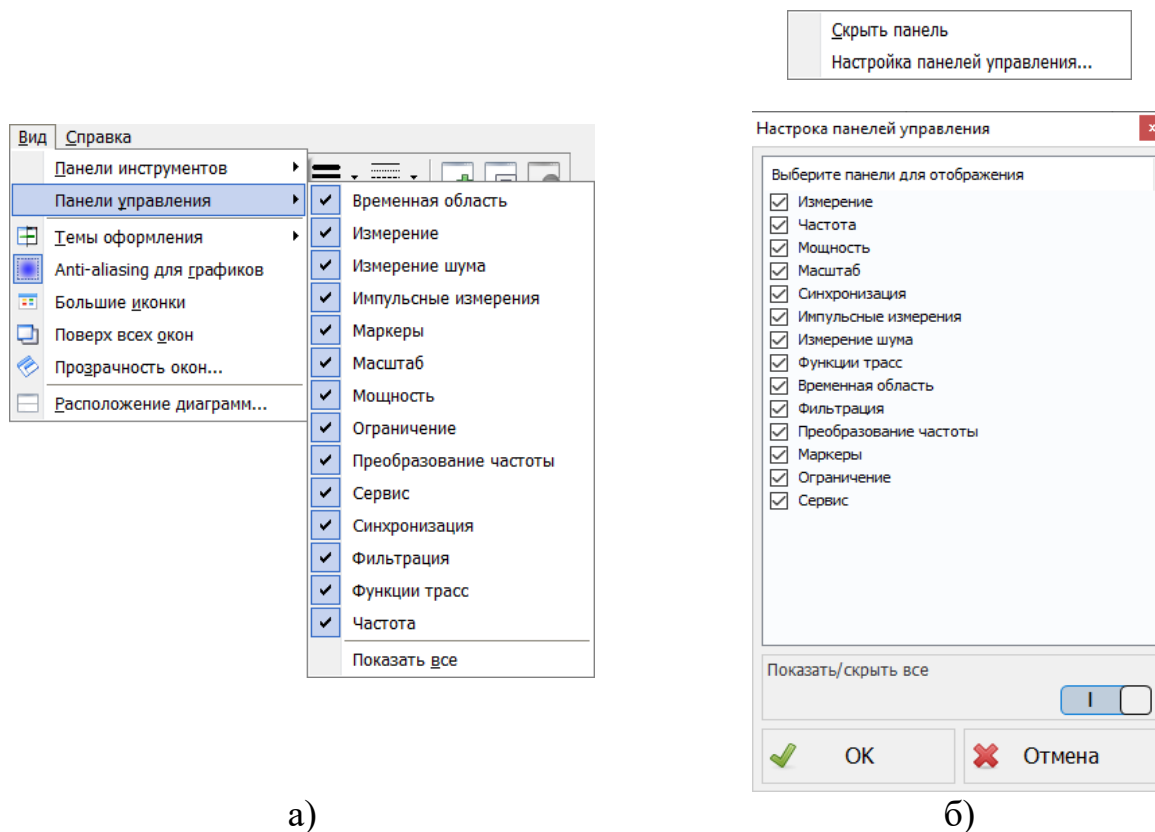


Рисунок 4.11 – Настройка панелей управления

Панели управления приведены на рисунках 4.11 – 4.16.

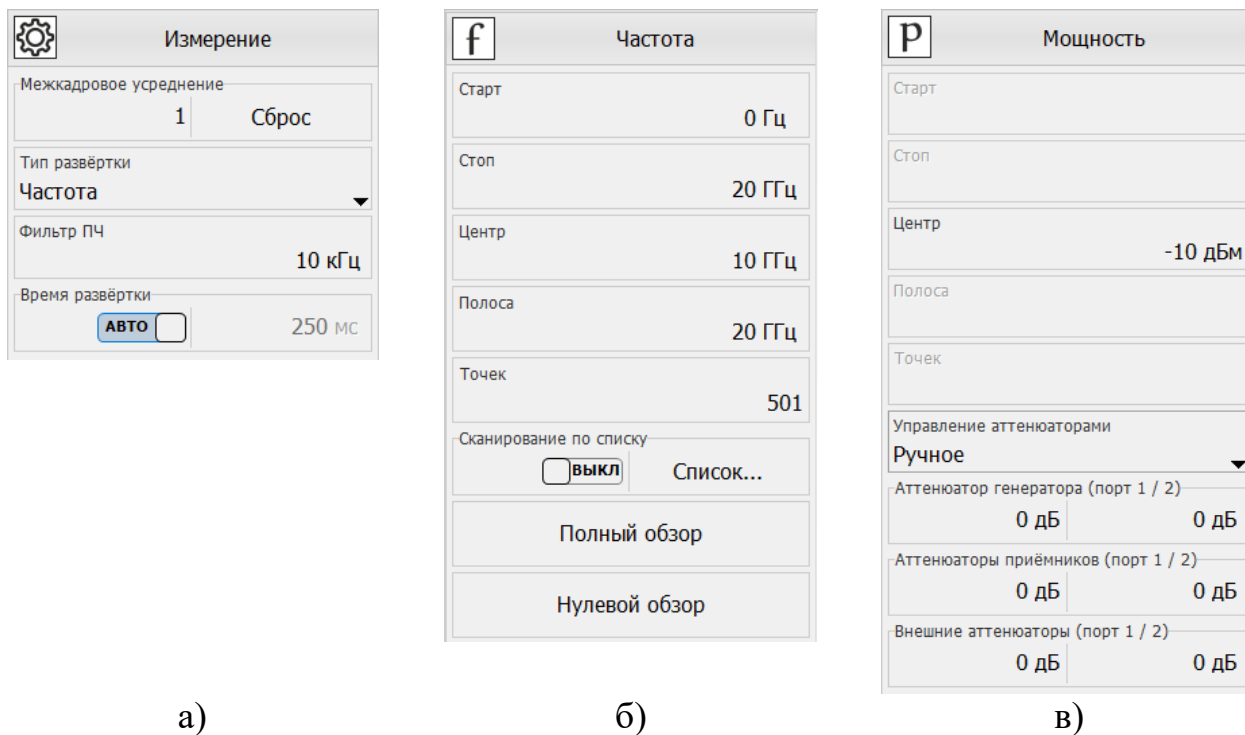
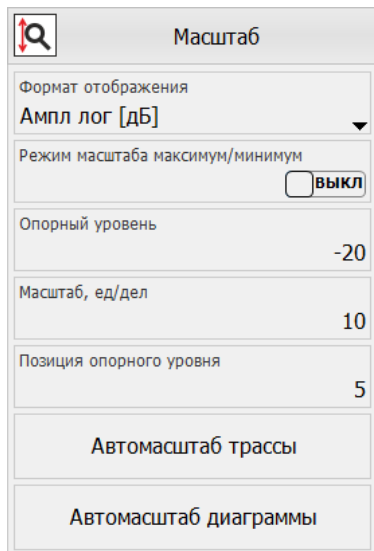


Рисунок 4.12 – Панели управления: а) «Измерение»; б) «Частота»; в) «Мощность»



Масштаб

Формат отображения
Ампл лог [дБ]

Режим масштаба максимум/минимум
☐ ВЫКЛ

Опорный уровень
-20

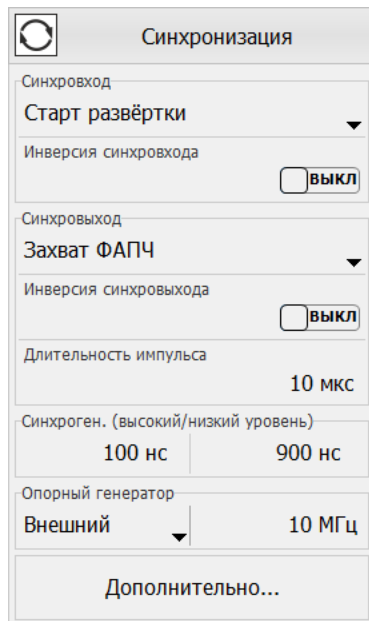
Масштаб, ед/дел
10

Позиция опорного уровня
5

Автомасштаб трассы

Автомасштаб диаграммы

а)



Синхронизация

Синхроход
Старт развертки

Инверсия синхрохода
☐ ВЫКЛ

Синхроход
Захват ФАПЧ

Инверсия синхрохода
☐ ВЫКЛ

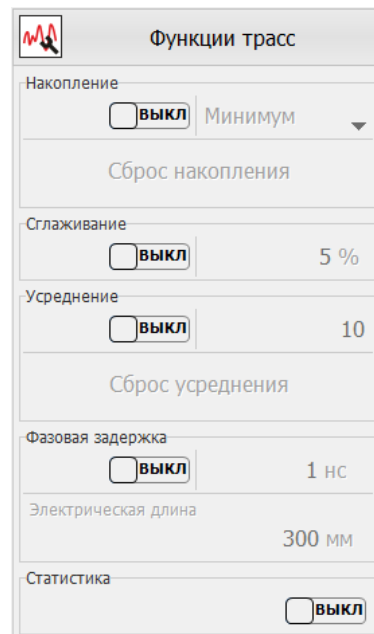
Длительность импульса
10 мкс

Синхроген. (высокий/низкий уровень)
100 нс | 900 нс

Опорный генератор
Внешний | 10 МГц

Дополнительно...

б)



Функции трасс

Накопление
☐ ВЫКЛ | Минимум

Сброс накопления

Сглаживание
☐ ВЫКЛ | 5 %

Усреднение
☐ ВЫКЛ | 10

Сброс усреднения

Фазовая задержка
☐ ВЫКЛ | 1 нс

Электрическая длина
300 мм

Статистика
☐ ВЫКЛ

в)

Рисунок 4.13 – Панели управления: а) «Масштаб»; б) «Синхронизация»; в) «Функции трасс»

**Импульсные измерения**
Режим
Профиля импульса
Временное зануление каналов ☒ Вкл
Длительность окна 40 нс
Старт обзора 0 пс
Стоп обзора 2 мкс
Шаг 10 нс
Точек измерения 201
Авто ПЧ

а)

**Измерение шума**
Генератор шума ☐ выкл
Шумовой приёмник ☐ выкл
Усиление шумового тракта
Высокое
Фильтр разрешения 15 МГц
Усреднение в приборе 100

б)

**Преобразование частоты**
Преобразование ☐ выкл
Векторная коррекция ☐ выкл
Множитель/делитель частоты P4
1 1
Старт гетеродина 1 ГГц
Стоп гетеродина 2 ГГц
Множитель/делитель частоты гетеродина
-1 1
Настройка гетеродина...
Смещение 0 Гц
Старт/стоп ПЧ
4 ГГц 10 ГГц
Отображать частоты
Зондирования

в)

Рисунок 4.14 – Панели управления: а) «Импульсные измерения»; б) «Измерение шума»; в) «Преобразование частоты»

**Временная область**
Временная область ☒ **ВКЛ**
Старт -2 нс
Стоп 5 нс
Центр 1,5 нс
Полоса 7 нс
Тип координат окна
Время
Диэлектрическая проницаемость 1
Взвешивание окном
Нет
Тип характеристики
Импульсная
Сопротивление ☐ **ВЫКЛ**
Режим сигнала
Видеосигнал Установить
ЧХ [0 Гц]
☒ **АВТО** 1,16

а)

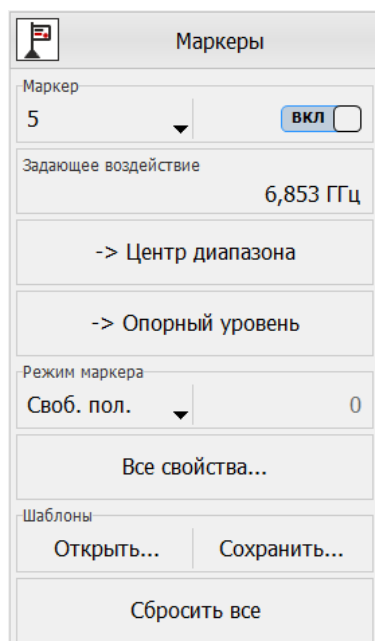
**Фильтрация**
Фильтрация ☒ **ВКЛ**
Центр 1 нс
Полоса 2 нс
Тип координат окна
Время
Диэлектрическая проницаемость 1
Функция окна
Выделение
Параметр окна 6
ЧХ [0 Гц]
☒ **АВТО** 1
Экстраполяция ЧХ ☐ **ВЫКЛ**

б)

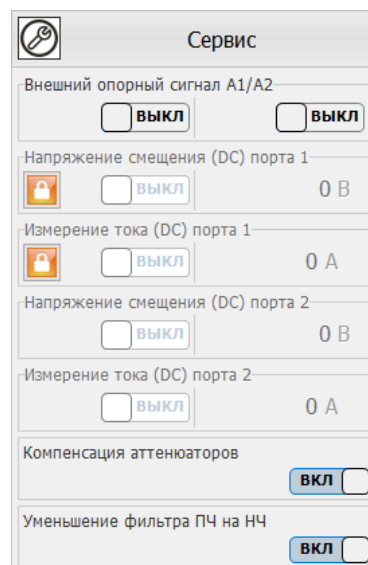
**Ограничение**
Отображение линий ☐ **ВЫКЛ**
Тестирование ☐ **ВЫКЛ**
Верхняя огр.линия...
Смещение верхней линии (X/Y)
0 Гц 0 дБ
Нижняя огр.линия...
Смещение нижней линии (X/Y)
0 Гц 0 дБ

в)

Рисунок 4.15 – Панели управления: а) «Временная область»; б) «Фильтрация»; в) «Ограничение»



а)



б)

Рисунок 4.16 – Панели управления: а) «Маркеры»; б) «Сервис»

4.6.1 Панель «Измерение»

См. рисунок 4.12-а.

- «Межкадровое усреднение» – коэффициент усреднения и сброс накопленных данных; в данном поле задается количество кадров (т.е. количество циклов измерений вдоль горизонтальной оси) из которых составляется выборка для расчета среднего арифметического; данная математическая обработка проводится в измерительном канале (т.е. до поступления данных от измерений в измерительные трассы, см. рисунок 4.2) для всех трасс до калибровки и применения коррекций.

Если требуется уменьшить уровень флуктуаций, установите желаемое межкадровое усреднение; в противном случае рекомендуется оставить значение «Межкадровое усреднение» по умолчанию, т.е. $K = 1$ (см. п. 4.7.7).

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

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

где k – номер кадра,

v_k – измеренная комплексная величина,

$\bar{v}_k$ – усреднённая комплексная величина.

В левой части диаграммы отображаются счётчик усреднённых кадров k и коэффициент усреднения K , как показано на рисунке 4.17.

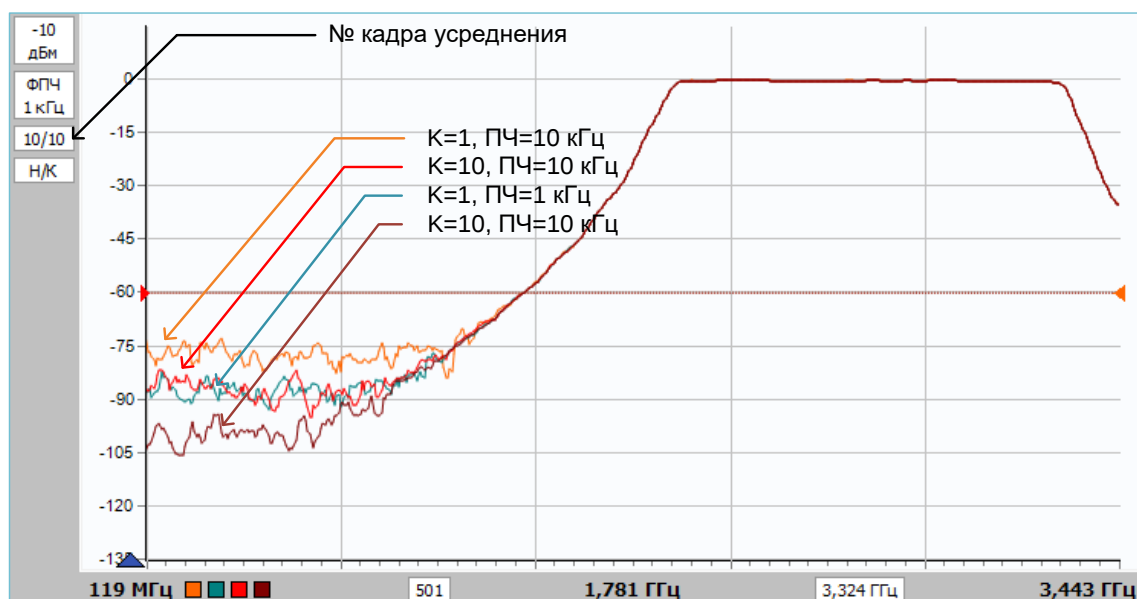


Рисунок 4.17 – Влияние усреднения и полосы пропускания фильтра ПЧ

Межкадровое усреднение и выбор более узкой полосы пропускания тракта ПЧ приводят к снижению уровня шумов (в отличие от функции трасс «Усреднение», описываемой в п. 4.7.7, уменьшающей дисперсию шумов отображаемого параметра). С увеличением усреднения, например, в 10 раз или при сужении полосы ПЧ в 10 раз уровень шумов должен снизиться на 10 дБ. Это теоретический расчёт для некоррелированных шумов. Практически снижение уровня шумов ограничено некоторым уровнем, обусловленным наличием в сигнале помех, синхронных с зондирующим сигналом. На рисунке 4.17 приведена АЧХ полосового фильтра, снятая с различными усреднениями и полосами ПЧ. Трассы сглажены, чтобы лучше видеть изменения уровня шумов вне полосы пропускания фильтра.

- «Сброс» – кнопка сброса межкадрового усреднения.
- «Тип развёртки» – определяет режим сканирования Р42 (по частоте / по мощности).
- «Фильтр ПЧ» – полоса фильтра промежуточной частоты.

Фактически данный параметр задаёт время измерения одной точки $T_{\text{изм}}$, мс, обратно пропорциональное полосе фильтра ПЧ $\Delta f_{\text{ПЧ}}$, кГц, согласно формуле

$$T_{\text{изм}} = 0,89/\Delta f_{\text{ПЧ}}. \quad (2)$$

- «Время развёртки» – управление временем развёртки Р42.

Описание данных параметров измерения приведено в п. 5.1.

4.6.2 Панель «Частота»

См. рисунок 4.12-б.

- «Старт» – начальная частота сканирования.
- «Стоп» – конечная частота сканирования.
- «Центр» – центральная частота сканирования.
- «Полоса» – полоса обзора.
- «Точек» – количество точек, в которых производится измерение.
- «Сканирование по списку» – включение или отключение сканирования по списку частот.
- «Список...» – редактор списка частот, создаваемый пользователем «вручную» или загружаемый из файла; максимальный размер списка – 5001 точка.
- «Полный обзор» – установка предельно возможного диапазона перестройки.
- «Нулевой обзор» – установка сканирования на фиксированной частоте, определяемой полем «Центр», с заданным количеством точек.

 При сканировании по мощности на панели управления «Частота» для изменения доступно только поле «Центр».

4.6.3 Панель «Мощность»

См. рисунок 4.12-в.

- «Старт» – начальный уровень мощности сканирования.
- «Стоп» – конечный уровень мощности сканирования.
- «Центр» – центральное значение уровня мощности.
- «Полоса» – ширина диапазона сканирования.
- «Точек» – количество точек.
- «Управление аттенюаторами» – режим управления встроенными выходными аттенюаторами (только для Р4226А или при наличии

- опции «ДМА» для Р4213 и Р4226).
- «Аттенюатор генератора (порт 1 / 2)» – состояние встроенных аттенюаторов на выходе портов 1 и 2 соответственно для левого и правого полей ввода (только для Р4226А или при наличии опции «ДМА» для Р4213 и Р4226).
 - «Аттенюаторы приёмников (порт 1 / 2)» – ослабление по входу приёмников портов 1 и 2 соответственно для левого и правого полей ввода (только для Р4226А или при наличии опции «ДМА» для Р4213 и Р4226), применяется только на входе измерительных приёмников.
 - «Внешние аттенюаторы (порт 1 / 2)» – ослабление (> 0 дБ) или усиление (< 0 дБ) внешних устройств, подключённых до или после ИУ на 1 или 2 портах Р42 соответственно для левого и правого полей ввода; данные поля частично дублируют параметры функции «Компенсация потерь» в окне «Конфигурация портов» (см. п. 5.2.5).

 При сканировании по частоте на панели управления «Мощность» для изменения доступно только поле «Центр».

4.6.4 Панель «Масштаб»

См. рисунок 4.13-а.

- «Формат отображения» – выбор формата отображения трассы.
- «Режим масштаба максимум/минимум» – включение или отключение режима задания масштаба трассы через минимум и максимум левой оси.
- «Опорный уровень (или «Максимум»))» – задание опорного уровня трассы, либо задание верхней границы левой оси трассы при включённом режиме масштаба максимум/минимум.
- «Масштаб, ед/дел (или «Минимум»))» – задание масштаба трассы по оси ординат, либо задние нижней границы оси ординат при включённом режиме масштаба максимум/минимум.
- «Позиция опорного уровня» – установка позиции опорного уровня трассы (доступно только при отключённом режиме масштаба максимум/минимум).
- «Автомасштаб трассы» – автоматический выбор масштаба трассы.
- «Автомасштаб диаграммы» – автоматический выбор масштаба всех трасс диаграммы.

Подробное описание параметров и функций панели управления «Масштаб» (рисунок 4.13-а) представлено в п. 4.7.4.

4.6.5 Панель «Синхронизация»

Данная панель управления необходима для осуществления аналоговой синхронизации частоты опорного генератора от внешнего источника опорного сигнала, а также для осуществления цифровой синхронизации с другими приборами или для управления внешними устройствами – переключателями, модуляторами и т.п. – с целью построения измерительных систем (см. рисунок 4.13-б).

- «Синхровход» – выбор режима входа цифровой синхронизации.
- «Инверсия синхровхода» – инверсия импульсов на входе цифровой синхронизации.
- «Синхровыход» – выбор режима выхода 1 цифровой синхронизации.
- «Инверсия синхровыхода» – инверсия импульсов на выходе 1 цифровой синхронизации.
- «Длительность импульса» – длительность импульсов на выходе 1 цифровой синхронизации.
- «Синхроген. (высокий/низкий уровень)» – длительность высокого и низкого уровней внутреннего синхрогенератора соответственно для левого и правого полей ввода.
- «Опорный генератор» – позволяет выбрать режим аналоговой синхронизации от внутреннего, либо от внешнего ОГ; предусмотрен также автоматический режим, в котором осуществляется синхронизация от внешнего ОГ, а при отсутствии синхронизации Р42 переключится на внутренний ОГ.
- «Дополнительно...» – кнопка открытия окна (рисунок 4.18) с настройками основного («Выход 1») и дополнительных выходов синхронизации 2 и 3. Выходы с включённой синхронизацией подсвечиваются в статусной строке окна.

Использование системы цифровой синхронизации Р42 описано в пункте 7.9.

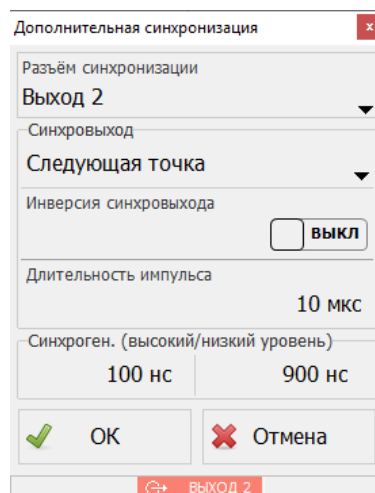


Рисунок 4.18 – Окно «Дополнительная синхронизация»

4.6.6 Панель «Импульсные измерения»

Используется для конфигурации импульсных режимов измерения (опция ИИП, см. рисунок 4.14-а и п. 7.11) и содержит следующие поля:

- «Режим» – выбор режима импульсных измерений.
- «Временное зануление каналов» – управление занулением в опорных и измерительных приёмниках.
- «Длительность окна» – длительность интервала, в котором сигнал не зануляется (окно «незануления»).
- «Старт обзора» – задержка интервала незануления от фронта модулирующего импульса.
- «Стоп обзора» – конечное положение окна «незануления» при измерении профиля импульса.
- «Шаг» – величина шага перемещения окна «незануления» при измерении профиля импульса.
- «Точек измерения» – расчётное число перемещений окна «незануления» при измерении профиля импульса.
- «Авто ПЧ» – автоматический выбор фильтра ПЧ для импульсных измерений.

4.6.7 Панель «Измерение шума»

Используется для настройки параметров шумового приёмника и управления питанием ГШ (только для Р4226А, см. рисунок 4.14-б):

- «Генератор шума» – ручное управление напряжением питания

- +28 В генератора шума.
- «Шумовой приёмник» – принудительное использование шумового приёмника вместо приёмника b_2 при зондировании первым портом (необходимо для измерения и последующего учёта КО от шумового приёмника).
 - «Усиление шумового тракта» – выбор амплитудного режима, определяющий чувствительность шумового приёмника. В Р42 предусмотрена возможность управления усилением тракта шумового приёмника. Настройка усиления осуществляется исходя из суммы значений ожидаемого коэффициента усиления и ожидаемого коэффициента шума исследуемого устройства. Условия выбора усиления:
 - высокое (аттенюаторы выключены), если $KУ + КШ < 42$ дБ;
 - низкое (аттенюаторы включены), если $42 \text{ дБ} < KУ + КШ < 56$ дБ;
 - «Фильтр разрешения» – задаёт полосу пропускания фильтра разрешения (англ.: *RBW – resolution bandwidth*); некоторые модели Р4226А, выпущенные до 2023 г., не имеют фильтр разрешения – в этом случае поле недоступно для изменения.
 - «Усреднение в приборе» (для Р4226А) – аппаратное усреднение в измерительном блоке; при усреднении 1 одна точка измеряется ~0,89 мс, при максимальном усреднении 100, соответственно, в 100 раз дольше; в данное поле вводится число, которое представляет собой количество фактических измерений мощности в Вт в одной точке по частоте; на экран выводится среднее арифметическое значение мощности; увеличение степени усреднения уменьшает флуктуации.

Описание измерений КШ приведено в п. 7.12.

4.6.8 Панель «Функции трасс»

См. рисунок 4.13-в.

- «Накопление» – накопление максимумов, минимумов, либо отображение межкадровой статистики в точках трассы (для получения дополнительной информации см. п. 4.7.5).
- «Сглаживание» – управление функцией сглаживания данных трассы с заданием размера апертуры (для получения дополнительной информации см. п. 4.7.6).
- «Усреднение» – настройка функции математического межкадрового усреднения данных трассы; работает аналогично функции «Межкадровое усреднение» на панели управления «Измерение», отличие заключается в том, что она производится после поступле-

ния данных от измерений в измерительную трассу (т.е. проводится не в измерительном канале, см. рисунок 4.2) и применяется к конкретной измерительной трассе; другими словами относится к конечной обработке измерительных данных; для получения дополнительной информации см. п. 4.7.7.

- «Фазовая задержка» – управление функцией фазовой задержки с заданием её величины, отображение соответствующей электрической длины (для получения дополнительной информации см. п. 7.5.1).
- «Статистика» – включение и отключение отображения статистики трассы (для получения дополнительной информации см. 4.7.9).

Подробное описание вышеперечисленных функций содержится в п. 4.7.

4.6.9 Панель «Временная область»

Содержит настройки преобразования характеристик во временную область (см. рисунок 4.15-а, подробное описание в п. 7.5.2):

- «Временная область» – управление функцией преобразования.
- «Старт» – нижняя граница временной области.
- «Стоп» – верхняя граница временной области.
- «Центр» – центр временной области.
- «Полоса» – ширина временной области.
- «Тип координат окна» – переключение величины абсцисс «Время»/«Дистанция».
- «Диэлектрическая проницаемость» – диэлектрическая проницаемость линии, необходимая для расчёта значений координат типа «Дистанция».
- «Взвешивание окном» – тип применяемого окна взвешивания.
- «Тип характеристики» – тип временной характеристики.
- «Сопротивление» – режим пересчёта значений ординат в сопротивление.
- «Режим сигнала» – тип преобразования частотного спектра, автоматическая установка параметров частоты (кнопка «Установить») для использования режима «Видеосигнал».
- «ЧХ [0 Гц]» – автоматическое или ручное определение постоянной составляющей ЧХ.

4.6.10 Панель «Фильтрация»

Используется для настройки функции фильтрации во временной области

(см. рисунок 4.15-б, подробное описание в п. 7.5.3) и содержит следующие поля:

- «Фильтрация» – включение или отключение функции фильтрации;
- «Центр» – положение центра окна фильтрации.
- «Полоса» – ширина окна фильтрации.
- «Тип координат окна» – переключение величины абсцисс «Время»/«Дистанция».
- «Диэлектрическая проницаемость» – диэлектрическая проницаемость линии, необходимая для расчёта значений координат типа «Дистанция».
- «Функция окна» – выбор функции окна.
- «Параметр окна» – значение параметра формы окна Кайзера.
- «ЧХ [0 Гц]» – автоматическое или ручное определение постоянной составляющей ЧХ.
- «Экстраполяция ЧХ» – включение или отключение алгоритма экстраполяции ЧХ.

4.6.11 Панель «Преобразование частоты»

Содержит настройки измерения частотно-преобразующих устройств (опции СЧП и СПА для Р4213 и Р4226, см рисунок 4.14-в и п. 7.10):

- «Преобразование» – включение или отключение преобразования частоты приёмника Р42 с дополнительным измерением скалярного коэффициента преобразования.
- «Векторная коррекция» – индикация векторной коррекции (калибровка смесителей).
- «Множитель/делитель частоты Р4» – значения множителя и делителя частот Р42 в формуле преобразования соответственно в левом и правом полях ввода.
- «Старт гетеродина» – начальная частота гетеродина.
- «Стоп гетеродина» – конечная частота гетеродина.
- «Множитель/делитель частоты гетеродина» – значения множителя и делителя частот гетеродина в формуле преобразования.
- «Настройка гетеродина...» – кнопка открытия окна подключения, настройки мощности сигнала и синхронизации внешнего гетеродина (рисунок 7.31-б).
- «Смещение частоты» – дополнительное смещение частоты.
- «Старт/стоп ПЧ» – расчётные значения начальной и конечной преобразованных частот (частота ПЧ).
- «Отображать частоты» – выбор отображаемых частот на графике.

4.6.12 Панель «Маркеры»

Содержит часто употребляемые свойства и функции для работы с маркерами (см. рисунок 4.16-а, полное описание приведено в п. 4.10):

- «Маркер» – выбор номера конфигурируемого маркера и его состояния.
- «Задающее воздействие» – горизонтальная позиция маркера на диаграмме в единицах измерения абсцисс трассы.
- «<->Центр диапазона» – кнопка установки центра диапазона сканирования в позицию активного маркера.
- «<->Опорный уровень» – кнопка установки опорного уровня трассы в соответствии со значением активного маркера.
- «Режим маркера» – режим маркера и фиксированный уровень для поиска в соответствующем режиме.
- «Все свойства...» – открытие окна со свойствами маркерами для тонкой настройки режимов поиска и отображения.
- «Открыть...» – загрузка шаблона маркеров диаграммы из файла.
- «Сохранить...» – сохранение шаблона маркеров диаграммы в файл.
- «Сбросить все» – сброс (удаление) маркеров на выделенной диаграмме.

4.6.13 Панель «Ограничение»

См. рисунок 4.15-в.

- «Отображение линий» – включение или отключение отображения ограничительных линий.
- «Тестирование» – включение или отключение тестирования границ;
- «Верхняя огр.линия...» – редактор координат верхней ограничительной линии.
- «Нижняя огр.линия...» – редактор координат нижней ограничительной линии.
- «Смещение верхней линии (X/Y)» – смещение всех отрезков верхней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат.
- «Смещение нижней линии (X/Y)» – смещение всех отрезков нижней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат.

Информация по использованию ограничительных линий приведена в п. 4.7.8.

4.6.14 Панель «Сервис»

См. рисунок 4.16-б.

- «Внешний опорный сигнал A1/A2» (только при наличии опции ДПА для Р4213 и Р4226) – отключение системы АРМ, а также замыкание внутренней перемычки в тракте опорной частоты (для приёмника А1 при наличии опции СПА для Р4213 и Р4226) при использовании внешнего опорного сигнала для соответствующего приёмника.
- «Напряжение смещения (DC) порта 1» – включение адаптера питания и подача постоянного напряжения на выход порта 1 (только при наличии опции АПА для Р4213 и Р4226); аналогично для других портов.
- «Измерение тока (DC) порта 1» – измерение значения постоянного тока в цепи порта 1 (только при наличии опции АПА для Р4213 и Р4226 и программируемого источника питания); аналогично для других портов.
- «Компенсация аттенуаторов» – функция, позволяющая отключить коррекцию измеренных данных приёмников в соответствии с текущими значениями входных и выходных аттенуаторов.
- «Уменьшение фильтра ПЧ на НЧ» – функция автоматического уменьшения Р42 полосы фильтра ПЧ на низких частотах (до 500 Гц) для снижения уровня шумов измеряемых параметров.

4.7 Трассы

В ПО *Graphit* существует 3 типа трасс:

- измерительная;
- трасса памяти;
- математическая трасса.

Измерительная трасса представляет собой графическое представление результатов измерений Р42. Источником данных трассы является «измерение» (о понятии «измерение» см. п. 4.1), которое, в свою очередь, является частью измерительного канала. Поэтому для назначения измерительной трассе её источника данных необходимо сначала выбрать канал (если он не единственный), а затем «измерение» и формат данных, используя панель инструментов «Источник данных» (рисунок 4.19), либо подменю трассы.



Рисунок 4.19 – Панель инструментов «Источник данных»

Трассы памяти позволяют создавать «снимок» любой другой (непустой) трассы на диаграмме, а также загружать данные из файла, используя пункт меню трассы «Загрузить данные» или пункт меню диаграммы «Открыть данные...». Следует отметить, что после чтения диапазон значений, откладываемых по горизонтальной оси, в трассе памяти может не совпадать с диапазоном, заданным в измерительном канале. В этом случае трасса памяти будет отображаться частично (не во всём диапазоне) или не отображаться вовсе. Меню трассы памяти изображено на рисунке 4.6-б.

Математические трассы позволяют проводить математическую обработку данных, имеющих в трассе.

Функции трасс – средства дополнительной обработки и анализа результатов измерений. Элементы управления функций трасс расположены на панелях управления, а также частично продублированы на панелях инструментов (рисунок 4.20) и в контекстном меню трассы для быстрого доступа.



Рисунок 4.20 – Панели инструментов «Функции трасс» и «Анализ данных»

Порядок обработки и форматирования данных трассы представлен на рисунке 4.21.

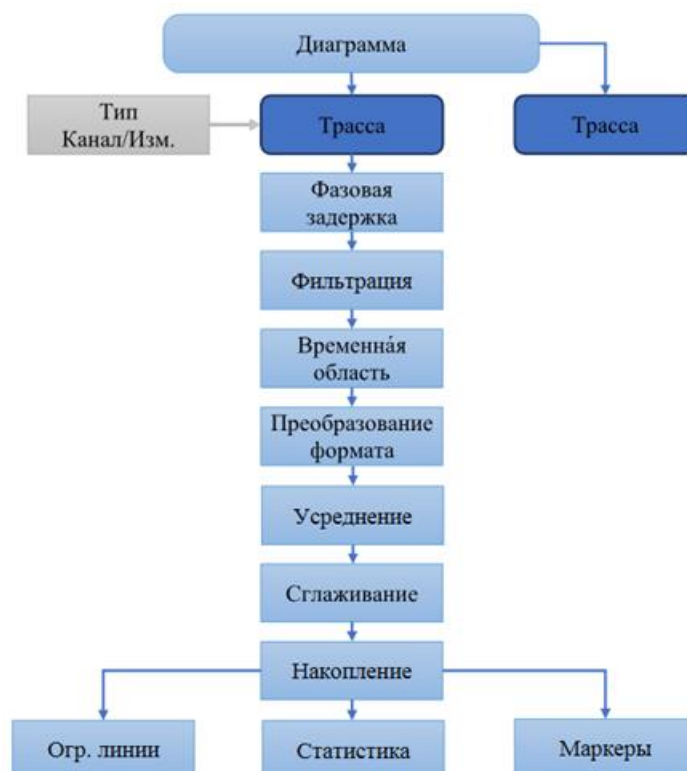


Рисунок 4.21 – Блок-схема обработки данных в трассе

4.7.1 Создание, обновление и удаление трасс

Чтобы **создать измерительную трассу**, следует в контекстном меню области отображения трасс выбрать соответствующий пункт (рисунок 4.4) или использовать комбинации клавиш **«Ctrl+N»**. Затем в контекстном меню созданной трассы или в панелях управления и инструментов задать необходимые параметры.

Чтобы **создать трассу памяти**, следует в контекстном меню запоминаемой трассы выбрать пункт «Запомнить» или нажать комбинацию клавиш **«Ctrl+R»**. В столбце «Функции» списка трасс будет отображено название трассы-источника.

Чтобы **обновить данные в трассе памяти** (если трасса-источник существует), необходимо использовать пункт меню «Обновить» или комбинацию клавиш **«Ctrl+U»**.

Чтобы **создать математическую трассу**, следует в контекстном меню диаграммы выбрать соответствующий пункт (рисунок 4.4) или использовать комбинацию клавиш **«Ctrl+M»**. Далее, используя пункт меню «Настройка выражения...» созданной трассы (рисунок 4.6-в), открыть окно настройки операндов и математической операции над ними (рисунок 4.22).

Математическая трасса и её операнды («Трасса А» и «Трасса В») должны иметь одинаковое количество точек и принадлежать одному и тому же «измерению». В пункте «Список доступных выражений» выбирается арифметическая операция, выполняемая над трассами поточечно. Под поточечной операцией, например разностью, понимается следующее: из Y -значения (откладываемого по оси ординат) первой точки трассы A вычитается Y -значение первой точки трассы B . Полученная разность записывается в первую точку математической трассы. В качестве X -значения (откладываемого по оси абсцисс) в первую точку математической трассы записывается X -значение первой точки трассы A . И так далее для всех остальных точек.

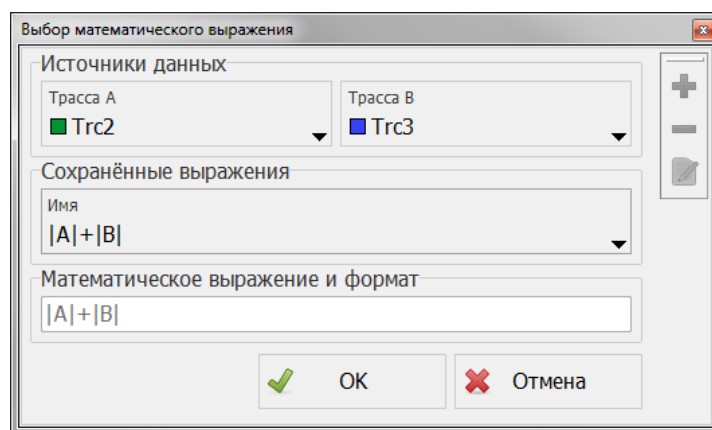


Рисунок 4.22 – Окно «Выбор математического выражения»

В большинстве анализаторов математические трассы оперируют с отображаемыми значениями. Математические трассы в ПО *Graphit* могут оперировать как отображаемыми значениями, так и комплексными величинами. В раскрывающемся поле «Список доступных выражений» можно видеть список операций математической трассы, в которых операнды $|A|$ и $|B|$ представляют собой отображаемые значения, а операнды A и B являются в общем случае комплексными величинами.

При создании математических трасс следует обратить внимание на источник данных созданной трассы. Для математических трасс с источниками данных вещественного типа (например, трасса параметра шума или сохранённый в трассу памяти S -параметр с включённым накоплением) доступно редактирование математических выражений.

Кнопки на панели справа позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 4.23), или удалить выражение из списка сохранённых. В случае, когда источником данных является измерение с комплексным форматом данных (например, S_{11}), редактирование выражений недоступно.

Удаление трассы осуществляется с помощью выбора пункта «Удалить» в контекстном меню удаляемой трассы (рисунки 4.6), либо выделением трассы

и нажатием клавиши «**Del**».

-  Для быстрого удаления всех трасс диаграммы достаточно выделить одну из её трасс, нажать «**Ctrl+A**» (выделить все трассы) и «**Del**».

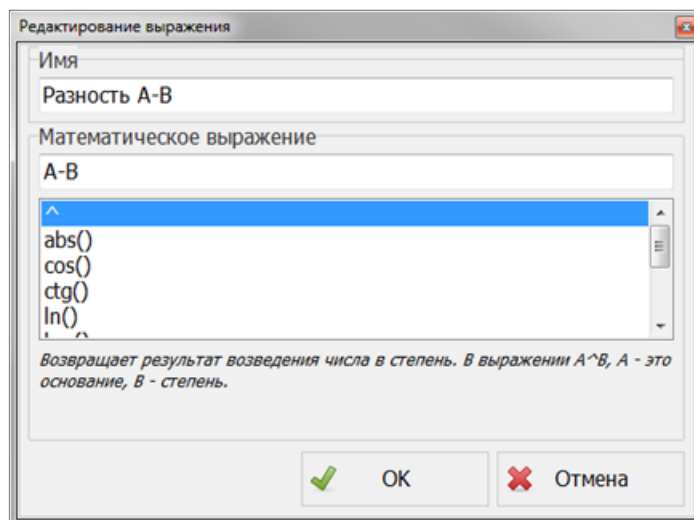


Рисунок 4.23 – Редактирование математического выражения

4.7.2 Сохранение и загрузка трасс

Для сохранения трассы в файл необходимо в контекстном меню трассы выбрать пункт «Сохранить...» или воспользоваться сочетанием клавиш «**Ctrl+F**».

В выбранный текстовый файл с расширениями *tr* или *csv* сохраняются форматированные данные – последовательность пар чисел. Каждая пара – это соответствующие одной точке трассы значения по осям абсцисс и ординат. Для трасс, отображаемых на диаграмме Смита или полярной диаграмме, сохраняются тройки чисел – частота, реальная и мнимая части. Данный вариант экспорта данных рекомендуется использовать при необходимости импортировать значения в приложения для работы с таблицами или вычислениями.

Для чтения (загрузки) трассы из файла следует выбрать пункт «Открыть данные...» в контекстном меню диаграммы и выбрать соответствующий файл; либо в контекстном меню трассы памяти выбрать «Загрузить данные» и далее «Из файла...».

-  Считанные из файла в трассу памяти значения будут отображаться неверно, если при сохранении использовался один формат отображения, а при чтении трасса памяти отображалась в другом формате.

При открытии файлов трасс (расширения *tr*, *trc*), характеристик ИОШТ

(*enr*, *ngd*) и др. через меню диаграммы пользователю может быть предложено выбрать измерение для привязки создаваемой трассы памяти (рисунок 4.24). Это необходимо для того, чтобы корректно сопоставить формат данных файла и измерения трассы. Если не было произведено подключение к Р42 или эмулятору, то никакие трассы отображаться не будут, т.к. не определена ось абсцисс.

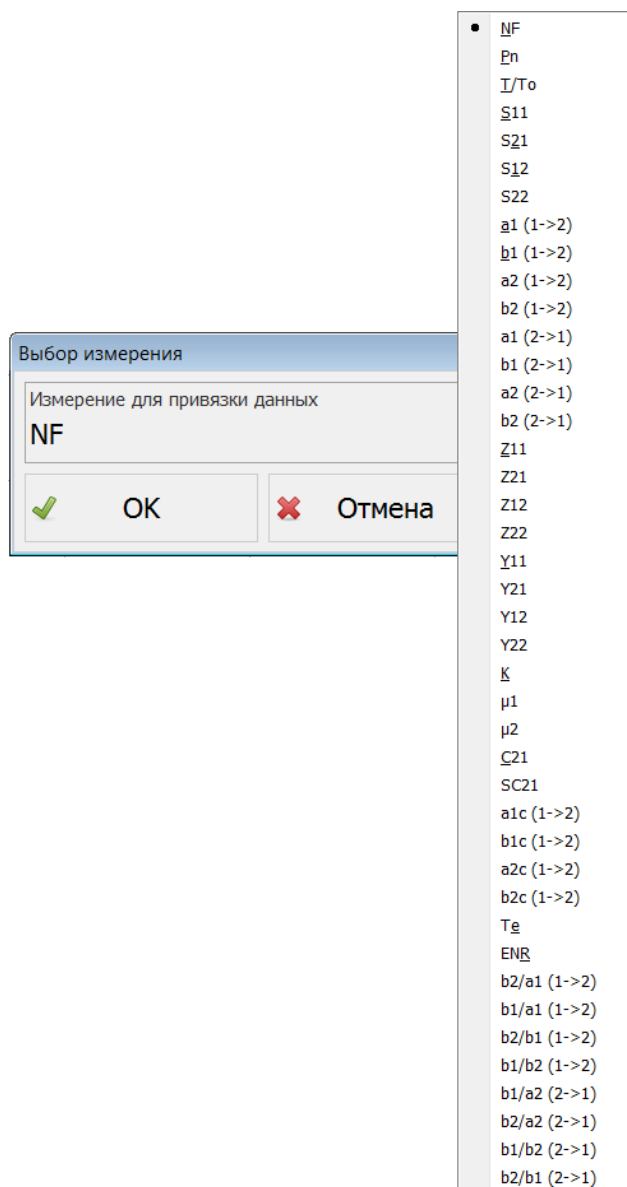


Рисунок 4.24 – Выбор измерения при загрузке данных из файла

4.7.3 Формат отображения

Выбор формата отображаемых в трассе значений, а также включение альтернативных режимов представления данных – полярной или диаграммы Смита – производится при помощи подменю «Формат» контекстного меню трассы (рисунок 4.6), либо на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 4.19)

или панели управления «Масштаб» (рисунок 4.25).

Более подробная информация о доступных форматах приведена в п. 5.1.2.

4.7.4 Масштабирование трасс и настройка осей

Расположение трассы в плоскости диаграммы определяется тремя параметрами – значением опорного уровня, его позицией и масштабом (ед./дел.).

Опорные уровни трасс отображаются на графиках пунктирными горизонтальными линиями с треугольниками на концах. Цвет пунктирной линии и треугольников совпадает с цветом трассы. Можно переместить мышью треугольник и, тем самым, изменить позицию опорного уровня (от 0 до 10, где 0 – нижнее положение). На область отображения трасс нанесена координатная сетка 10×10 делений, шаг сетки по вертикали задаётся параметром «Масштаб, ед/дел (или «Минимум»)» на панели управления «Масштаб» (рисунок 4.25).

Переключатель «Режим масштаба максимум/минимум» (рисунок 4.25) во включённом состоянии позволяет задавать масштаб по вертикали, используя максимальное и минимальное отображаемые значения вместо значений опорного уровня и масштаба (ед./дел.). Параметры «Опорный уровень (или «Максимум»)», «Масштаб, ед/дел (или «Минимум»)» и «Позиция опорного уровня» для удобства всегда отображаются в соответствующих столбцах списка трасс (п. 4.1).

-  Пункт меню трассы **«Автомасштаб»** или нажатие клавиши **«А»** (латиница) позволят подобрать масштаб и опорный уровень выделенной трассы так, чтобы она занимала большую часть области построения трасс. Если предварительно выделить несколько трасс, то для них будет выбран одинаковый масштаб.
-  **«Автомасштаб диаграммы»** выполняет аналогичное действие для всех отображаемых трасс на диаграмме (комбинация клавиш **«Ctrl+*»**). Данные функции также доступны на панели инструментов **«Отображение трасс»** (рисунок 4.26).

Следует заметить, что значения на вертикальной шкале соответствуют только выделенной трассе. Если ни одна из трасс не выделена, т.е. отображение выделенной трассы отключено, либо выделено несколько трасс с различающимися значениями шкалы, то вертикальная шкала не отображается.

-  Чтобы **закрепить левую или правую вертикальную ось** за одной из трасс, следует дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши по вертикальной правой или левой оси, или выбрать в меню диаграммы **«Вид > Левая ось > [имя_трассы]»**. Ось выделится цветом трассы. Правая ось выключена по умолчанию; если левая ось не закреплена за какой-либо трассой, то она соответствует осям выделенных (-ой) трасс(-ы).

Каждая трасса может отображаться в собственном вертикальном масштабе (за исключением, когда трасса отображается в полярных координатах или на диаграмме Смита), чего нельзя сказать о масштабе по горизонтали. **По горизонтальной оси** по умолчанию откладываются значения диапазона измерительного канала (например значения частот из диапазона сканирования), к которому относится «измерение» выделенной трассы. Дополнительные **подписи нижней оси** включаются («Вид > Подпись нижней оси» в меню диаграммы, клавиша «**F9**») в связи с необходимостью отображения пересчитанных абсцисс трассы. Для частотных характеристик, не включающих в себя абсциссу 0 Гц, можно использовать **логарифмическую шкалу нижней оси** («Вид > Логарифмическая шкала X» в меню диаграммы). «**Логарифмическая шкала Y**» может быть использована для более информативного просмотра графиков величин в линейных единицах измерения (например, мВт, мВ).

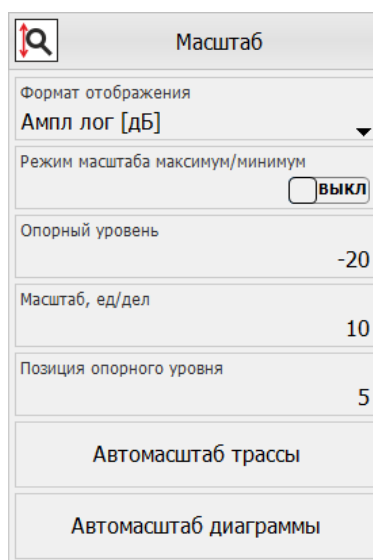


Рисунок 4.25 – Панель управления «Масштаб»



Рисунок 4.26 – Панель инструментов «Отображение трасс»

Абсциссы некоторых точек трасс памяти и математических трасс могут выходить за пределы, заданные в измерительном канале. Такие трассы будут отображаться частично или не отображаться вовсе. При необходимости **зафиксировать ось трассы памяти** на экране используется функция «Закрепить ось» в меню трассы. Данная функция может оказаться полезной при сравнении характеристик, измеренных в различных диапазонах частот (мощности).

В ПО *Graphit* реализован графический способ изменения масштаба отображения трасс и диапазона сканирования. Пользователь может выделить интересующий его фрагмент диаграммы, нажав левую кнопку мыши в углу выделя-

емого фрагмента и переместив курсор мыши в противоположный угол, как показано на рисунке 4.27. После отжимания кнопки мыши производится масштабирование осей по заданным (очерченным) границам.

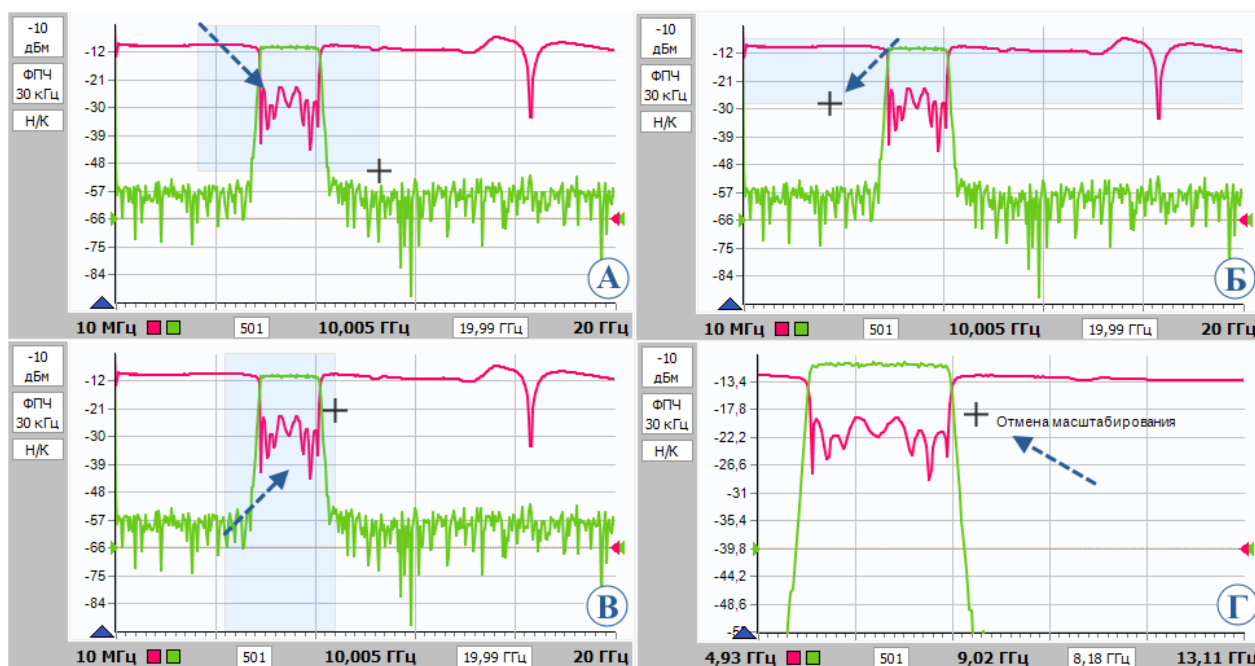


Рисунок 4.27 – Варианты графического задания масштаба и диапазона

Результат масштабирования осей зависит от направления движения мыши при выделении:

- «вправо-вниз» на диаграмме рисуется прямоугольник, как показано на рисунке 4.27-А. После отжимания кнопки мыши изменяется вертикальный масштаб выделенных трасс и изменяется диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вниз» рисуются горизонтальные линии выделения по всей ширине диаграммы (рисунок 4.27-Б). После отжимания кнопки мыши изменяется только вертикальный масштаб выделенных трасс.
- «вправо-вверх» рисуются вертикальные линии выделения по всей высоте диаграммы (рисунок 4.27-В). После отжимания кнопки мыши изменяется только диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вверх» отменяется последнее масштабирование (рисунок 4.27-Г). Можно последовательно отменить несколько операций масштабирования, если между ними не использовались функции «автомасштаба».

Существует возможность сдвинуть диапазон сканирования. Для этого следует взять манипулятором мышь горизонтальную шкалу и переместить в нужном направлении, как показано на рисунке 4.28.

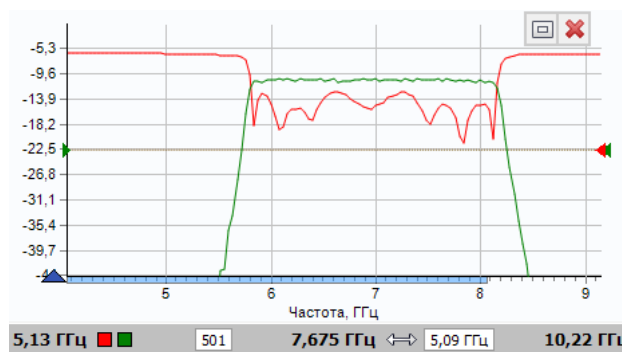


Рисунок 4.28 – Смещение диапазона сканирования

После отжимания кнопки мыши изменится диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналов.

Аналогичная операция с вертикальной осью приводит к смещению опорного уровня выделенных трасс.

4.7.5 Накопление

Накопление минимальных, максимальных значений или отображение межкадровой статистики трассы включается нажатием кнопки со списком  на панели инструментов «Функции трасс» и выбором из соответствующего пункта из списка. Вместо измеренных значений в каждой точке трассы будут отображаться максимум, минимум, среднее значение, дисперсия или среднеквадратичное отклонение (СКО) значений, накопленных за истекшие кадры (циклы измерений). Если необходимо совместно отображать измеряемые и накопленные значения, следует создать дополнительную измерительную трассу. Крайняя правая кнопка  на панели инструментов «Функции трасс» позволяет сбросить накопленные данные и начать процесс накопления заново. Существует возможность управления функцией накопления с панели управления «Функции трасс» (рисунок 4.29), либо из контекстного меню трассы.

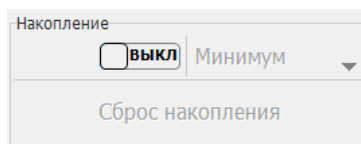


Рисунок 4.29 – Управление накоплением с панели управления «Функции трасс»

❗ Режимы накопления «Дисперсия» и «СКО» недоступны при отображении трассы в форматах диаграммы Смита и полярной плоскости.

4.7.6 Сглаживание

Сглаживание трассы включается кнопкой  на панели инструментов «Функции трасс» (рисунок 4.20), либо на панели управления «Функции трасс». Поле ввода с регулировкой значения 5% задаёт размер апертуры сглаживания в процентах от числа точек в трассе:

$$\text{Сглаживание}[\%] = (N + 1) / \text{Количество точек}, \quad (3)$$

где $N + 1$ – размер апертуры;

Количество точек задаётся в измерительном канале.

Процедура сглаживания вычисляет среднее арифметическое (в единицах отображаемых значений) соседних точек трассы:

$$S'_i = \frac{1}{N + 1} \cdot \sum_{n=-N/2}^{N/2} S_{i+n}, \quad (4)$$

где S_i – исходные значения в трассе;

S'_i – значения после применения функции сглаживания;

$N + 1$ – размер апертуры.

Функция сглаживания применяется, в общем случае, для подавления случайной составляющей в трассе. Аналогичную задачу подавления шумов решает процедура межкадрового усреднения (рисунок 4.30). Усреднение может выполняться в измерительном канале (см. п. 5.1), либо в трассе (см. п. 4.7.7).

Усреднение в измерительном канале выполняется до нелинейных преобразований над сигналами, что приводит к постепенному (в течение заданного числа измерений) увеличению отношения сигнал/шум. Усреднение в трассе производится в линейном формате отображаемой величины (например, амплитудой приёмника) и приводит к постепенному уменьшению дисперсии шума. В отличие от усреднения сглаживание выдаёт результат «мгновенно» – сразу после измерения.

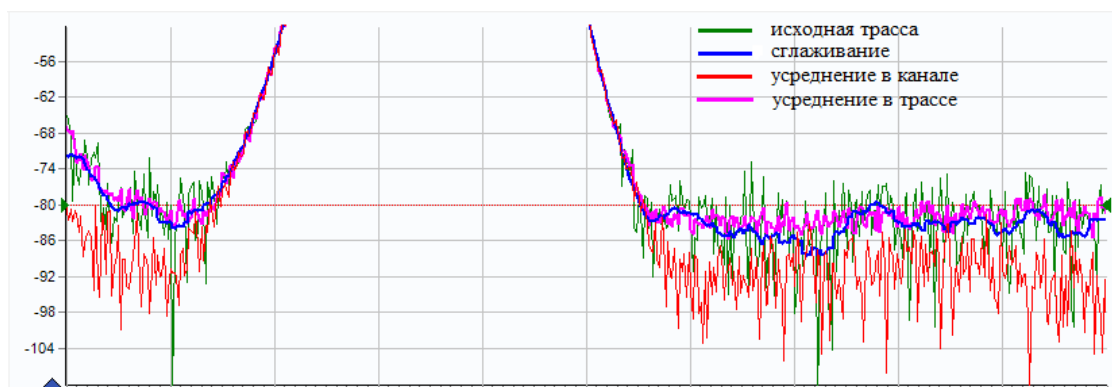


Рисунок 4.30 – Сглаживание и усреднение трасс

❗ Следует осторожно применять сглаживание. Вместе с подавлением шумовых выбросов сглаживание искажает форму характеристик. Всплеск сигнала может существенно изменить амплитуду или исчезнуть совсем. Срез фильтра будет выглядеть более пологим, а значит, исказятся полоса пропускания и связанные с ней параметры.

4.7.7 Усреднение

Для уменьшения дисперсии отображаемого шума (рисунок 4.30) можно использовать межкадровое усреднение данных трассы (в отличие от межкадрового усреднения панели управления «Измерение», см. п. 4.6.1, уменьшающего уровень шумов). Межкадровое усреднение производится в значениях линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей) независимо от того, в каком формате отображаются данные. Функция включается либо в меню трассы, либо на панели инструментов при помощи кнопки , либо на панели управления «Функции трасс» (рисунок 4.31). Поле ввода «Коэффициент усреднения» задаёт число кадров усреднения K ; при $K > 1$ вместо результатов измерений отображаются средние значения в каждой частотной точке, вычисленные по формуле:

$$S'_i = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot S_i + \frac{k-1}{k} \cdot S'_{i-1}, & k < K \\ \frac{1}{K} \cdot S_i + \frac{K-1}{K} \cdot S'_{i-1}, & k \geq K \end{cases}, \quad (5)$$

где S_i – исходные значения в трассе;
 S'_i – значения после применения функции усреднения;
 k – количество накопленных кадров;
 K – коэффициент усреднения.

При нажатии кнопки «Сброс усреднения» или кнопки  на панели инструментов накопленные значения обнуляются, и усреднение начинается заново.

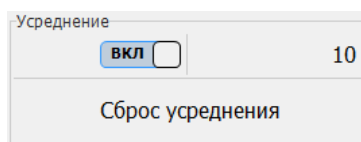


Рисунок 4.31 – Управление усреднением с панели управления «Функции трасс»

4.7.8 Ограничительные линии

Ограничительные линии применяются при тестировании и отбраковке изготавливаемых серийно изделий. Функция проверяет пересечение трассой ограничительных линий, означающие пределы допуска измеряемого параметра изделия.

Редактирование линий вызывается кнопками «Верхняя огр.линия...» или «Нижняя огр.линия...» на панели управления «Ограничение» (рисунок 4.15-в) или соответствующими кнопками на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 4.20).

Ограничительные линии задаются отрезками в диалоговом окне (рисунок 4.32).

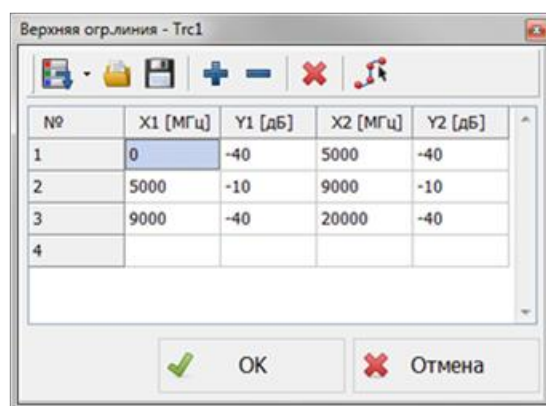


Рисунок 4.32 – Окно табличного задания ограничительной линии

В столбцах «X» задаются абсциссы отрезков, в столбцах «Y» – ординаты. Кнопки панели инструментов, расположенной над таблицей, позволяют манипулировать строками таблицы, а также сохранять или загружать из файла ранее сохранённые ограничительные линии. Используя кнопку , можно сформировать ограничительную линию из данных какой-либо трассы диаграммы.

При нажатии на кнопку  управление ограничительными линиями переходит в **режим графического редактирования**, в котором точки линий задаются нажатием мыши на диаграмме, при этом отображение таблицы временно блокируется (рисунок 4.33). В режиме графического редактирования кнопкой  включается режим добавления точек, кнопкой  – режим удаления: при нажатии левой кнопки мыши удаление точек (узлов), а правой кнопки мыши – разрыв линии между соседними точками. Значок перекрестия  включает режим перемещения точек, при этом предыдущий вариант ограничительной линии (табличный) на диаграмме отображается тонкой штрихованной линией, а фактическая линия крупным пунктиром. Чтобы переместить точку, нужно нажать на неё (выбранная для перемещения точка становится более крупной) и, не отпуская левую кнопку мыши, переместить в желаемую область диаграммы. Кнопка  очищает нарисованные отрезки. При повторном нажатии кнопки 

режим графического редактирования завершается, а координаты точек заносятся в таблицу.

 Если ограничительная линия, образованная отрезками, имеет разрывы, то результаты измерений в точках разрыва не контролируются. Отрезки ограничительной линии не должны пересекаться или иметь общих абсцисс!

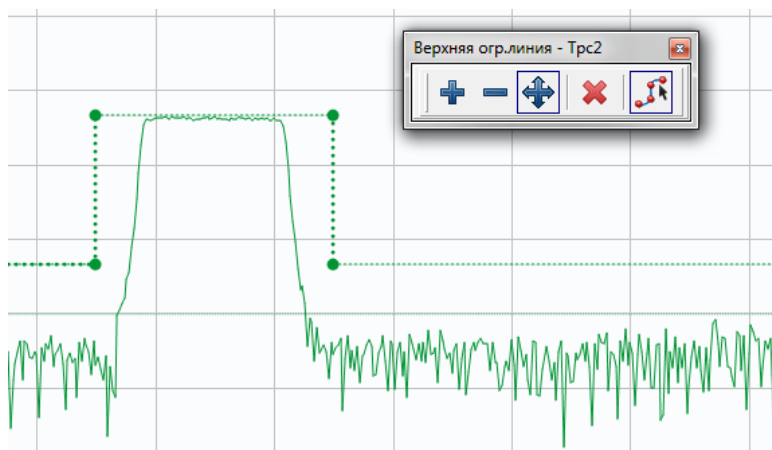


Рисунок 4.33 – Режим графического редактирования ограничительной линии

Переключатель «Тестирование» на панели управления «Ограничение» (рисунок 4.15-в) или кнопка на панели инструментов включают проверку на пересечение трассой ограничительных линий. Результат проверки отображается на диаграмме, как показано на рисунке 4.34. Переключатель «Отображение линий» позволяет включить, либо отключить отображение ограничительных линий.

Поля «Смещение верхней линии (X/Y)» предназначены для быстрого смещения всех отрезков верхней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат. Данная функция может оказаться полезной при изменении частотного диапазона сигнала или опорного уровня Р42, избавляя пользователя от необходимости редактирования всей таблицы ограничительной линии. Аналогичная функция также продублирована для нижней ограничительной линии.

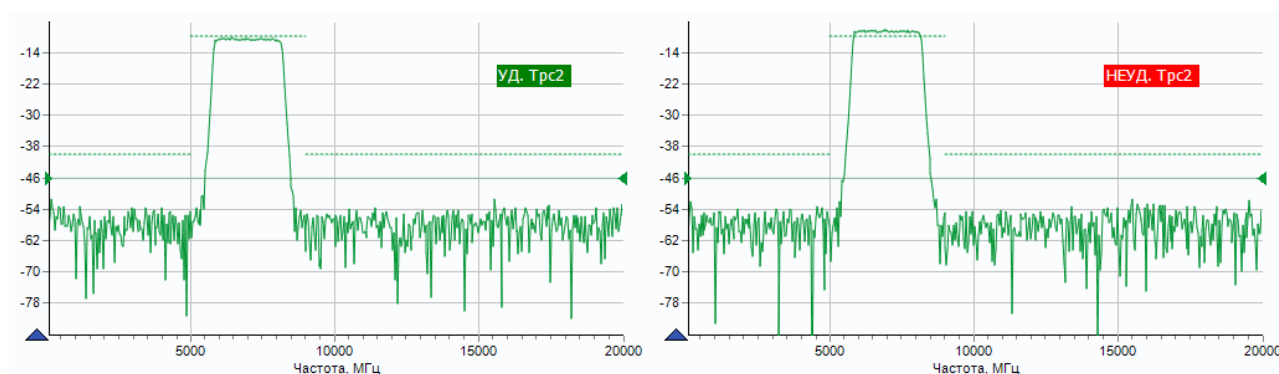


Рисунок 4.34 – Проверка ограничительными линиями

4.7.9 Статистика

Функция «Статистика» вычисляет и отображает статистические характеристики числовой выборки, составленной из отображаемых точек трассы. Результаты расчётов выводятся в области построения трасс, как показано на рисунке 4.35.

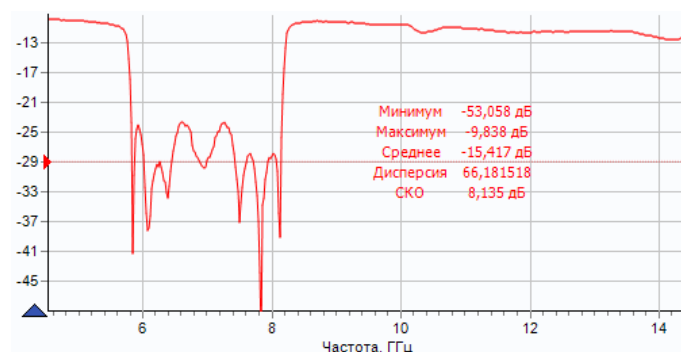


Рисунок 4.35 – Отображение статистики трассы

 Следует обратить внимание, что описанная функция дает оценку статистических моментов общую для всех точек по горизонтальной оси; ее можно использовать для оценки статистик конкретной точки по горизонтали лишь при нулевой полосе обзора и большом количестве точек (при этом измерение в каждой точке будет представлять, по сути, измерение на одной и той же точке по горизонтали, но в разные моменты времени). Чтобы получить статистики для нескольких точек по горизонтали, следует использовать «Накопление» (см. п. 4.7.5), либо маркеры с включенным свойством «Статистика» (см. п. 4.10.2).

Отображение статистических данных включается и выключается кнопкой



на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 4.20). Текст со статистическими данными может быть перемещён мышью в пределах области построения трасс в более удобное для пользователя положение.

4.8 Запуск и остановка измерений

Запуск или остановку измерений можно осуществить любым из способов, перечисленных в таблице 4.3.

Т а б л и ц а 4.3 – Способы запуска и остановки измерений

Элемент управления	Непрерывные измерения	Одиночное измерение
Кнопка панели инструментов	 подменю «непрерывный»	 подменю «одиночный»
Пункт меню «Управление» (см. рисунок 4.36)	«Измерение»	«Измерение (x1)»
«Горячая» клавиша	F5	Alt+F5

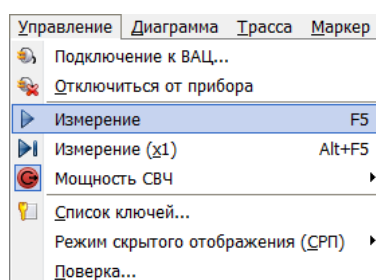


Рисунок 4.36 – Меню «Управление»

4.9 Использование профилей пользователя

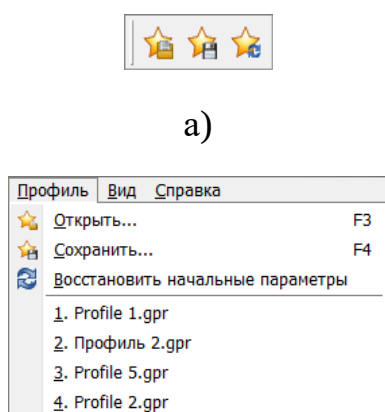
Процесс измерений обычно сопровождается заданием множества параметров. При завершении ПО *Graphit* текущие значения всех параметров диаграмм, трасс, маркеров, измерительных каналов, исключая калибровочные данные, а также настройки измерения, сохраняются на диск. При старте ПО

Graphit все сохранённые параметры восстанавливаются.

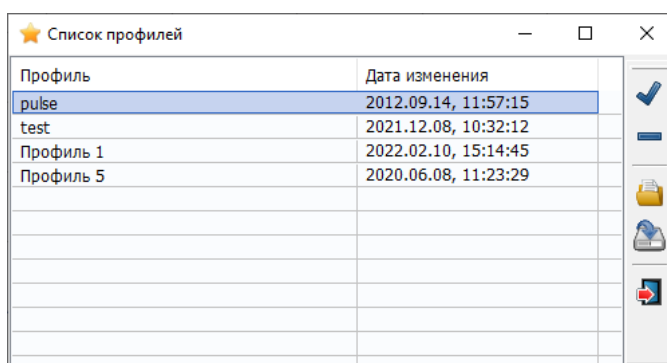
Существует возможность сохранения параметров в отдельный файл, называемый профилем. На рисунке 4.37 изображены панель инструментов «Профили», меню «Профиль» и окно «Список профилей», позволяющие загрузить параметры из профиля, сохранить параметры в профиль или восстановить исходные значения всех параметров. В меню «Профиль» дополнительно отображаются ссылки на недавно использованные профили.

В окне «Список профилей» отображаются все доступные пользовательские профили (шрифт несовместимых с текущим режимом измерения профилей окрашен в светло-серый цвет). При выборе профиля и нажатии кнопки  «Открыть профиль (Enter)» загружается выбранный профиль, при нажатии на кнопку  «Удалить (Del)» происходит удаление выделенного профиля. Нажатие кнопки  «Импортировать профиль из файла...» добавляет профиль в список и загружает его. Кнопка  «Экспортировать профиль в файл...(F4)» позволяет сохранить файл выбранного профиля в произвольную директорию. Кнопка  «Выход (Esc)» закрывает окно «Список профилей».

-  Чтобы вызвать окно «**Список профилей**», следует в меню «Профиль» выбрать пункт «Открыть...» или нажать клавишу «**F3**». В этом окне можно импортировать, экспортировать, удалять и открывать профили.
-  Чтобы **сохранить профиль** в список или файл, следует в меню «Профиль» выбрать пункт «Сохранить...» или нажать клавишу «**F4**».
-  Чтобы **восстановить настройки по умолчанию**, необходимо в меню «Профиль» выбрать пункт «Восстановить начальные параметры» или нажать кнопку на панели инструментов «Профили».



б)



в)

Рисунок 4.37 – Элементы управления профилями: а) панель инструментов; б) главное меню; в) окно со списком

❗ Утилита *FlushGPR.exe*, находящаяся в директории с установленной программой, позволяет удалять или экспортировать текущие настройки ПО Graphit (рисунок 4.38, перед удалением необходимо выбрать соответствующий тип прибора) в случае сбоя в процессе его загрузки.

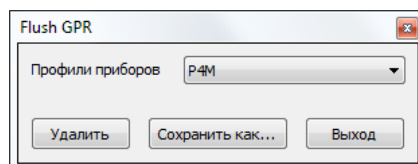


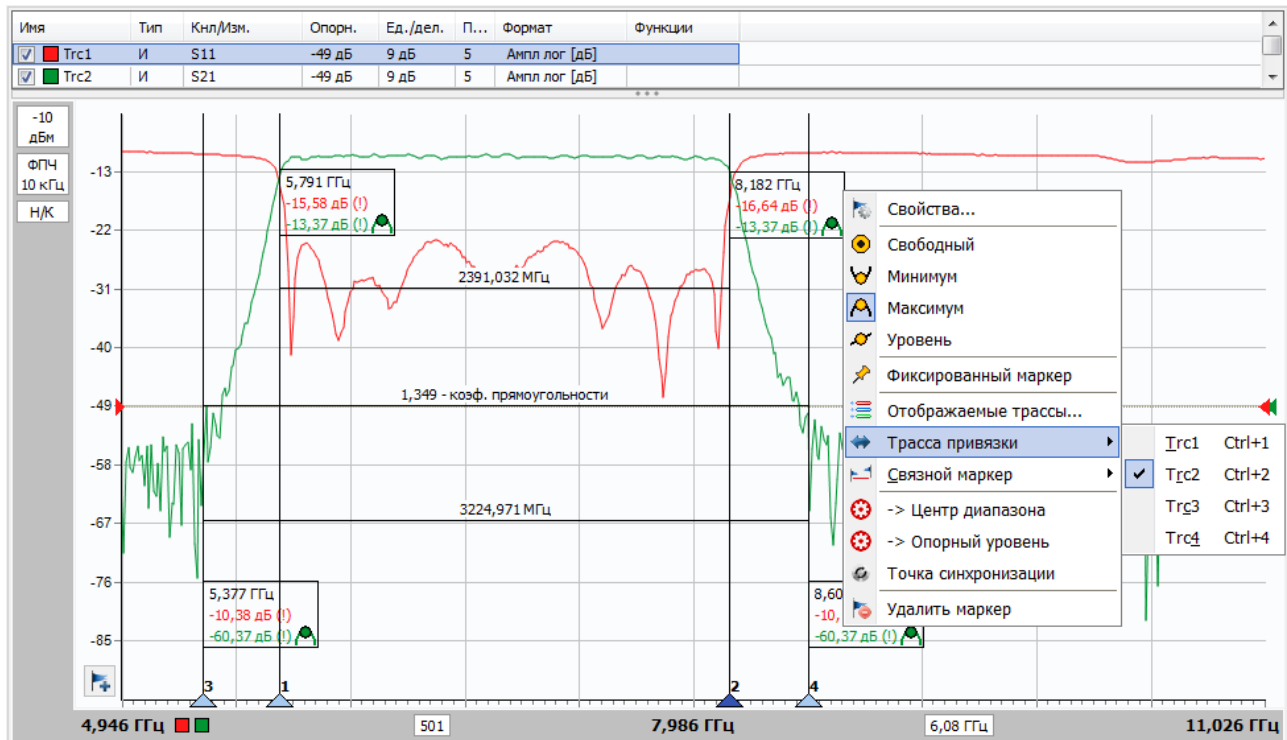
Рисунок 4.38 – Окно программы *Flush GPR*

4.10 Маркерные измерения

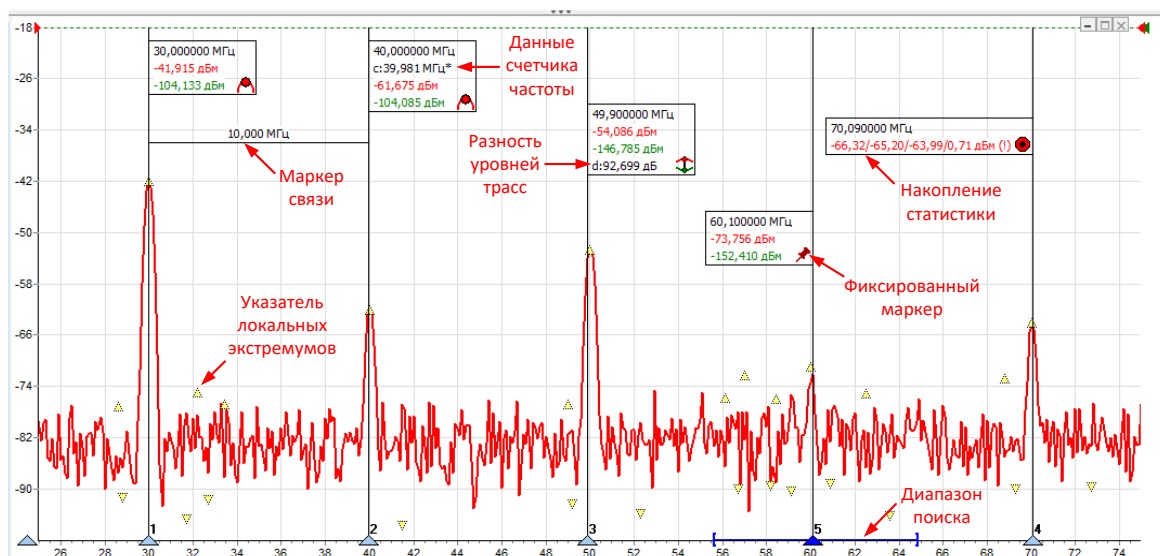
Маркеры – это дополнительное средство анализа результатов измерений. Маркеры отображают в численном виде значения некоторых точек трассы. Какая именно точка трассы будет отображена маркером, зависит от типа и параметров маркера. Для своевременного обновления отображаемой информации и/или поиска по заданному критерию точек на трассе в маркерах задаётся привязка (соответствие) к одной трассе (такая трасса называется «Трасса привязки»); тем не менее, отображать значения в маркере можно для множества трасс.

Маркеры отображаются в виде треугольника с номером на нижней оси графика, вертикальной линии и окна индикации (рисунок 4.39). Если маркер не активен, то отображается только треугольник с номером. Между двумя маркерами может отображаться связь – горизонтальная черта с текстом над ней, называемая **связным маркером**. Связные маркеры служат для расчёта и отображения дополнительных параметров исследуемых устройств.

На рисунке 4.40 представлены окна индикации маркеров. Чёрным шрифтом (в теме оформления «Графит» – белым) отображается значение частоты маркера (задающее воздействие). Цветным шрифтом отображаются значения соответствующих (по цвету) трасс на частоте маркера. При включённой в маркере статистике (рисунок 4.40-б) вместо одного значения отклика трассы отображаются четыре в виде «минимальное значение/среднее/максимальное значение/среднеквадратическое отклонение», что также применяется и к записи частоты, если маркер находится не в режиме «Свободный» (см. подробнее в п. 4.10.2). В частности, среднее значение считывается из второй позиции.



а)



б)

Рисунок 4.39 – Использование маркеров (возможность отображения счетчика частоты может отсутствовать)



Рисунок 4.40 – Окна индикации маркеров: а) с выключенной статистикой; б) с включённой статистикой

4.10.1 Добавление и удаление маркеров

Каждая диаграмма может содержать до 30 маркеров и до 10 связей между ними.

- ❖ Чтобы **создать маркер**, необходимо взять мышью треугольник в левом нижнем углу диаграммы и переместить его в желаемую позицию.
- ❖ Чтобы **скрыть или отобразить маркер** достаточно дважды щёлкнуть мышью по треугольнику или нажать «V».
- ❖ Чтобы **удалить маркер**, необходимо вызвать контекстное меню маркера и выбрать пункт «Удалить маркер». Пункт контекстного меню диаграммы «Маркеры > Сбросить все» или комбинация клавиш «Ctrl+E» удаляют все маркеры на диаграмме.

Параметры маркеров сохраняются в профиле и восстанавливаются при старте ПО *Graphit* или при загрузке профиля. Кроме того, существует возможность сохранить конфигурацию (так называемый **шаблон маркеров**) в отдельный файл, выбрав пункт меню диаграммы «Маркеры > Сохранить...» (рисунок 4.41), а также загрузить её, используя пункт меню «Маркеры > Загрузить...».

При выборе пункта меню диаграммы «Маркеры > Компактный режим отображения» маркеры будут отображаться, как показано на рисунке 4.41, без окна индикации. Данный режим удобен в случае отображения большого количества трасс на диаграмме (тогда значения маркеров отображаются только для выделенной трассы в виде таблицы в верхнем левом углу окна), либо при небольших размерах окна ПО *Graphit*. Свойство «**Крупный шрифт**» увеличивает размер шрифта отображаемых числовых значений в маркерах.

Функция «Расстановка маркеров по списку...» (рисунок 4.41) позволяет пользователю расположить маркеры на диаграмме в соответствии с заранее созданным списком частот (мощности), загрузив его из файла или создав непосредственно в таблице (рисунок 4.42). Необходимо заметить, что настройка существующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

После нажатия кнопки «Далее» необходимо выбрать трассы, значения которых будут отображаться в маркерах (рисунок 4.44).

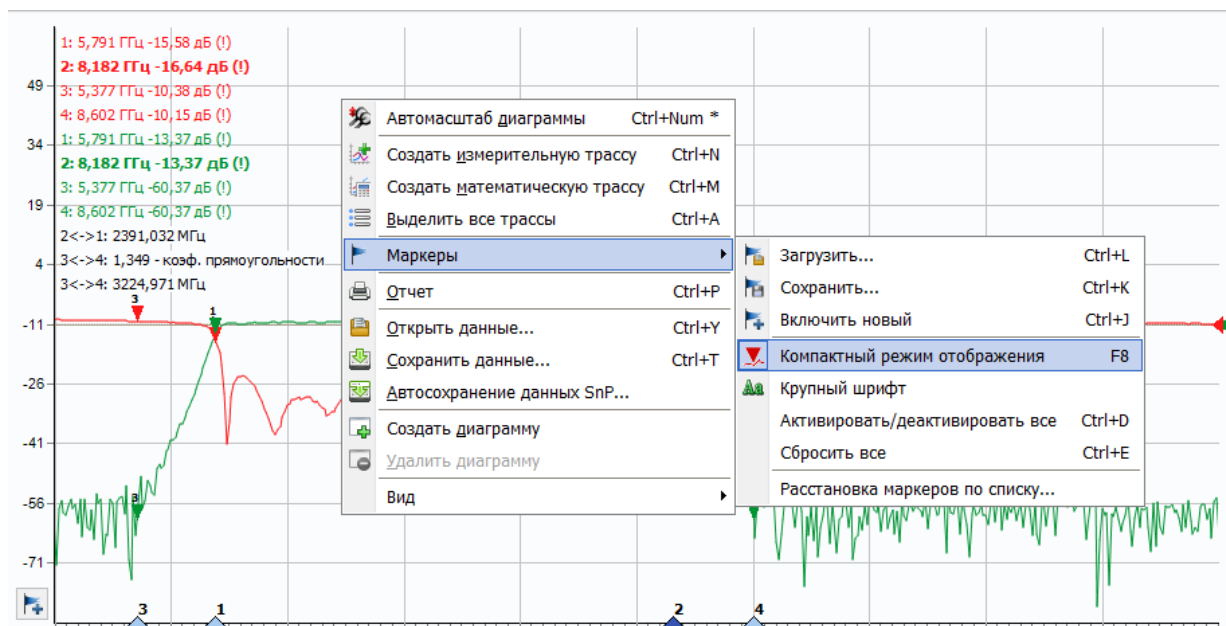


Рисунок 4.41 – Компактный режим отображения маркера

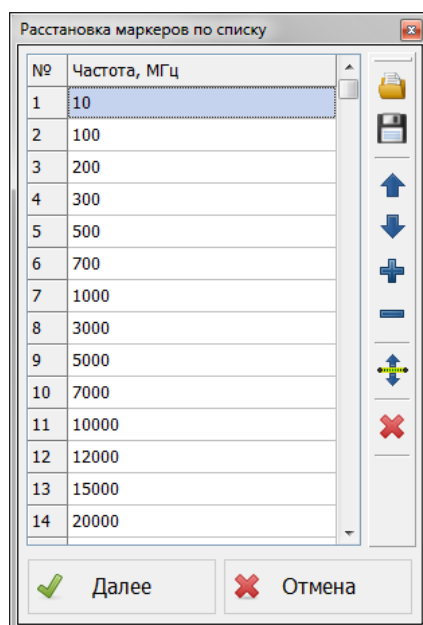


Рисунок 4.42 – Расстановка маркеров по списку частот

4.10.2 Настройка параметров маркера

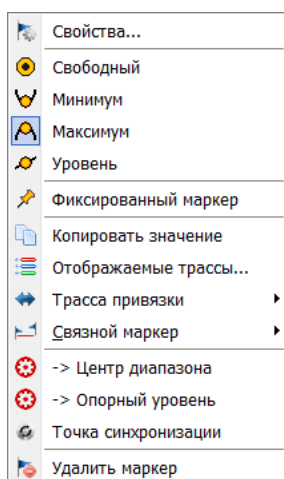
На рисунке 4.43-а показано контекстное меню маркера, появляющееся после щелчка правой кнопки мыши по номеру маркера или по окну индикации маркера; на рисунке 4.43-б – соответствующая панель управления, содержащая наиболее часто используемые функции и настройки маркеров. Пункт меню

«Свойства...» и кнопка панели управления «Все свойства...» вызывают окно, содержащее полный набор параметров маркера (рисунок 4.46).

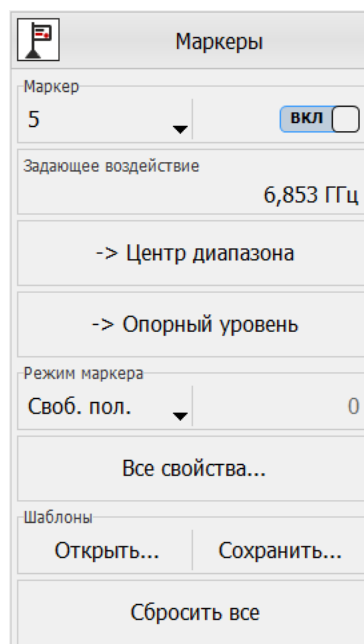
Из отображаемых значений в маркере можно исключить (или добавить) данные тех или иных трасс. Для этого достаточно изменить состояние флажков в соответствующем окне (рисунок 4.44), используя пункт меню «**Отображаемые трассы...**». Отобразить или скрыть все трассы можно при помощи переключателя, расположенного под списком. Заблокированные записи данного списка означают, что трасса выключена, либо имеет отличный от трассы привязки диапазон нижней оси. При включённой настройке «**Отображать новые трассы**» во всех маркерах диаграммы будут автоматически добавляться значения создаваемых трасс.

Подменю «**Связной маркер**» предназначено для быстрого создания связного маркера между текущим и маркером из списка. Описание связных маркеров приведено в п. 4.10.4.

Выбор пункта меню маркера «-> **Центр диапазона**» изменяет диапазон сканирования измерительного канала так, чтобы маркер оказался в середине диапазона. Диапазон сканирования изменяется только в измерительном канале, которому принадлежит трасса привязки маркера. Выбор пункта «-> **Опорный уровень**» изменяет опорный уровень трассы в соответствии со значением маркера. Пункт меню «**Точка синхронизации**» активирует служебную функцию, необходимую для получения импульса на выходе 1 синхронизации при совпадении точки сканирования с положением маркера. При этом режим выхода синхронизации изменится на значение «на частоте маркера». Вышеуказанные команды доступны только для маркера, привязанного к измерительной трассе.



а) контекстное меню



б) панель управления

Рисунок 4.43 – Контекстное меню и панель управления маркера

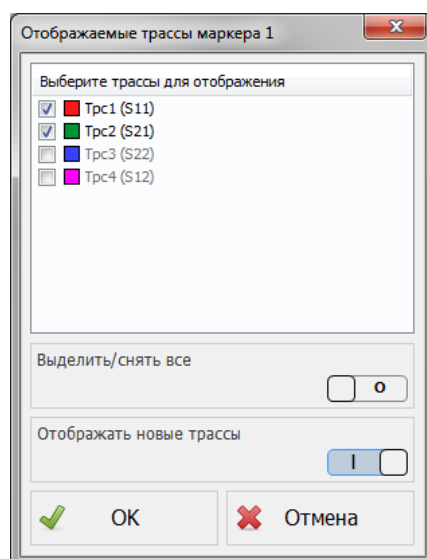


Рисунок 4.44– Выбор отображаемых в маркере трасс

На рисунке 4.45 показан дополнительный пункт меню маркера, активирующийся только для диаграммы Смита и позволяющий изменить формат значений трассы привязки, отображаемых маркером:

- «Ампл лин [раз]/Фаза[°]»;
- «Ампл лог[дБ]/Фаза[°]»;
- «Действ/Мним»;
- «Импеданс [Ом] (Действ/Мним)»;
- «Проводимость [См] (Действ/Мним)».

Для выделенного маркера, отличающегося более тёмным фоном треугольника (или полужирным шрифтом для компактного режима отображения), могут быть использованы **«горячие» клавиши** (см. п. 4.12).

Переключателем **«Состояние»** (рисунок 4.46) можно активировать или деактивировать выбранный маркер.

«Задающее воздействие» позволяет установить маркер в определенное положение по горизонтальной оси (т. е. задать например, частоту, мощность или время, в зависимости от режима измерений); данное поле ввода дублирует аналогичный параметр на панели управления «Маркеры» и доступно для редактирования только в режиме слежения «Свободный» (см. п. 4.10.3).

Параметры **«Точность (абсцисс/ординат)»** определяют количество отображаемых знаков дробной части значений задающего воздействия и отклика трасс соответственно.

«Дискретный» маркер может быть установлен только в позиции, соответствующие точкам измерения в трассе привязки. При отключённом свойстве «Дискретный» (по умолчанию) промежуточные значения трасс рассчитываются методом линейной интерполяции и помечаются символом восклицательного

знака (!) (рис. 4.47).

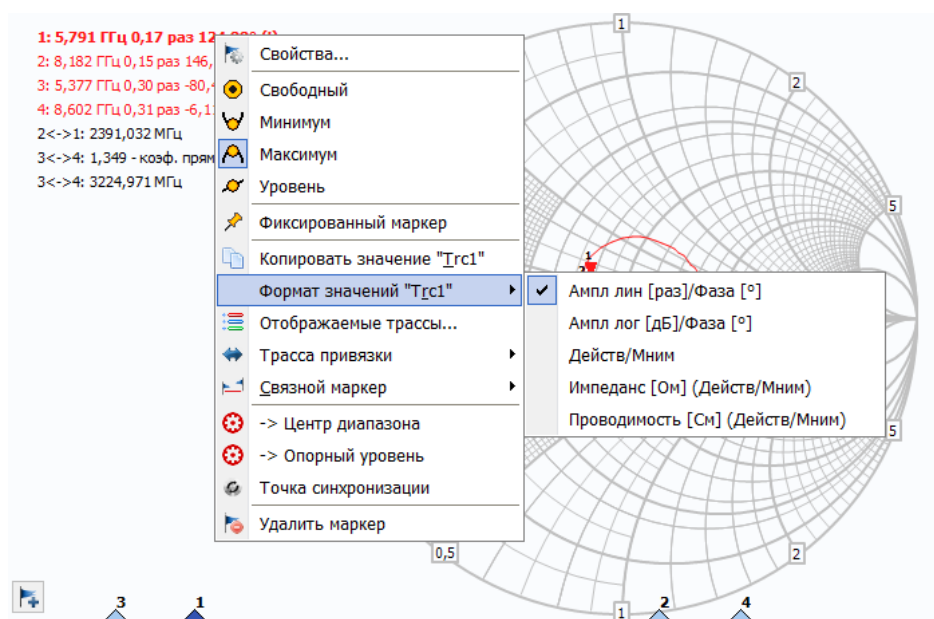


Рисунок 4.45 – Контекстное меню маркера «Формат значений» диаграммы Смита

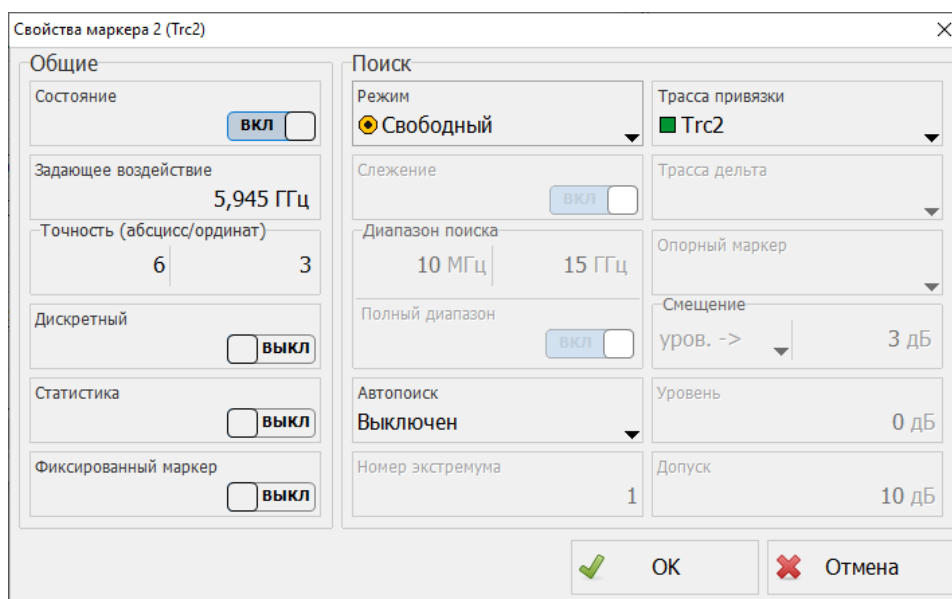


Рисунок 4.46 – Окно свойств маркера

При включённом свойстве «Статистика» производится накопление данных в маркере от кадра к кадру, а вместо текущих значений задающего воздействия и отклика трасс отображаются их статистические показатели в формате «минимальное значение/среднее/максимальное значение/среднеквадратическое отклонение». Сбросить и начать повторный набор статистики можно кликом по окну индикации или перемещением маркера (рекомендуется это делать при

нажатой клавише «**Shift**», чтобы избежать смещения маркера по горизонтальной оси).

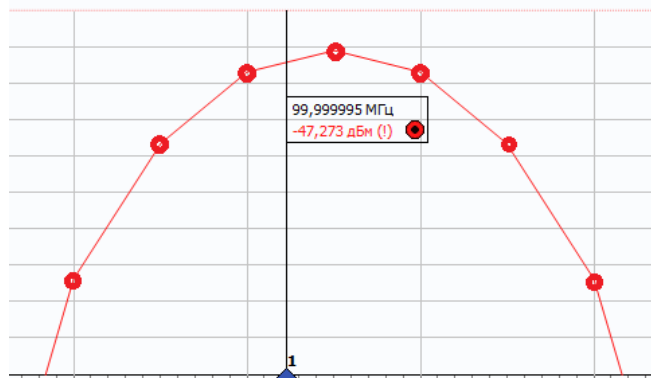


Рисунок 4.47 – Интерполяция при отображении значений в маркерах (красными точками на трассе показаны точки, в которых производилось измерение)

i При включенном свойстве «Статистика» вычисление статистических моментов производится отображаемых единицах измерения. Т.е., например, если данные в трассе отображаются в «дБ», то расчет среднего будет производиться в логарифмическом масштабе.

Свойство «**Фиксированный маркер**» (доступно также из меню маркера) переводит маркер в режим «памяти»:

- фиксируются и отображаются последние значения откликов трасс;
- отключается слежение маркера (см. п. 4.10.3) и блокируется его перемещение, в углу окна индикации отображается значок 📌;
- блокируется изменение списка отображаемых трасс;
- в меню маркера появляется команда «Обновить значения», позволяющая обновить значения трасс из текущего кадра.

4.10.3 Режимы слежения маркера

В правом нижнем углу окна индикации маркера отображается значок, обозначающий «**Режим маркера**»:

- 📍 – **свободный** (свободное положение маркера);
- 📉 – **минимум** (слежение за минимальным уровнем);
- 📈 – **максимум** (слежение за максимальным уровнем);
- 📊 – **уровень** (слежение за заданным уровнем);
- 📏 – **дельта-минимум** (слежение за минимальной разностью уровней);
- 📏 – **дельта-максимум** (слежение за максимальной разностью уровней);

-  – **дельта-уровень** (слежение за заданной разностью уровней);
-  – **дельта-маркер** (слежение за опорным маркером).

Цвет значка соответствует цвету трассы привязки.

Свободное положение маркера (режим маркера «свободный»). При установке нового маркера создаётся маркер со свободным (произвольным) положением на горизонтальной оси. Частота может задаваться тремя способами: перемещением маркера мышью; двойным щелчком по отображаемому значению частоты и редактированием, или в окне «Свойства маркера». Если требуется переместить окно индикации маркера только по вертикали или расположить с другой стороны от вертикальной линии, то следует нажать клавишу «**Shift**» на клавиатуре и переместить окно с помощью мыши.

Следящие маркеры (режимы «минимум», «максимум», «уровень» и д. р.) от кадра к кадру меняют своё положение по горизонтальной оси – следят по заданному критерию. Для слежения используются значения одной или двух трасс, к которым привязан маркер. В окне «Свойства маркера» (см. рисунок 4.46) задаётся привязка к основной трассе («**Трасса привязки**») и дополнительной (так называемой «**Трассе дельта**»), а также выбирается режим слежения: поиск минимума, максимума, заданного значения в указанной трассе или разницы между трассами (дельта-измерения). Привязка маркера отображается и может быть изменена в контекстном меню маркера. Поиск точки, удовлетворяющей критерию, выполняется по всей трассе или в заданном диапазоне в зависимости от состояния переключателя «**Полный диапазон**». **Диапазон поиска**, ограниченный пользователем, обозначается на оси абсцисс в виде синего отрезка, ограниченного прямоугольными скобками (рисунок 4.50-а).

При поиске минимума или максимума в трассе существует возможность поиска точки, отличающейся от найденного экстремума на заданное число (обычно децибел) или смещённой на заданную отстройку по частоте слева или справа от экстремума. Эта возможность позволяет вычислять параметры цепей, связанные с полосой частот. Выбор типа смещения производится в выпадающем списке «**Смещение**» из значений «<- уров.», «уров. ->» (для смещения по уровню) и «<- поз.», «поз. ->» (для смещения на значение отстройки).

Например, на рисунке 4.39-а) маркеры 1 и 2 следят за уровнем меньше максимума на 3 дБ АЧХ полосового фильтра. Связь между маркерами 1 и 2 отображает полосу пропускания фильтра по уровню «-3 дБ». Маркеры 3 и 4 следят за уровнем меньше максимума на 50 дБ. В связи между маркерами 3 и 4 вычисляется отношение полосы между маркерами 3 и 4 к полосе между маркерами 1 и 2. В результате получаем коэффициент прямоугольности фильтра. А на рисунке 4.39-б) в связи между маркерами 1 и 2 вычисляется ширина полосы между маркерами 1 и 2.

 *Следящий в неполном диапазоне маркер может исчезать или «прилипать» к краю диаграммы, оказавшись вне диапазона значений оси абсцисс. Это может произойти, например, при смене частотного диапазо-*

на или отображении трассы во временную область.

При выборе смещения маркера (рисунок 4.49, смещение равно 10 дБ) относительно найденного экстремума может возникнуть некоторый дополнительный сдвиг, обусловленный включённым свойством «Дискретный» (см. п. 4.10.2), которое блокирует установку маркера на позиции между точками измерения. Сдвиг и разница показаний маркеров будет тем больше, чем меньше установлено количество точек и круче частотная характеристика исследуемого устройства.

Параметры смещения также необходимы при использовании режима слежения «Дельта-маркер», в котором вместо экстремума трассы привязки объектом слежения является позиция так называемого **опорного маркера**. При изменении позиции опорного маркера вследствие действия пользователя или включённой функции слежения синхронно будет перемещаться и **дельта-маркер** (в соответствии с установленным типом и значением смещения). Данная функция может быть удобной при анализе АЧХ или спектра сигналов различных устройств. На рисунке 4.48 приведён пример использования двух дельта-маркеров 4 и 5 для расчёта полосы пропускания фильтра (по уровню минус 3 дБ) относительно центральной частоты, на которой установлен маркер 1 и являющийся опорным для маркеров 4 и 5.

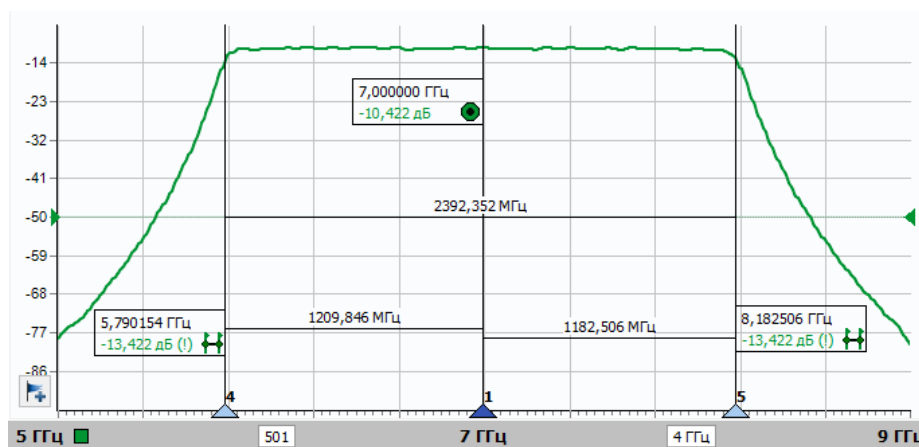


Рисунок 4.48 – Пример использования дельта-маркеров

Порядок настройки подобной конфигурации маркеров следующий:

- установить маркер на нужную центральную частоту (опорный маркер);
- добавить первый дельта-маркер, выбрав режим слежения «Дельта-маркер» в окне свойств (при этом качестве опорного автоматически выбирается первый включённый маркер диаграммы, при необходимости указать его вручную в соответствующем поле);
- выбрать тип смещения «<- уров.» и его уровень 3 дБ, закрыть окно свойств маркера, нажав кнопку «ОК»; после этого автоматически будет создан связной маркер (см. п. 4.10.4) между настраиваемым дельта-маркером и опорным);

г) повторить пункты б) и в) для второго дельта-маркера, выбрав тип смещения «уров. ->»;

д) (опционально) вручную создать связной маркер (см. п. 4.10.4) между дельта-маркерами для отображения разницы частот между ними (по умолчанию).

При включении режима «дельта-маркера» между ним и опорным будет автоматически создан связной маркер (см. п. 4.10.4), по умолчанию отображающий разницу частот в МГц.

Свойство **«Слежение»** в окне «Свойства маркера» по умолчанию включено. Это означает, что после задания необходимых параметров (критерия слежения и трассы) маркер перейдёт в режим слежения. Если задать параметры слежения при выключенном свойстве «Слежение», то маркер выполнит однократный поиск в текущем кадре, переместится на новую позицию и перейдёт в режим «Свободный».

При включении **«Автопоиска»** в окне «Свойства маркера» (значения **«Локальный экстремум»** или **«Экстремум с номером»**) изменяется его поведение при перемещении мышью. Нажав левую кнопку мыши, можно подвести маркер к другому экстремуму и отжать кнопку – отпустить маркер. При перемещении маркера мышью на трассе появляются жёлтые треугольники, обозначающие локальные минимумы и максимумы, как показано на рисунке 4.50-б. После отпускания маркер найдёт ближайший к новому положению экстремум и, если включён режим слежения, перейдёт в режим слежения за ним. Следящий маркер при необходимости поменяет критерий слежения на поиск минимума или максимума, изменит диапазон поиска экстремума, чтобы исключить более значимые экстремумы, и продолжит слежение за экстремумом. Для перемещения маркера в режиме «Автопоиск» можно использовать клавиши **«←»**, **«→»** на клавиатуре. Стрелка влево переместит к левому ближайшему экстремуму, стрелка вправо – к правому.

Маркер в режиме «Автопоиск» может пропускать экстремумы, отличающиеся от соседних на небольшую величину. В окне свойства маркера в поле **«Допуск»** можно задать минимальную величину, на которую должны отличаться значения в экстремумах. Следует уменьшить её, чтобы исключить пропуск экстремумов, или увеличить, если вместо экстремумов выделяются шумовые выбросы. Дополнительно существует возможность поиска экстремумов по их порядковому номеру (нумерация слева направо в пределах диапазона), данный режим включается выбором значения **«Экстремум с номером»**.

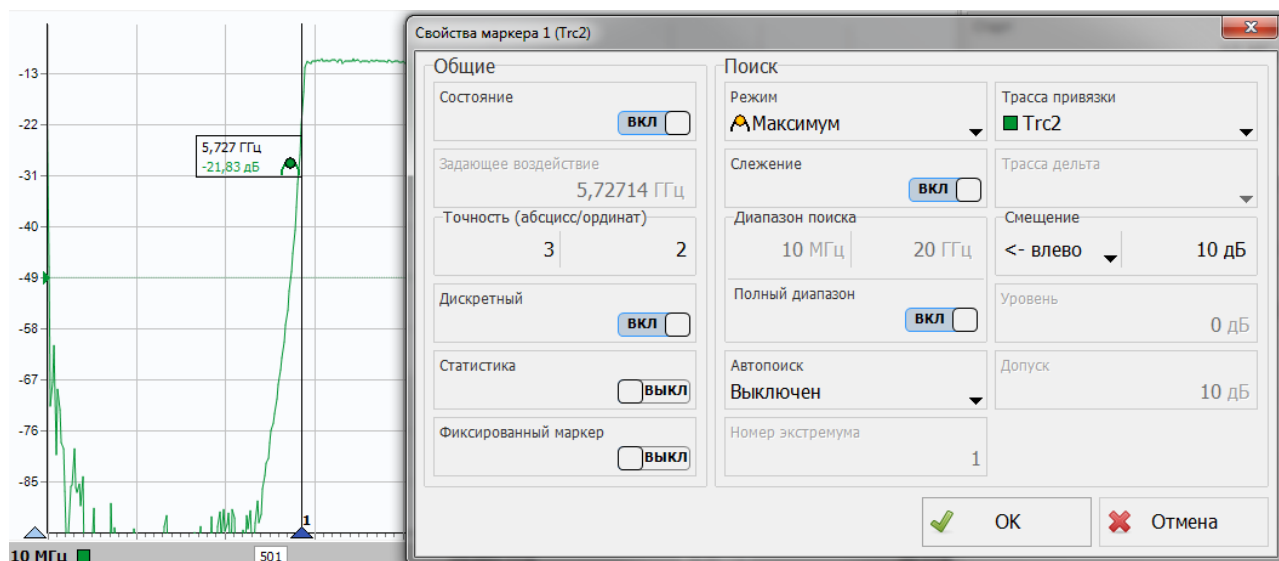


Рисунок 4.49 – Демонстрация особенностей работы маркера при поиске экстремума

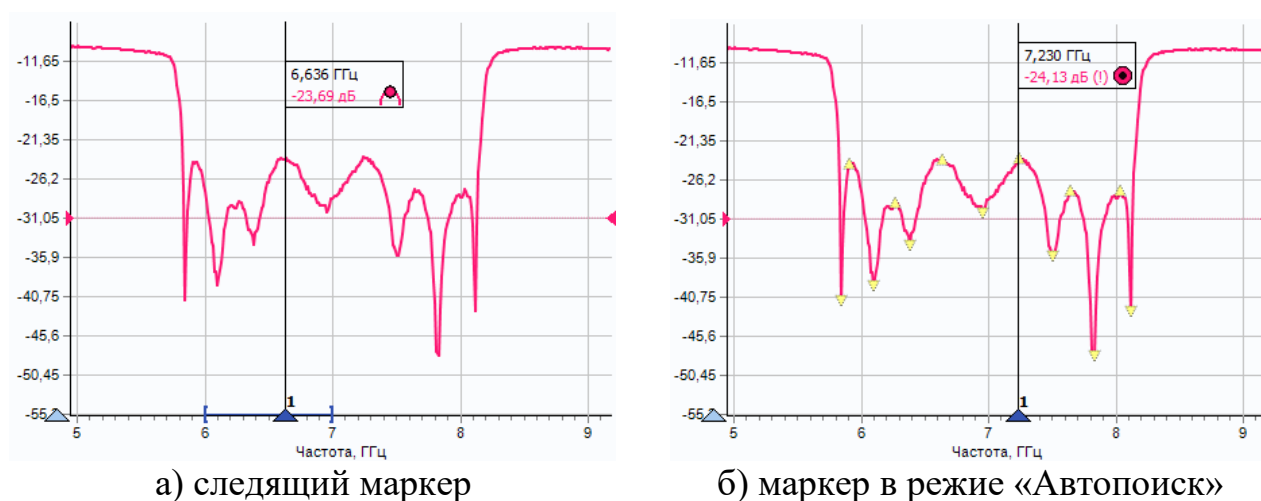


Рисунок 4.50 – Виды маркеров

4.10.4 Связные маркеры

Если нажать левую кнопку мыши над значком, обозначающим «Режим маркера», перевести курсор к другому маркеру и отпустить кнопку мыши, то создастся связной маркер – горизонтальная черта (связь), показанная на рисунке 4.39, над которой отображается некоторое значение, которое по умолчанию соответствует разнице абсцисс связанных маркеров (шаблон «Полоса»). После щелчка правой кнопкой мыши по связи появляется контекстное меню (рисунок 4.51), позволяющее изменить свойства, скопировать значение, выполнить

одну из команд или удалить связной маркер.

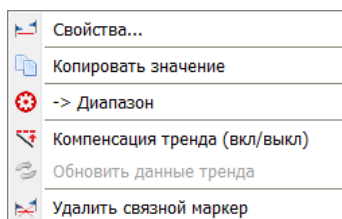


Рисунок 4.51 – Контекстное меню связных маркеров

Окно свойств связного маркера, приведённое на рисунке 4.52, позволяет задавать арифметическое выражение, вычисляющее отображаемое над связью значение.

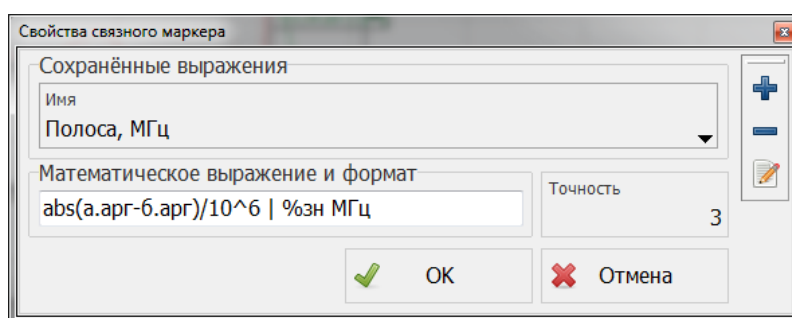


Рисунок 4.52 – Свойства связного маркера

Арифметическое выражение можно набрать в поле ввода «Математическое выражение» или выбрать из списка сохранённых формул в верхней части диалога. В частности, выбор сохраненной формулы **«Время последнего свипа»** или **«Время свипа»** позволяет проводить измерение времени развертки.

Кнопки справа от списка позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 4.53), или удалить выражение из списка сохранённых.

Текст арифметического выражения не должен содержать пробелов. Допускается использование следующих операторов (в порядке убывания приоритета):

- $\wedge$ – возведение в степень;
- $*$, $/$ – умножение и деление (имеют равный приоритет, выполняются слева направо);
- $+$, $-$ – сложение и вычитание.

Для изменения последовательности выполнения операций используются круглые скобки. Для изменения знака (унарный минус) следует использовать следующую конструкцию:

0-выражение.

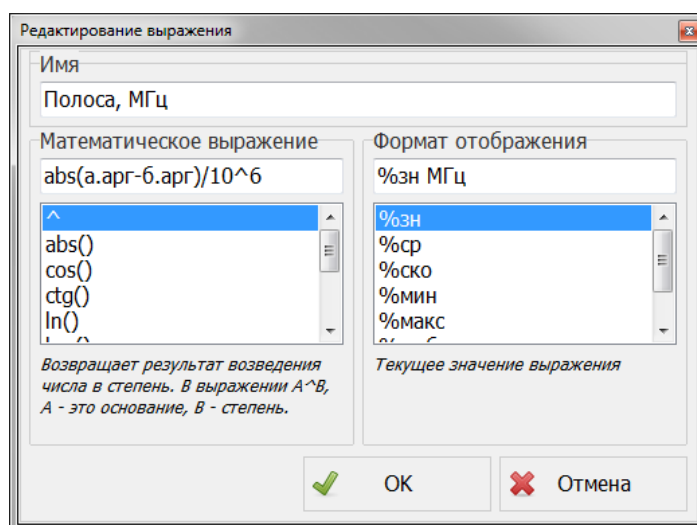


Рисунок 4.53 – Редактирование математического выражения

Т а б л и ц а 4.4 – Поддерживаемые операнды математических выражений

Операнд	Значение
abs (выражение)	Абсолютное значение (модуль числа)
sin (выражение)	Синус
cos (выражение)	Косинус
tg (выражение)	Тангенс
ctg (выражение)	Котангенс
ln (выражение)	Натуральный логарифм
log (выражение)	Десятичный логарифм
sqrt (выражение)	Вычисление квадратного корня
sqr (выражение)	Вычисление квадрата

В качестве операндов в выражении могут использоваться:

- численные константы (неотрицательные, дробная часть отделена точкой);
- значения из связанных маркеров или любых других.

Маркеры обозначаются в соответствии с их номерами: «м1» (буква «м» кириллицей), «м2», «м3» и т.д.

К маркерам, состоящим в связи, можно обратиться по именам «а» и «б». Причём «а» – это маркер с меньшим номером, а «б» – с бóльшим. У каждого маркера доступны для чтения следующие поля:

- арг – значение по оси абсцисс;
- НазваниеТрассы – значение по оси ординат из указанной трассы.

При возникновении ошибки в вычислениях – деление на ноль или отсутствие данных, выражение примет значение «Н/Д» (нет данных), которое отобразится над связью.

После арифметического выражения, отделённые вертикальной чертой «|», могут следовать спецификаторы и комментарии. Определены следующие спецификаторы:

- %зн – текущее значение выражения;
- %ср – среднее за время измерения;
- %ско – среднеквадратическое отклонение от среднего;
- %мин – минимальное значение;
- %макс – максимальное значение;
- %выб – выборка (номер кадра);
- %вrm – длительность кадра.

Весь текст, не совпадающий с перечисленными выше спецификаторами, считается комментариями, который выводится без изменений. Выводимая спецификаторами статистика сбрасывается после щелчка мыши по связи.

Рассмотрим несколько примеров арифметических выражений.

Пример 1: $a.\text{arg}-b.\text{arg}$ | Полоса: %зн МГц

Вычисляется разность частот связанных маркеров. Полученное значение выводится между словами «Полоса:» и «МГц». В этом примере разность частот может оказаться отрицательной. В следующем примере вычисляется абсолютное значение разности.

Пример 2: $(a.\text{arg}+b.\text{arg}) / (2 * (a.\text{arg}-b.\text{arg})^{2^{0.5}})$ | Добротность: %зн

Предполагается, что измеряется АЧХ полосового фильтра. Связанные маркеры следят за уровнем на 3 дБ меньше максимума слева и справа. Это задаётся в свойствах маркеров. В выражении вычисляется отношение центральной частоты к полосе пропускания.

Пример 3: $(a.\text{arg}-b.\text{arg}) / (m1.\text{arg}-m2.\text{arg})$ | %зн – коэф. прямоугольности

В этом примере также предполагается, что измеряется АЧХ полосового фильтра. Связанные маркеры следят за уровнем меньше максимума на 50 дБ. Маркеры «m1» и «m2» следят за уровнем меньше максимума на 3 дБ. Отношение разностей их аргументов даёт коэффициент прямоугольности фильтра.

Пример 4: $a.\text{Trc1}-a.\text{Pam1}$ | %мин; %ср; %макс; %ско дБ

В этом примере накапливается и отображается статистика отличий значений в трассе «Трс1» от запомненного в трассе памяти «Пам1».

При помощи связанного маркера можно установить диапазон сканирования, выбрав команду «-> **Диапазон**» в контекстном меню связанного маркера (рисунок 4.51), при этом границы диапазона сканирования будут соответствовать абсциссам связанных маркеров.

При нажатии на «**Компенсация тренда (вкл/выкл)**» включается режим, при котором удаляется тренд (наклон воображаемой линии, связывающей точки графиков в позициях связанных маркеров), при этом рассчитанный коэффициент угла наклона применяется ко всей трассе. «**Обновить данные тренда**» выполняет пересчёт вышеупомянутого коэффициента в случае изменения тренда исходных данных. На диаграмме «А» рисунка 4.54 показана исходная трасса, а на диаграмме «Б» – с использованием функции компенсации тренда.

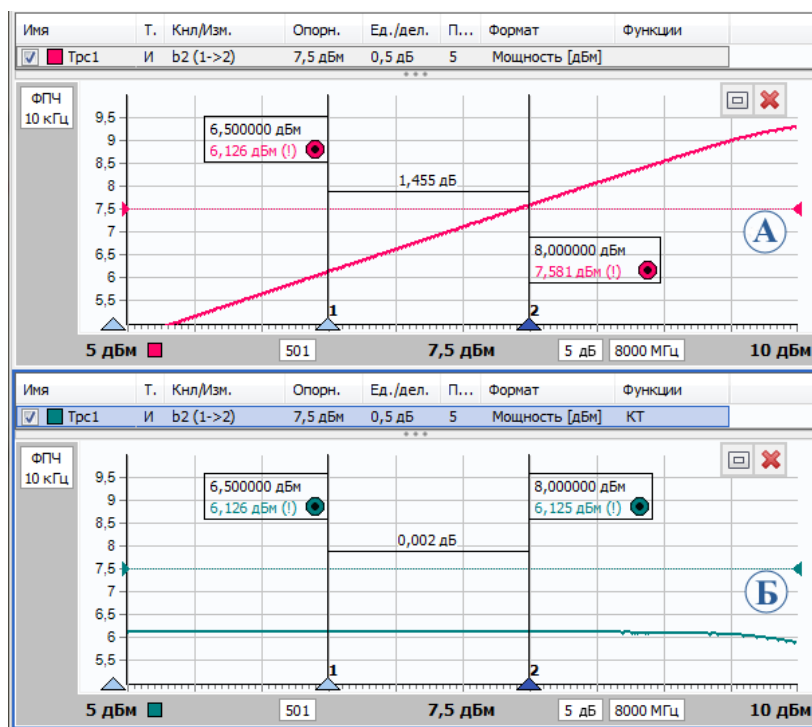


Рисунок 4.54 – Функция компенсации тренда в связанном маркере

4.11 Сохранение и загрузка результатов измерений, отчёты

Для сохранения результатов измерений существуют следующие возможности:

- сохранение трассы (см. п. 4.7.2);
- сохранение данных в формате согласно документу «Touchstone® File Format Specification» (см. Приложение Б);

- сохранение данных в формате csv;
- формирование и сохранение отчёта;
- сохранение профиля измерений (см. п. 4.9);
- сохранение изображений экрана.

Чтобы сохранить S2P- или S1P-файл, следует выбрать пункт «Сохранить данные...» в меню диаграммы с указанием нужного формата файла или нажать комбинацию клавиш «**Ctrl+T**». В файл с заданным именем и с расширением *s2p* сохраняются частоты и значения параметров рассеяния S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} в формате, выбранном пользователем в окне «Сохранение данных» (рисунок 4.55).

В отличие от сохранения трассы, в S2P-файл записываются значения с выходов «измерений» до обработки данных в трассе (рисунок 4.2), т.е. до преобразования к некоторому формату отображения и до каких-либо функциональных преобразований над трассами. «Измерения» для записи в качестве того или иного S-параметра выбираются автоматически. Если при сохранении S2P-файла некоторые S-параметры отсутствуют, то вместо них записываются значения (-200 дБ, 0°). Если для некоторых S-параметров найдётся несколько подходящих «измерений», то пользователю будет предложен выбор. Данные трасс КШ также могут быть сохранены в виде дополнительной таблицы в файлах S2P.

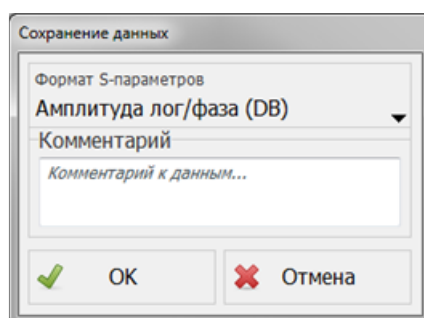


Рисунок 4.55 – Сохранение данных в формате *Touchstone®S1P/S2P*

Чтобы сохранить в формате CSV, можно выбрать данный формат при сохранении трассы (см. п. 4.7.2), либо при сохранении через контекстное меню диаграммы аналогично сохранению в формате *SnP*.

Чтобы открыть (загрузить) S2P- или S1P-файл, следует выбрать пункт «Открыть данные...» в контекстном меню диаграммы и выбрать соответствующий файл. При чтении S2P-файла автоматически создаются трассы памяти и привязываются к первому измерительному каналу. Если измерительный канал не инициализирован (т.е. не было произведено подключение к Р42 или эмулятору), то никакие трассы отображаться не будут, т.к. не определена ось абсцисс. Другими словами, чтобы посмотреть S2P-файлы, необходимо подключение к Р42.

Чтобы создать отчёт, следует выбрать пункт меню «Диаграмма > От-

чёт», либо нажать кнопку  на панели инструментов «Анализ данных» или воспользоваться комбинацией клавиш «**Ctrl+P**». В появившемся окне «Параметры отчёта» (рисунок 4.56) выбрать шаблон отчёта, настроить отображение маркеров и настроить печать. Флажок «Белый фон диаграммы» активен только для темы оформления «Графит».

Мастер отчётов предложит ввести заголовок и краткое описание к отчёту и отобразит окно предварительного просмотра, приведённое на рисунке 4.57.

Подготовленный отчёт можно напечатать (нажатием кнопки «Печать») или экспортировать (кнопкой с изображением листа со стрелкой) в файл форматов: *pdf*, *html*, *rtf* (документ *Word*), *odt* (документ *OpenOffice*) и рисунок *jpeg*.

Сохранение снимка экрана, а также отправку его по электронной почте, можно сделать с помощью соответствующего пункта меню согласно рисунку 4.58.

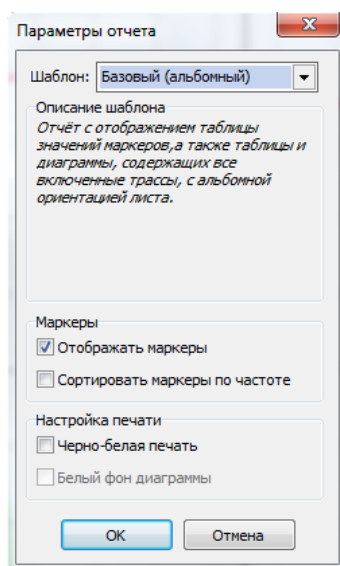


Рисунок 4.56 – Создание отчёта

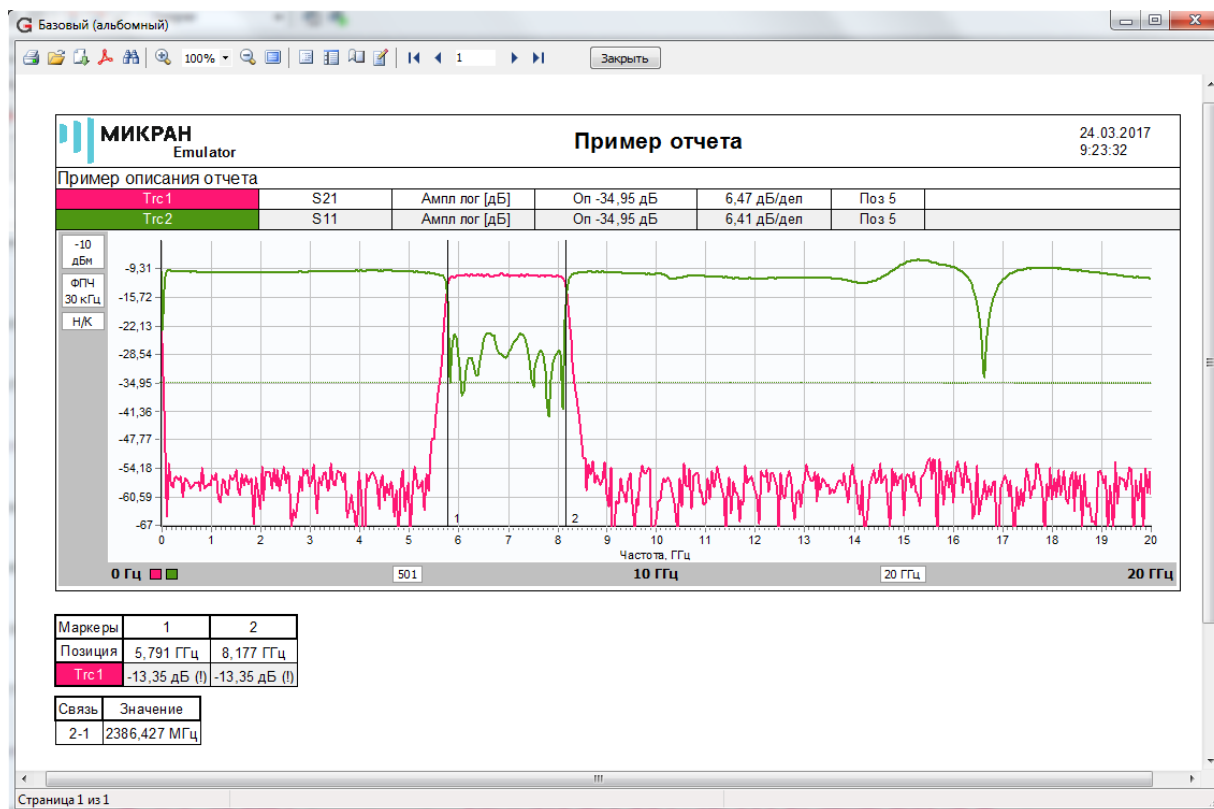


Рисунок 4.57 – Окно просмотра отчёта

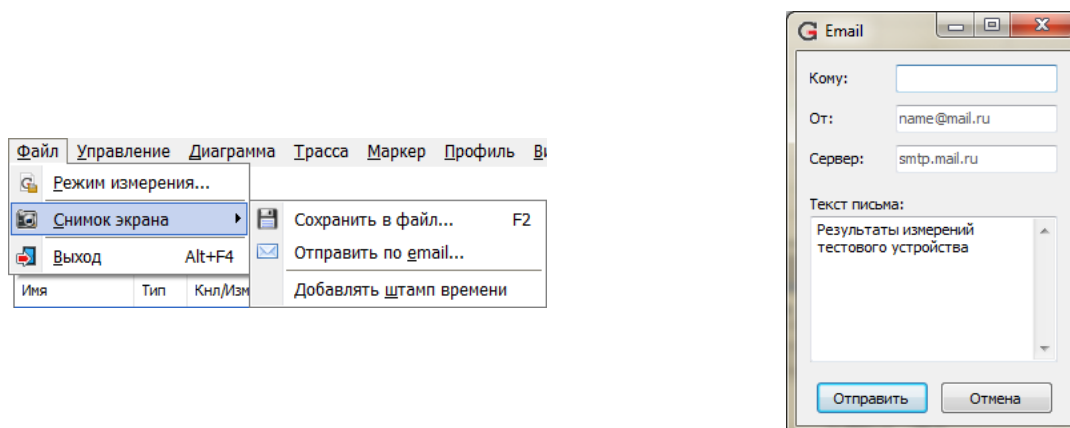


Рисунок 4.58 – Создание и отправка снимков экрана

4.12 Список «горячих» клавиш

Таблица 4.5 – Список «горячих» клавиш

Горячая клавиша	Функция
 Клавиша «Контекст»	Отобразить контекстное меню для выделенных трасс

<i>Главное окно программы</i>	
F1	Вызов справки
F2	Сохранение снимка окна программы в файл
F3	Открыть профиль пользователя
F4	Сохранить профиль пользователя
F5	Запуск измерения / повторить поиск приборов
F6	Запуск мастера калибровки
Alt+F4	Выход из программы
Alt+F5	Однократное измерение
Alt+F6	Вызов окна информации о калибровках
<i>Диаграммы</i>	
F9	Показать/скрыть дополнительные подписи нижней оси
F10	Вызов меню главного окна (системная функция)
F11	Развернуть окно диаграммы (для двух и более диаграмм)
F12	Показать/скрыть статусные панели
<i>Отчеты</i>	
CTRL+P	Отчёт
<i>Список трасс</i>	
Delete	Удаление выделенных трасс(-ы)
Ctrl+A	Выделить все трассы в списке
Ctrl+F	Сохранить данные трассы в файл
Ctrl+R	Запомнить текущую трассу (П)
Ctrl+M	Создать математическую трассу (М)
Ctrl+N	Создать измерительную трассу (И)
Ctrl+T	Сохранение S1P/S2P
Ctrl+U	Обновить данные в трассе памяти
Ctrl+Y	Открытие S1P/S2P
Ctrl+Z	Отмена последнего масштабирования
A	Автоматическое масштабирование выделенных трасс
<i>Маркеры</i>	
<i>Применяются к выделенному маркеру</i>	
D	Вкл./выкл. дискретный режим
E	Вкл./выкл. режим автопоиска экстремума
T	Вкл./выкл. режим слежения
U	Обновление значений фиксированного маркера
V	Вкл./выкл. активный маркер
S	Вкл./выкл. статистики
Ctrl+(1~9)	Привязать маркер к соответствующей трассе

Стрелка влево	Перемещение влево к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
Стрелка вправо	Перемещение вправо к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
<i>Применяются ко всем маркерам</i>	
Ctrl+D	Активировать все маркеры на диаграмме (исключая припаркованные) / деактивировать все активные маркеры
Ctrl+E	Сброс всех маркеров
Ctrl+H	Поиск гармоник с заданным допуском
Ctrl+K	Сохранить профиль маркеров в файл
Ctrl+L	Открыть профиль маркеров из файла
F8	Вкл./выкл. компактный режим
<i>Диалог для ограничительных линий</i>	
Ctrl+S	Сохранить данные в файл
Ctrl+O	Открыть данные из файла
Ctrl+Up	Сдвинуть строку вверх
Ctrl+Down	Сдвинуть строку вниз
Ctrl+Ins	Вставить строку
Ctrl+Del	Удалить строку
Ctrl+R	Очистить список
<i>Список частот</i>	
Ctrl+Up	Сдвинуть строку вверх
Ctrl+Down	Сдвинуть строку вниз
Ctrl+Ins	Вставить строку
Ctrl+Delete	Удалить строку

4.13 Сообщения для пользователя и журнал событий

В процессе работы Р42 в нём могут фиксироваться определённые события, о которых необходимо уведомлять пользователя (рисунок 4.59). К таким событиям относятся:

- операции, выполняемые Р42 автоматически (восстановление подключения и др.);
- определённые возможные события, влияющие на работу Р42 или правильность результата измерения (перегрузка, нарушение соединения, ожидание синхронизации и т.д.);
- ошибки и неисправности, приводящие к нарушению работы Р42

(отсутствие захвата гетеродина, различные нарушения передачи данных в измерительном блоке и т.п.).

Возникновение событий, имеющих, как правило, временный характер, сопровождается короткими текстовыми сообщениями, выводимыми в центре монитора. Сообщение о перегрузке Р42 появляется в верхней части вертикальной шкалы диаграммы в виде красного сигнализатора. При наведении курсора на индикатор появляется поясняющее сообщение. Об отсутствии синхронизации опорного генератора Р42 от внешнего источника сигнализирует значок в статусной строке программы.

Об ошибках и неисправностях сообщают диалоговые окна, при появлении которых измерение прекращается (рисунок 4.60). Скопировать текст ошибки в буфер обмена можно, используя комбинацию клавиш «**Ctrl+C**».

Для обеспечения возможности фиксирования таких событий в процессе измерения предусмотрено окно «**Журнал событий**». Скрытие и отображение окна осуществляется выбором пункта «Журнал событий» в меню «Вид > Панель инструментов» или нажатием клавиш «**Ctrl+J**». Окно можно открепить от панели и переместить мышью в любую область экрана. В журнал событий автоматически заносятся описанные выше сообщения с указанием времени их возникновения. Текст окна можно сохранять (в текстовый файл с расширением *log*) или удалять с помощью соответствующих кнопок в правой части окна.

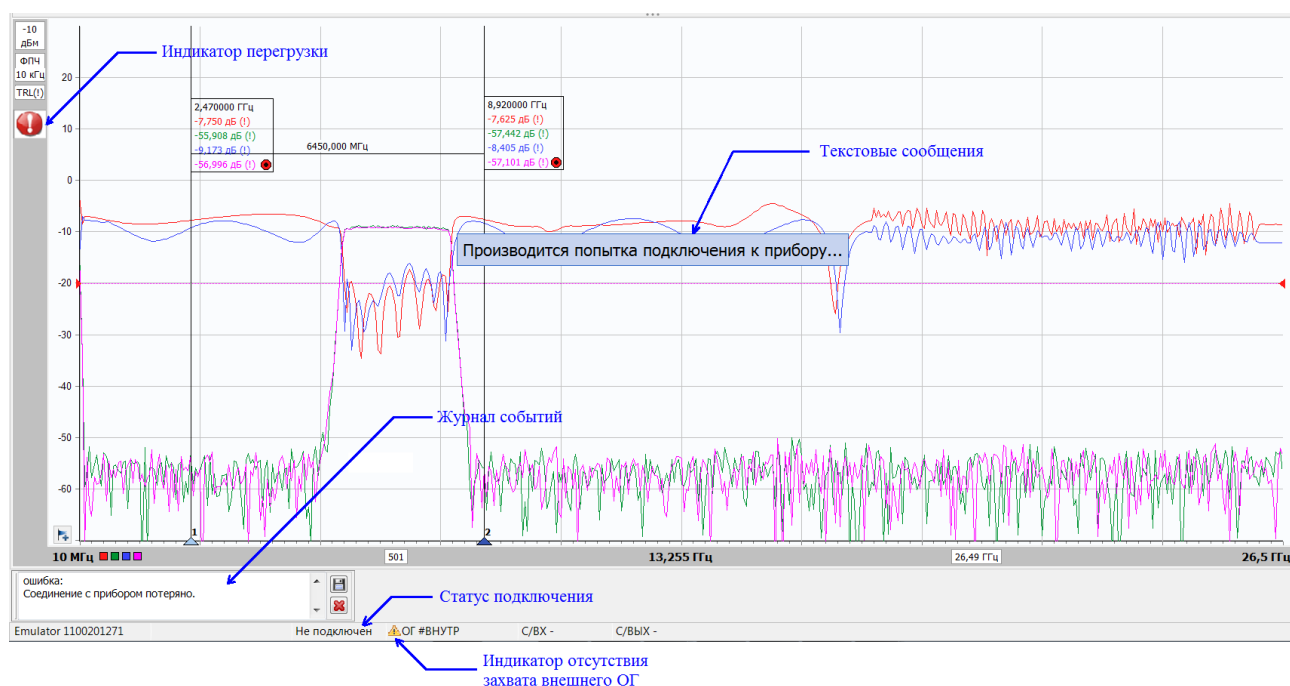


Рисунок 4.59 – Сообщения для пользователя (сообщения и индикаторы приведены исключительно для примера)

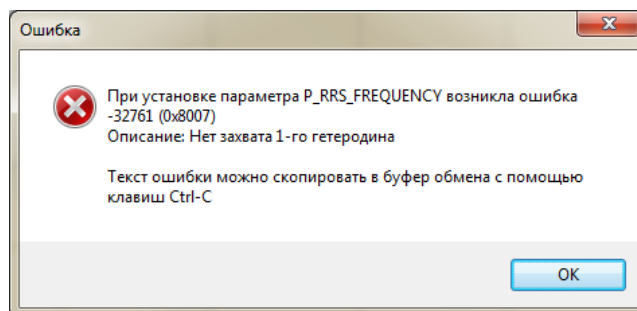


Рисунок 4.60 – Пример сообщения об ошибке

4.14 Управление мощностью СВЧ

Мощность СВЧ на выходе зондирующего порта Р42 по умолчанию автоматически включается при запуске измерений и выключается при их остановке (см. п. 4.8). Список всех доступных режимов управления мощностью СВЧ представлен ниже:

- ВЫКЛ – мощность выключена всегда;
- АВТО – мощность включается на время измерения на зондирующем порту;
- ПОРТ 1 – мощность включена всегда на порту 1 (т. е. порт 1 Р42 выступает в качестве генератора);
- ПОРТ 2 – мощность включена всегда на порту 2 (т. е. порт 2 Р42 выступает в качестве генератора).

Выбор режима управления мощностью производится из подменю кнопки , либо меню «Управление > Мощность СВЧ» (рисунок 4.36).

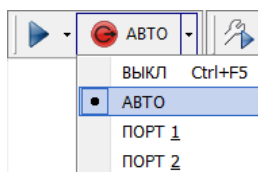


Рисунок 4.61 – Режимы управления мощностью СВЧ

Чтобы выключить мощность, достаточно отжать кнопку , либо выбрать «ВЫКЛ» в выпадающем списке (см. рисунок 4.61), либо воспользоваться меню согласно рисунку 4.36.

5 Установка параметров и конфигурация

5.1 Установка параметров измерения

Задание параметров измерений осуществляется через панели управления (см. п. 4.6). Далее, для примера, описан ряд установок некоторых основных параметров.

5.1.1 Установка параметров зондирования и измерения

Установка параметров зондирования осуществляется в панелях управления «Частота» и «Мощность». Параметры измерений задаются на панели управления «Измерение».

- Шаг 1.** Задайте частотный диапазон зондирования в панели управления «Частота» (см. п. 4.6.2). Если требуется осуществить сканирование по списку, необходимо перевести тумблер «Сканирование по списку» в положение «ВКЛ» и сформировать вручную (либо загрузить из файла) список частот в соответствующем окне, появляющемся после нажатия кнопки «Список...» на панели «Частота» (рисунок 5.1).
- Шаг 2.** Задайте там же требуемое количество частотных точек. Минимальное значение - 1, максимальное – 8001. При сканировании по списку количество частотных точек определяется размером списка.
- Шаг 3.** На панели управления «Мощность» (см. п. 4.6.3) путем выставления параметров «Центр» обеспечьте требуемую выходную мощность (более подробно об управлении мощностью см. п. 4.14). Для Р4226А или при наличии опции «ДМА» для Р4213 и Р4226 можно дополнительно задать параметры аттенюаторов источников зондирующего сигнала (генераторов) и аттенюаторов приёмников в элементах «Аттенюатор генератора (порт 1 / 2)» и «Аттенюаторы приёмников (порт 1 / 2)».

! *Не превышайте максимальную входную мощность, допустимую для исследуемого устройства. Это может вывести его из строя. Также следует иметь в виду, что входная мощность Р42, при которой его измерительные приёмники ещё находятся в линейном режиме, не должна превышать максимальной входной рабочей мощности (см. технические характеристики в разделе с описанием Р42 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ, а также раздел с требованиями безопасности ч. I настоящего РЭ). Для дополнительной регулировки входной и выходной мощности рекомендуется использовать либо встроенные аттенюаторы (для Р4213 и Р4226 – только при наличии опции ДМА), либо внешние.*

Шаг 4. На панели управления «Измерение» (см. п. 4.6.1) установите значение параметра «Фильтр ПЧ» в соответствии с требованиями по селективности сигнала. Можно задать произвольное значение фильтра вручную, которое будет приведено Р42 к ближайшему возможному значению.

i *В некоторых случаях пользователю может потребоваться вручную задать время развёртки Р42. Данная возможность реализуется за счёт дополнительного интервала «удержания» каждой точки непосредственно перед её измерением. Установить желаемое время развёртки можно в соответствующем поле, предварительно переключив тумблер «Время развёртки» в положение «РУЧН». По умолчанию Р42 обеспечивает минимально возможное для текущих настроек время развёртки. Текущее время развёртки отображается в статусной строке программы.*

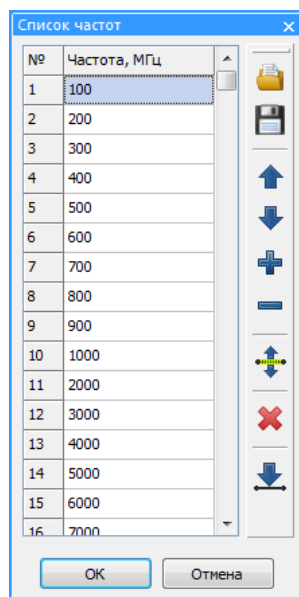


Рисунок 5.1 – Задание списка частот

Шаг 5. На панели управления «Измерение» (см. п. 4.6.1), настроить нужные функции по необходимости в зависимости от поставленной задачи.

5.1.2 Доступные измерения и форматы. Установка параметров отображения измерительных трасс

Управление диаграммами и трассами изложено в пп. 4.1, 4.2, 4.7. Установка параметров отображения измерительных трасс производится следующим образом.

Шаг 1. Создайте измерительную трассу. По умолчанию в списке измерительных трасс присутствуют все S -параметры. При необходимости, можно удалить, либо добавить измерительную трассу с требуемой измеряемой величиной. Все трассы отображаются в списке трасс (рисунок 4.4).

Измерительная трасса отображает данные одного из «измерений». Выбор «измерения» выделенной трассы осуществляется на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 5.3-а) или в меню трассы (рисунок 5.3-б).

Доступны следующие варианты:

- S -параметры;
- комплексные амплитуды опорных и измерительных приёмников – a_1 , a_2 , b_1 , b_2 при прямом (обозначается 1→2) или обратном (2→1) зондировании;

- комплексные сопротивления и проводимости;
- комплексный коэффициент преобразования S_{21} , скалярный коэффициент преобразования Sc_{21} , амплитуда измерительного приёмника b_{2C} при работе с частотно-преобразующими исследуемыми устройствами;
- Коэффициент шума NF и спектральная плотность мощности шума ENR .

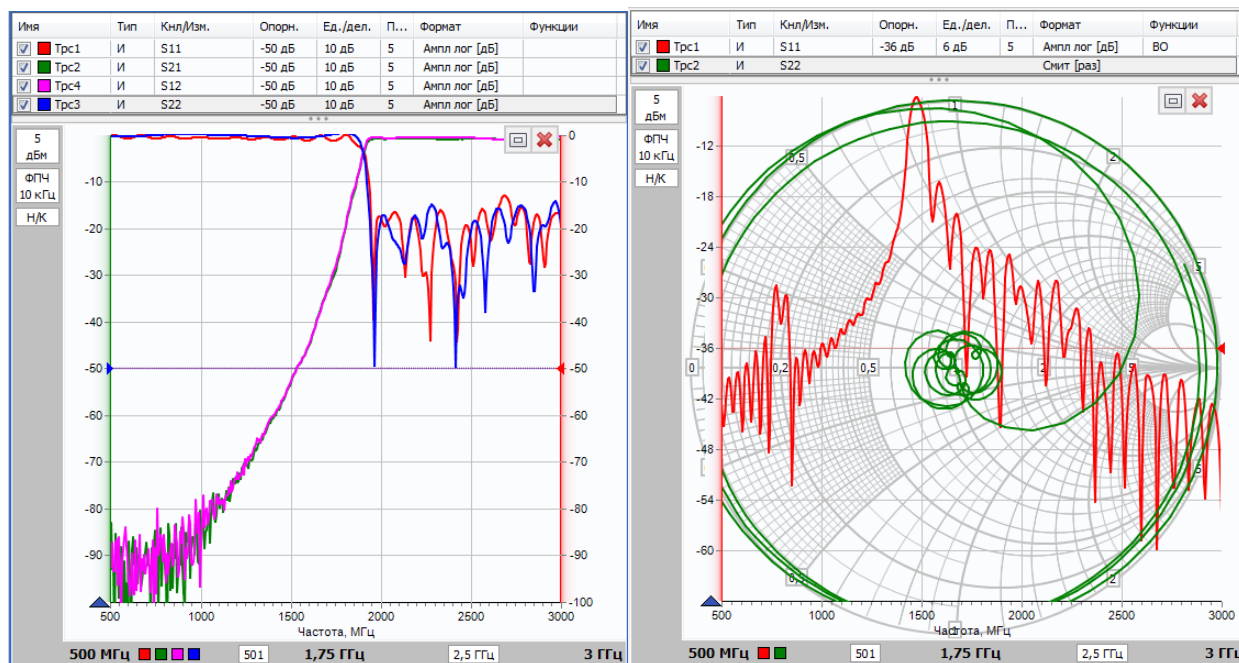


Рисунок 5.2 – Диаграммы

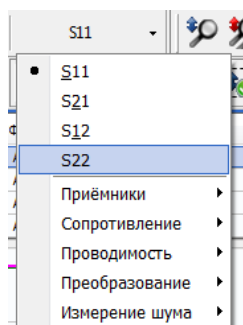
Комплексные сопротивления Z_{11} и Z_{22} , обусловившие отражения от цепи, вычисляются по формулам

$$Z_{11} = Z_{ref1} \cdot \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \quad (6)$$

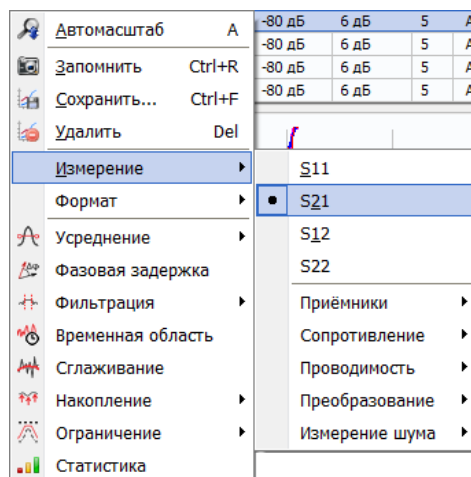
$$Z_{22} = Z_{ref2} \cdot \frac{1 + S_{22}}{1 - S_{22}}, \quad (7)$$

где Z_{ref1} и Z_{ref2} – опорные импедансы измерительных портов 1 и 2.

Комплексные сопротивления цепи на передачу Z_{21} и Z_{12} , вычисляются по формулам



а) на панели инструментов



б) в контекстном меню трассы

Рисунок 5.3 – Выбор «измерения»

$$Z_{21} = 2 \cdot \frac{\sqrt{Z_{ref1} \cdot Z_{ref2}}}{S_{21}} - (Z_{ref1} + Z_{ref2}) \quad (8)$$

$$Z_{12} = 2 \cdot \frac{\sqrt{Z_{ref1} \cdot Z_{ref2}}}{S_{12}} - (Z_{ref1} + Z_{ref2}) \quad (9)$$

Шаг 2. Установите требуемый формат отображения.

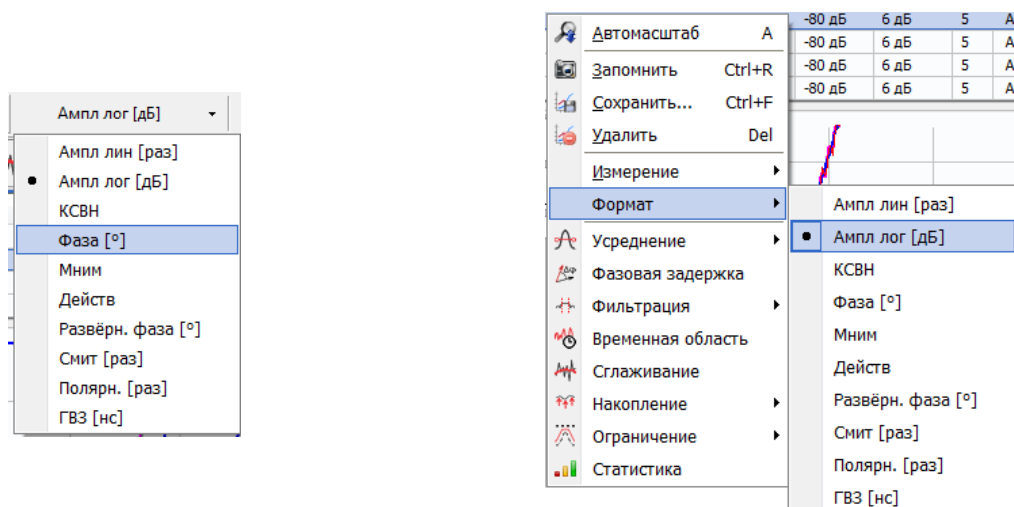
Все «измерения» формируют последовательности комплексных величин, отображаемые трассами в заданном формате. Формат отображения трассы задаётся на панели инструментов «Формат» (рисунок 5.4) или через пункт контекстного меню трассы «Формат». Трасса отображается в декартовых координатах в виде ломанной кривой, соединяющей пары точек с координатами (x_n, y_n) , вычисленными из измеренной комплексной величины v_n для каждой частотной точки f_n , МГц.

Трасса в формате «Ампл лин (раз)» отображает величины:

$$y_n = |v_n| = \sqrt{\text{Re}(v_n)^2 + \text{Im}(v_n)^2} \quad (10)$$

$$x_n = f_n \quad (11)$$

где n – номер измеряемой точки, $n = 1 \dots N$,
 N – количество точек.



а) на панели инструментов

б) в контекстном меню трассы

Рисунок 5.4 – Выбор формата отображения

Трасса в формате «Ампл лог (дБ)» отображает величины:

$$y_n = 20 \cdot \lg(|v_n|) = 10 \cdot \lg(\operatorname{Re}(v_n)^2 + \operatorname{Im}(v_n)^2), \text{ [дБ]}, \quad (12)$$

$$x_n = f_n, \quad (13)$$

Трасса в формате «КСВН» отображает величины:

$$y_n = \frac{1 + |v_n|}{1 - |v_n|}, \quad (14)$$

$$x_n = f_n, \quad (15)$$

Трасса в формате «Фаза (°)» отображает величины:

$$y_n = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \arctg 2 \left(\frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right), \text{ [}^\circ\text{]}, \quad (16)$$

$$x_n = f_n, \quad (17)$$

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

Трасса в формате «Развёрн. фаза (°)» (развёрнутая фаза), в отличие от формата «Фаза», не имеет разрывов вблизи $\pm 180^\circ$ и отображает величины:

$$x_n = f_n, \quad (18)$$

$$\varphi_n = \arctg 2 \left(\frac{\text{Im}(v_n)}{\text{Re}(v_n)} \right), \quad (19)$$

$$y_1 = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \varphi_1, \quad (20)$$

$$y_i = y_{i-1} + \frac{180^\circ}{\pi} \cdot |\varphi_i - \varphi_{i-1}|_{\pm\pi}, \quad (21)$$

$$|\Delta\varphi|_{\pm\pi} = \begin{cases} \left(\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} - \left[\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} - \frac{1}{2} \right] \right) \cdot 2 \cdot \pi, & \Delta\varphi < 0 \\ \left(\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} - \left[\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} + \frac{1}{2} \right] \right) \cdot 2 \cdot \pi, & \Delta\varphi \geq 0 \end{cases}, \quad (22)$$

где $|\Delta|_{\pm\pi}$ – оператор взятия по модулю $\pm\pi$;
 $[x]$ – оператор вычисления целой части x ;
 $i = 2 \dots N$.

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:

$$x_n = f_n, \quad (23)$$

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} 2 \left(\frac{\operatorname{Im}(v_n)}{\operatorname{Re}(v_n)} \right), \quad (24)$$

$$y_1 = \frac{|\varphi_1 - \varphi_2|_{\pm\pi}}{x_2 - x_1} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi}, [\text{нс}], \quad (25)$$

$$y_N = \frac{|\varphi_{N-1} - \varphi_N|_{\pm\pi}}{x_N - x_{N-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi}, [\text{нс}], \quad (26)$$

$$y_i = \frac{|\varphi_{i-1} - \varphi_{i+1}|_{\pm\pi}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi}, [\text{нс}], \quad (27)$$

где $|\Delta|_{\pm\pi}$ – оператор взятия по модулю $\pm\pi$;
 $i = 2 \dots N-1$.

i 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 измерений) 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» отображает величины:

$$y_n = \operatorname{Im}(v_n), \quad (28)$$

$$x_n = f_n, \quad (29)$$

Трасса в формате «Действ» отображает величины:

$$y_n = \operatorname{Re}(v_n), \quad (30)$$

$$x_n = f_n, \quad (31)$$

Трасса в формате «Смит (раз)» отображает величины:

$$y_n = \text{Im}(v_n), \quad (32)$$

$$x_n = \text{Re}(v_n), \quad (33)$$

В диаграмме Смита не отображаются оси абсцисс и ординат и соответствующие им шкалы. Следовательно, такие атрибуты трассы, как опорный уровень, позиция и цена деления, не влияют на отображение. В маркерах отображаются значения в соответствии с выбранными в подменю «Формат значений (*имя трассы*)» (рисунок 4.45). Меню маркера, при этом, необходимо вызвать в индикаторе на строке, соответствующей трассе формата «Смит (раз)». По умолчанию в частотной точке маркер отображает амплитуду в линейном масштабе и фазу.

5.2 Конфигурация портов

При работе с Р42 есть возможность вносить корректировки в конфигурацию измерительных портов, тем самым вносить изменения в процесс измерений с учётом возможностей при работе с Р42. Выберите пункт меню «Калибровка > Конфигурация портов» (рисунок 5.5).

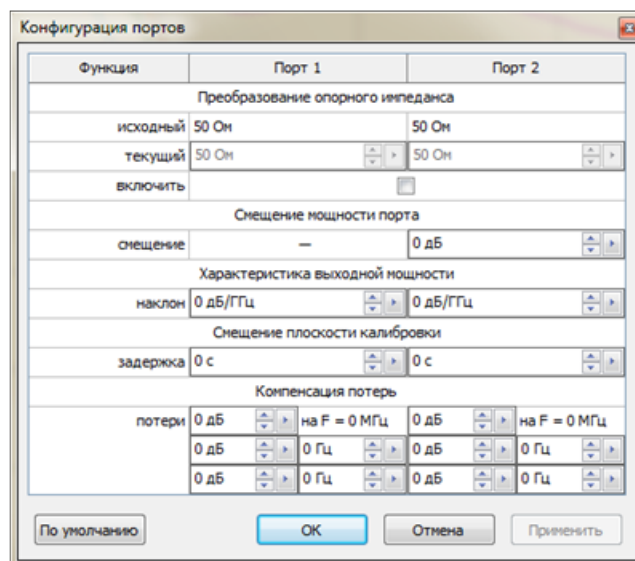


Рисунок 5.5 – Меню «Конфигурация портов»

5.2.1 Преобразование опорного импеданса

В случаях, когда волновое сопротивление исследуемого устройства (Z_0) отличное от импеданса P42 ($Z_0 \neq Z_{ref}$), возможны следующие варианты измерений S-параметров исследуемого устройства в тракте Z_0 :

а) Калибровка в тракте Z_0 . Устанавливается требуемое значение опорного импеданса $Z_{ref} = Z_0$. Выполняется калибровка с использованием калибровочного набора, соответствующего тракту Z_0 . Этот вариант обеспечивает максимальную точность, но требует калибровочный набор в тракте Z_0 .

б) Преобразование опорного импеданса $Z_{ref} \rightarrow Z'_{ref} = Z_0$. Выполняется калибровка в тракте Z_{ref} , если возможно, в сечении после перехода на Z_0 . Для каждого измерительного порта устанавливаются требуемые значения опорного импеданса. Измеряются S-параметры исследуемого устройства в тракте Z_{ref} , которые затем пересчитываются для тракта $Z'_{ref} = Z_0$.

5.2.2 Смещение мощности порта

Заданный уровень выходной мощности в P42 относится к обоим измерительным портам. Если по какой-то причине требуется задать разный уровень мощности с каждого порта, то можно воспользоваться данной функцией. Смещение задаётся в виде добавки мощности для порта 2 относительно мощности порта 1.

5.2.3 Характеристика выходной мощности

Р42 обеспечивает заданную выходную мощность в плоскости измерительных портов. Использование кабельных сборок или другой оснастки приводит к некоторому ослаблению зондирующего сигнала. Причём величина потерь, как правило, увеличивается с ростом частоты. Если это увеличение потерь (измеренное в децибелах) линейно зависит от частоты, то можно воспользоваться функцией Р42 корректировать выходную мощность для каждой частотной точки с учётом величины потерь по линейному закону, измеряемой в дБ/Гц.

5.2.4 Смещение плоскости калибровки

Плоскость калибровки (англ.: *Reference plane*) – сечение коаксиального или волноводного тракта, для которого компенсируются все задержки. Фаза отражённого от этой точки (или проходящего через эту точку) сигнала после коррекции равна фазе зондирующего сигнала, а фаза их отношения равна нулю. Во временной области плоскость калибровки соответствует началу координат.

Плоскость калибровки проходит через разъём, к которому во время калибровки подключались калибровочные меры. Однако плоскость калибровки может быть перемещена использованием программных функций смещения плоскости калибровки, а также встраивания и исключения цепей (см. п. 7.7).

5.2.5 Компенсация потерь

Данная функция позволяет компенсировать потери в кабельной сборке, либо оснастке, если нет возможности провести калибровку с их учётом. Компенсируя потери, корректируются измеряемые *S*-параметры. Потери задаются в трёх частотных точках: F_0 , F_1 , F_2 , при этом необходимо соблюдать условие $L_{F0} < L_{F1} < L_{F2}$.

Например, если после калибровки требуется компенсировать подключённый неохарактеризованный аттенюатор или усилитель, необходимо указать только номинальное ослабление (положительное значение) или КУ (отрицательное значение) в децибелах в поле «потери ... на $F = 0$ МГц» для нужного порта. Эти же параметры вынесены на панель управления «Мощность» в группу «Внешние аттенюаторы (порт 1/2)» (рисунок 4.12-в) для быстрого доступа к ним.

6 Калибровка

Калибровка (пользовательская) – измерение устройств с известными параметрами (называемые **калибровочные меры** или эталоны), после которого на основании отличий измеренных и известных величин, определяются параметры измерительной системы, необходимые для последующей *коррекции* результатов измерений.

Коррекция результатов измерений – вычисление оценок измеряемых величин в соответствии с моделью измерительной системы и её параметрами, которые были определены в процессе *калибровки*.

Плоскость калибровки – сечение СВЧ-тракта, к которому при калибровке подключаются калибровочные меры, эталонные источники сигналов или эталонные измерители. Плоскость калибровки может быть перенесена в другое сечение СВЧ-тракта, недоступное для подключения эталонов.

6.1 Наборы калибровочных мер

Калибровка Р42 как измерителя *S*-параметров осуществляется с использованием следующих видов наборов калибровочных мер:

- набор калибровочных мер, содержащий меры (нагрузки) отражения и передачи, подключаемые вручную (рисунок 3.1);
- модуль автоматической калибровки (электронный калибратор), содержащий набор мер отражения и передачи, переключаемых командами компьютера (рисунок 6.2);
- меры в волноводном тракте прямоугольного сечения (короткозамыкатель, четвертьволновой отрезок и др., рисунок 6.3);
- калибровочная пластина для зондовой станции.

Калибровка Р42 как **измерителя мощности** осуществляется методом сравнения с эталонным измерителем. Для калибровки можно использовать измерители мощности серии *PLS* производства АО «НПФ «Микран», а также некоторые модели сторонних производителей¹⁾.

При калибровке Р42, как **измерителя мощности шума**, применяется эталонный генератор шума. Для калибровки можно использовать различные генераторы шума, например: твердотельные ГШ, управляемые напряжением питания плюс 28 В; низкотемпературные.

В процессе калибровки к портам Р42 подключаются устройства с известными параметрами – калибровочные меры отражения и передачи. Сравнивая известные и измеренные параметры калибровочных мер, ПО *Graphit* вычисляет факторы ошибок (см. приложение с описанием формул для коррекции *S*-

¹⁾Уточняйте список поддерживаемых измерителей мощности у производителя.

параметров и расчету ПГ ч. I настоящего РЭ), которые будут использоваться для коррекции измерений.



Рисунок 6.1 – Набор калибровочных мер



Рисунок 6.2 – Электронный калибратор серии ЭК4

В наборы калибровочных мер входят переходы с соединителями соответствующим портам Р42 с одной стороны и соединителями требуемого типа с другой. В качестве мер отражения используются нагрузки холостого хода, короткозамкнутые и согласованные.

Характеристики калибровочных мер (т. е. их описание) содержатся в файле *.mck (далее – файл описания) на *flash*-накопителе (или иной носитель информации) из состава набора калибровочных мер. Файлы описания для калибраторов электронных, как правило, записаны в память самого калибратора и считываются автоматически при его подключении. В некоторых случаях, например для «невставляемых» калибраторов (т. е. калибраторы с одинаковыми

соединителями), может иметься дополнительный файл описания на *flash*-накопителе (см. п. 6.5).



Рисунок 6.3 – Набор калибровочных мер в волноводном тракте

Какие меры лучше использовать – согласованные или рассогласованные? Погрешности измерений в основном определяются точностью параметров калибровочных мер. Поэтому лучше те нагрузки, математическое представление которых более точно соответствует их физическим параметрам. «Хорошая» согласованная нагрузка отражает порядка минус 40 дБ (0,01 в линейном масштабе), а в расчётах коэффициент отражения принимается равным 0.

Характеристики калибровочных мер содержатся в файле описания набора, который необходимо предварительно добавить в список калибровочных наборов (рисунок 6.5). Открыть данный список можно используя пункт меню «Калибровка > Список калибровочных наборов...» (рисунок 6.4), либо непосредственно на втором шаге «Настройка конфигурации» в мастере калибровки.

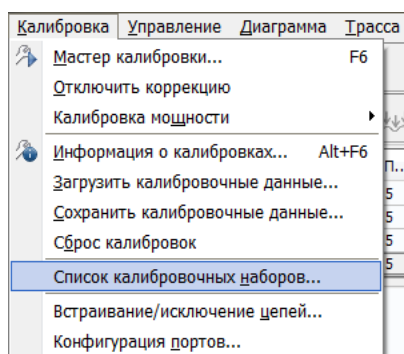


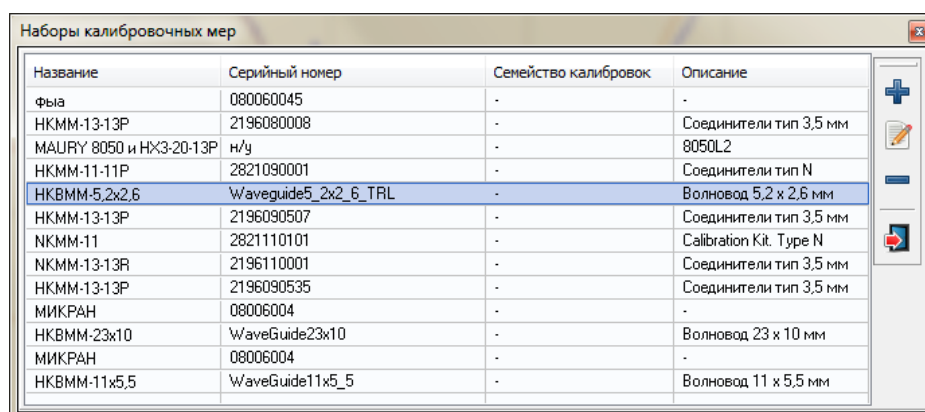
Рисунок 6.4 – Меню калибровки



- добавление файла описания набора в список доступных наборов;
- удаление файла описания набора из списка;
- редактирование выбранного калибровочного набора;
- закрытие окна списка.

В Приложение А рассмотрены редактор наборов (т.е. файлов) калибро-

вочных мер, используемые модели калибровочных мер и способы их описания.



Название	Серийный номер	Семейство калибровок	Описание
Фяа	080060045	-	-
НКММ-13-13P	2196080008	-	Соединители тип 3,5 мм
MAURY 8050 и НКЗ-20-13P	n/y	-	8050L2
НКММ-11-11P	2821090001	-	Соединители тип N
НКВММ-5,2x2,6	Waveguide5_2x2_6_TRL	-	Волновод 5,2 x 2,6 мм
НКММ-13-13P	2196090507	-	Соединители тип 3,5 мм
НКММ-11	2821110101	-	Calibration Kit. Type N
НКММ-13-13P	2196110001	-	Соединители тип 3,5 мм
НКММ-13-13P	2196090535	-	Соединители тип 3,5 мм
МИКРАН	08006004	-	-
НКВММ-23x10	WaveGuide23x10	-	Волновод 23 x 10 мм
МИКРАН	08006004	-	-
НКВММ-11x5,5	WaveGuide11x5_5	-	Волновод 11 x 5,5 мм

Рисунок 6.5 – Управление наборами калибровочных мер

6.2 Выбор метода калибровки

Процесс калибровки начинается с запуска мастера калибровки (меню «Калибровка > Мастер калибровки...», либо «горячая» клавиша «**F6**»). В результате запустится мастер калибровки и предложит выбрать метод калибровки (рисунок 6.6).

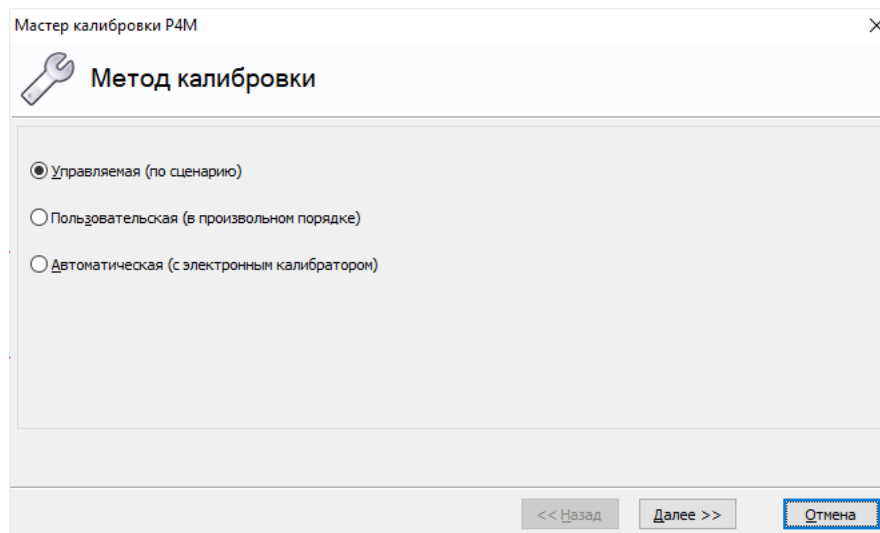


Рисунок 6.6 – Окно мастера калибровки

«**Управляемая**» калибровка предполагает использование набора мер. В процессе калибровки в строгом соответствии со сценарием пользователю будет предлагаться подключить очередную меру калибровки.

«**Пользовательская**» калибровка также предполагает использование набора мер. Мастером калибровки будет предложен перечень шагов калибровки, который можно выполнить в произвольном порядке.

«**Автоматическая**» калибровка выполняется с электронным калибратором.

ром. Мастер калибровки предложит подключиться к электронному калибратору, проверит при необходимости направление подключения и выполнит необходимые переключения калибратора и измерения в автоматическом режиме.

-  Для перехода к следующему шагу калибровочного процесса необходимо нажать кнопку «Далее».
-  Кнопка «Назад» позволяет вернуться на предыдущий шаг настройки и изменить какие-либо параметры.
-  При нажатии на кнопку «Отмена» будет осуществлено закрытие мастера калибровки.

6.3 Выбор калибровочных наборов и типа калибровки

После выбора метода калибровки «Управляемая» либо «Пользовательская» осуществляется переход к шагу «Настройка конфигурации» (рисунок 6.7). Описание данного шага для автоматической калибровки с использованием ЭК представлено в п. 6.5.

Радио-кнопки в группе «Используемые порты» задают используемые при калибровке и измерении порты Р42. Если выбран один из портов – «S₁₁ (порт 1)» или «S₂₂ (порт 2)», то будет измеряться только отражение от исследуемого устройства, подключённого к порту 1 или 2. Если выбрана радио-кнопка «S (порты 1-2)», то измеряться могут как отражение от исследуемого устройства, так и передача через него. Вариант «шум (порт 2)» предназначен для калибровки шумового приёмника (только для Р4226А, см. п. 4.6.7).

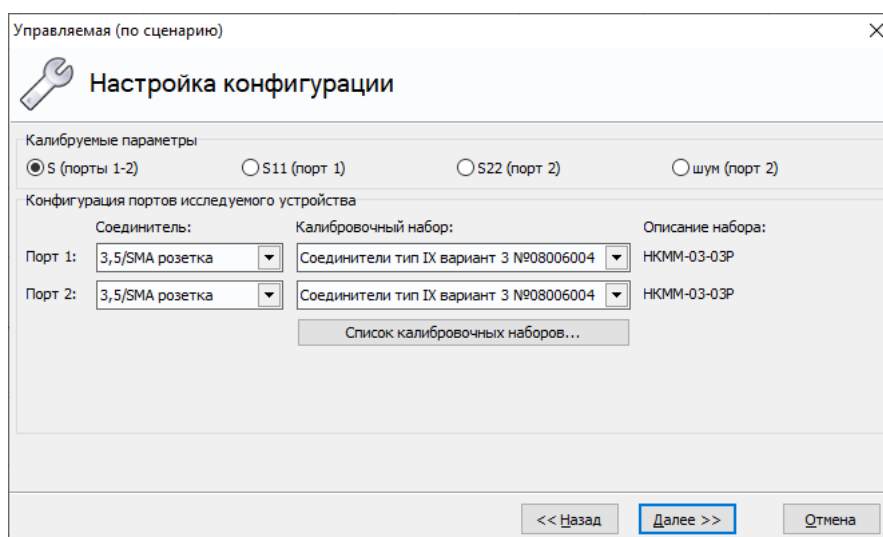


Рисунок 6.7 – Настройка конфигурации

В группе «Конфигурация портов исследуемого устройства» в полях со списком выбираются тип соединителя (IX, III, N, 3,5/SMA и др.) и вид (вилка, розетка, универсальный). В списке доступных типов и видов соединителей отображаются только соединители, использующиеся в доступных файлах опи-

сания наборов калибровочных мер. В автоматической калибровке список соединителей определяется файлом описания калибровочных мер, считанным из электронного калибратора, либо загруженным из файла.

Поле со списком в группе «Калибровочный набор» (рисунок 6.7) позволяет выбрать набор для предстоящей калибровки. В списке отображаются только те наборы, которые имеют в своём составе меры с соединителями, совпадающими с соединителями исследуемого устройства (если не используется метод калибровки «пользовательская»). Кнопка «Список калибровочных наборов ...» открывает соответствующее окно (рисунок 6.5).

После задания конфигурации калибровки и нажатия кнопки «Далее» отобразится окно с настройками параметров калибровки (рисунок 6.8). Описание вариантов и типов калибровок, а также их параметров, представлены в п. 6.4.

В случае если ранее выбранный калибровочный набор не позволяет выполнить калибровку в установленном частотном диапазоне, мастер отобразит соответствующее сообщение и предложит изменить частотные параметры (рисунок 6.9).

После нажатия кнопки «Далее» происходит переход непосредственно к процессу калибровки, состоящему из одного или нескольких шагов (рисунок 6.10 или 6.11). Пользователю необходимо следовать инструкциям мастера калибровки.

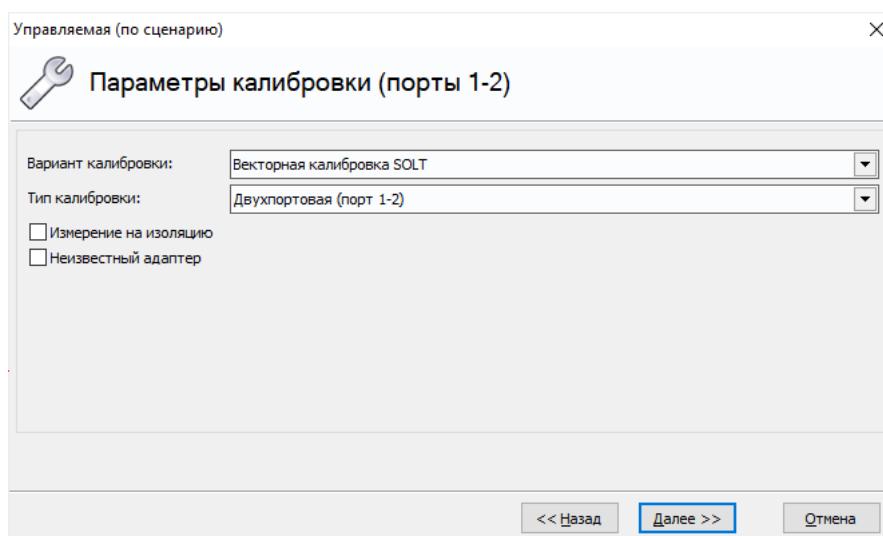


Рисунок 6.8 – Выбор типа калибровки

! При выполнении «Управляемой» калибровки обращайте внимание на типы нагрузок, подключаемых к соединителям измерительных портов.

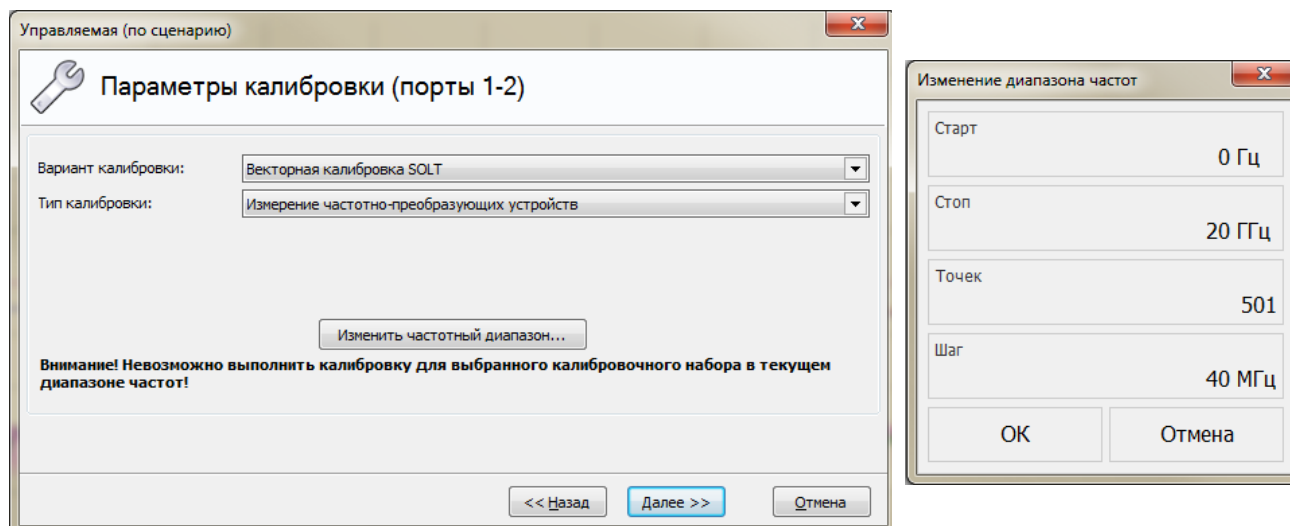


Рисунок 6.9 – Ситуация с необходимостью изменения частотного диапазона

! При выполнении «Пользовательской» калибровки не контролируется соответствие соединителей калибровочных мер соединителям измерительных портов – пользователь должен самостоятельно выбрать подходящую меру.

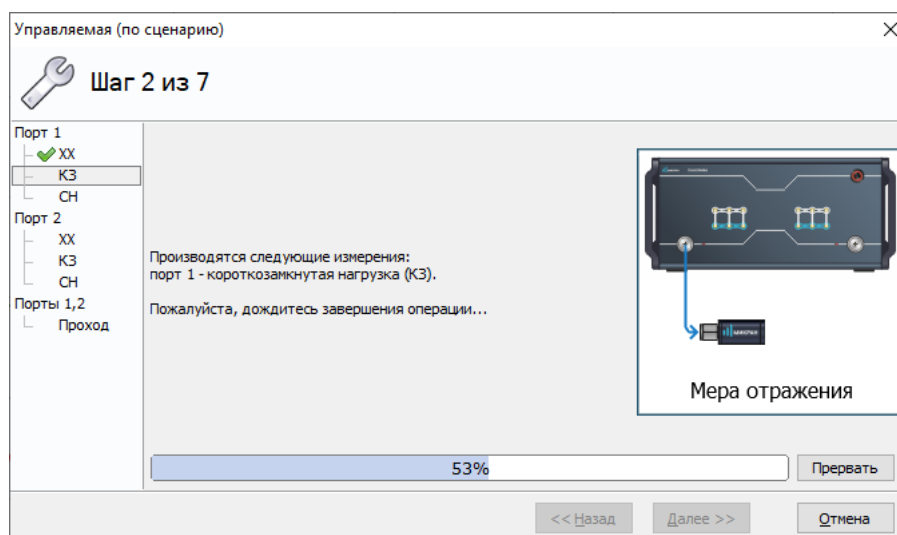


Рисунок 6.10 – Шаги «Управляемой» калибровки

В «управляемой» калибровке при необходимости можно произвести повторное измерение одного или нескольких шагов, перейдя на них с помощью кнопки «Назад». При этом появится необходимость повторения измерений всех промежуточных шагов. В «пользовательской» калибровке данные требования отсутствуют в связи с произвольным порядком и количеством измерений. При достижении минимально требуемого количества измерений (помечаются зелё-

ной «галочкой») процесс калибровки можно завершить.

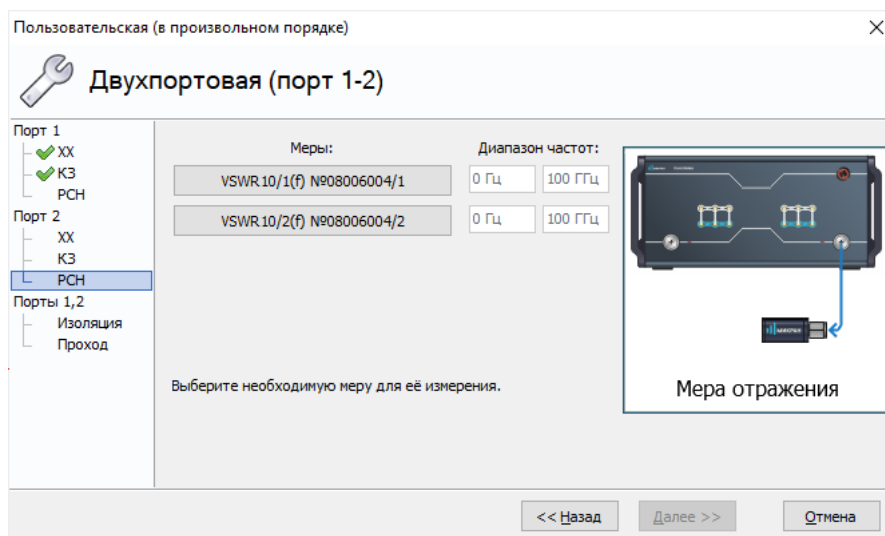


Рисунок 6.11 – Шаги «Пользовательской» калибровки

Для расчёта и применения калибровочных данных следует нажать кнопку «Готово». При необходимости можно воспользоваться функцией сохранения калибровочных данных (см. п. 6.8). Статус калибровки отображается в окне «Калибровка > Информация о калибровках ...», рисунок 6.12.

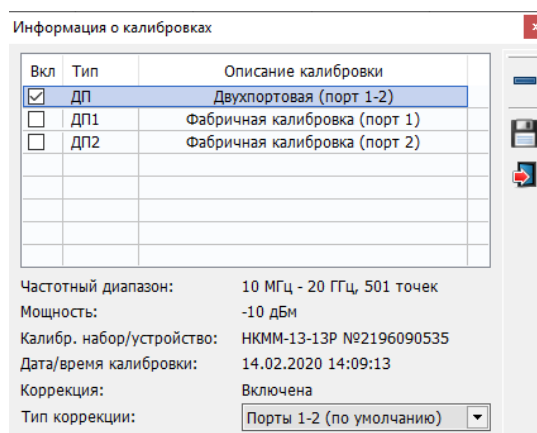


Рисунок 6.12 – Окно информации о калибровках

Данное окно предназначено для отображения информации обо всех выполненных калибровках с возможностью сохранить или удалить выделенную калибровку, а также отключить или изменить тип коррекции данных.

6.4 Типы калибровок

Погрешности измерений обусловлены шумами, помехами и неидеальностью аппаратуры. Значительная часть неидеальностей аппаратуры постоянна во времени и проявляется в виде систематических ошибок в результатах измерений. Для компенсации систематических ошибок используется модель ошибок,

включающая 12 параметров (факторов ошибок), которые вычисляются в процессе калибровки (подробнее см. приложение с описанием формул для коррекции S-параметров и расчету ПГ ч. I настоящего РЭ).

В ПО *Graphit* предусмотрены следующие типы калибровок:

- Калибровка частотной неравномерности:
 - нормировка коэффициента отражения;
 - нормировка коэффициента передачи.
- 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 тип калибровки и коррекции. В процессе калибровки запоминается последовательность, характеризующая частотную неравномерность тракта передачи или тракта отражения. Коррекция заключается в делении измеренных величин на значения, сохранённые при калибровке.

Однопортовая векторная калибровка применяется перед измерением отражения от устройств. При измерении устройств, подключённых к обоим портам Р42, однопортовая калибровка компенсирует лишь 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 (опционально).

 *Р42 «Панорама» содержит 2 фабричные двухпортовые векторные калибровки в одном направлении, записанные во внутреннюю память измерительного блока. Они используются для коррекции измеренных S-параметров до выполнения соответствующей калибровки пользователем, после чего автоматически отключаются (см. рисунок 6.12).*

Полная двухпортовая векторная калибровка (SOLT калибровка) в обоих направлениях компенсирует 10 факторов ошибок (исключая изоляцию) или все 12 (о погрешностях измерений и факторах ошибок см. приложение с описанием формул для коррекции S-параметров и расчету ПГ ч. I настоящего РЭ). Коррекция результатов измерения после выполнения полной двухпортовой

калибровки требует поочерёдного зондирования в прямом и обратном направлениях, поэтому измерения могут выполняться вдвое медленнее, чем в других вариантах калибровки.

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

Для S -параметров, отличающихся направлением зондирования, могут применяться калибровочные данные разного типа. 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.

6.4.1 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 6.13), в ходе которой измеренные значения запоминаются в качестве калибровочных данных. Дополнительно может быть измерена изоляция между портами.



Рисунок 6.13 – Калибровка на проход

Последовательность калибровки для нормировки коэффициента передачи:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).

Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В по-

явившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)».

При необходимости задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер, и нажмите кнопку «Далее».

Шаг 3. Выберите вариант «Калибровка частотной неравномерности» и тип калибровки «Частотная неравномерность на проход», как показано на рисунке 6.14. Номер порта 1 соответствует зондированию в прямом направлении, 2 – в обратном.

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, соединяющее порты P42. В этом случае результат коррекции будет представлять собой отличие коэффициента передачи исследуемого устройства от коэффициента передачи устройства, на которое выполнялась калибровка, что часто применяется при настройке по образцу.

Установка флажка «Измерение изоляции» позволит измерить и учесть при коррекции результатов измерений изоляцию между измерительными портами.

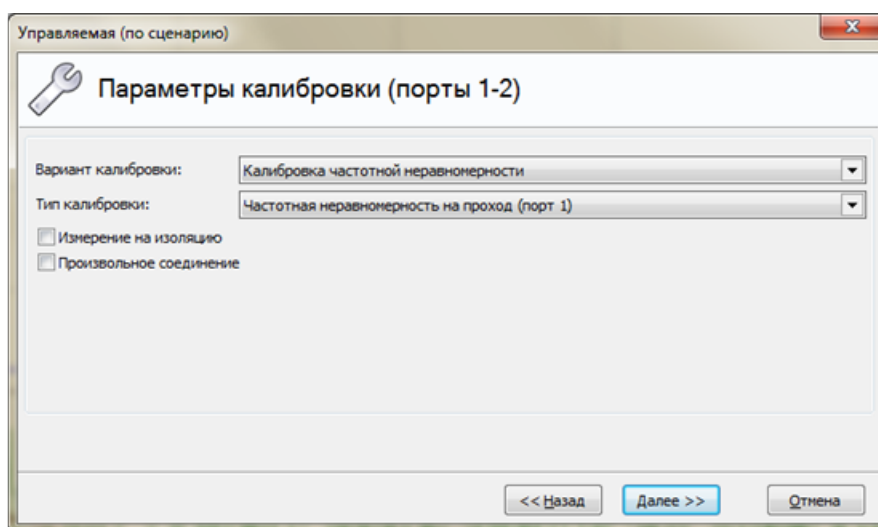


Рисунок 6.14 – Параметры нормировки на проход

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит соединить измерительные порты, как показано на рисунке 6.13, 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, как показано на рисунке 6.20.

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

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках ...» появится информация о проведённой калибровке и её типе (рисунок 6.12). Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров от выбранной калибровки.

Нормировка коэффициента отражения может выполняться на величину отражения от одной из нагрузок – нагрузки холостого хода (ХХ), короткозамкнутой (КЗ) или произвольной (с неизвестными параметрами). Кроме того нормировка может выполняться на среднее (точнее полуразность) 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 6.15.



Рисунок 6.15 – Калибровка на ХХ и КЗ

Последовательность калибровки для нормировки коэффициента отражения:

- Шаг 1.** Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).
- Шаг 2.** Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После

нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S11 (порт1)» или «S22 (порт2)».

При необходимости задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер, и нажмите кнопку «Далее».

Шаг 3. В поле со списком «Тип калибровки» выберите вариант «Частотная неравномерность по отражению», как показано на рисунке 6.16.

Флажки «Нагрузка ХХ», «Нагрузка КЗ» и «Произвольная нагрузка» задают меры, на которых будет выполнена калибровка. Установка флажка «Нагрузка ХХ» или «Нагрузка КЗ» сбрасывает флажок «Произвольная нагрузка» и наоборот.

В зависимости от выбранных нагрузок мастер калибровки в последующих шагах предложит подключить те или иные меры. Если используются нагрузки ХХ и/или КЗ, то их параметры будут прочитаны из набора калибровочных мер. При установленном флажке «Произвольная нагрузка» в качестве меры на отражение будет использоваться произвольное устройство (с неизвестным коэффициентом отражения), подключённое к измерительному порту. В этом случае результат коррекции будет представлять собой отличие коэффициента отражения исследуемого устройства от коэффициента отражения устройства, на которое выполнялась калибровка, что может применяться при настройке по образцу.

Флажок «Согласованная нагрузка» отображается, если в калибровочном наборе есть согласованная нагрузка с подходящим соединителем. Установка флажка позволит измерить и учесть при коррекции направленность измерительного порта.

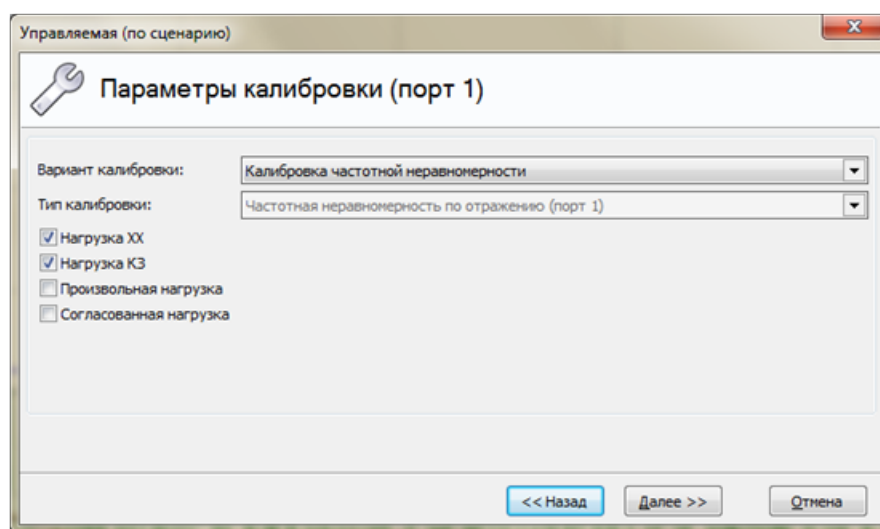


Рисунок 6.16 – Параметры нормировки на отражение

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки. Мастер калибровки 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 в окне «Информация о калибровках ...» появится информация о проведенной калибровке и её типе (рисунок 6.12). Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров от выбранной калибровки.

Для получения информации о формулах и дополнительных комментариев к различным вариантам нормировки см. приложение с описанием формул для коррекции S-параметров и расчету ПГ ч. I настоящего РЭ.

6.4.2 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 6.18.

Последовательность однопортовой калибровки:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами P42 указано в разделе 7).

Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S11 (порт 1)» или «S22 (порт 2)».

При необходимости задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер, затем нажмите кнопку «Далее».

Шаг 3. В поле со списком «Тип калибровки» выберите вариант «Однопортовая», как показано на рисунке 6.17.

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки.

Мастер калибровки предложит подключить к измерительному порту нагрузки ХХ, КЗ (рисунок 6.18), а также согласованную или рассогласо-

ванную нагрузку в зависимости от того, какая из них имеется в наборе калибровочных мер.

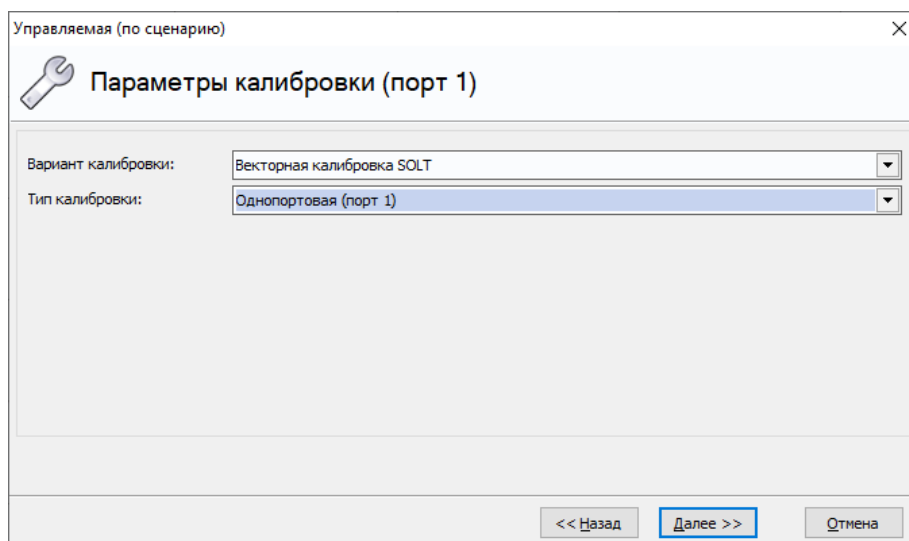


Рисунок 6.17 – Выбор однопортовой калибровки

По окончании калибровки вычисляются значения трёх факторов ошибок, которые будут использованы при коррекции измеренного параметра отражения.



Рисунок 6.18 – Однопортовая калибровка

Для векторных калибровок существует понятие **плоскости калибровки** (англ.: *Reference plane*) – сечение коаксиального или волноводного тракта, в котором компенсируются все задержки. Фаза отражённого от этой точки (или проходящего через эту точку) сигнала после коррекции равна фазе зондирующего сигнала, а фаза их отношения равна нулю. Во временной области плоскость калибровки соответствует началу координат.

Плоскость калибровки проходит через разъём, к которому во время калибровки подключались калибровочные меры. Однако плоскость калибровки может быть перемещена использованием программных функций встраивания и исключения цепей (см. п. 7.7).

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

Последовательность двухпортовой калибровки в одном направлении:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).

Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)».

При необходимости задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер. Нажмите кнопку «Далее». Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 3. В поле со списком «Тип калибровки» выберите вариант «Двухпортовая (порт 1)» или «Двухпортовая (порт 2)», как показано на рисунке 6.19.

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

Состояние флажка «Коррекция для взаимных¹⁾ устройств» не влияет

¹⁾Взаимными называются устройства, для которых $S_{21}=S_{12}$.

на процесс калибровки и используется только во время измерений.

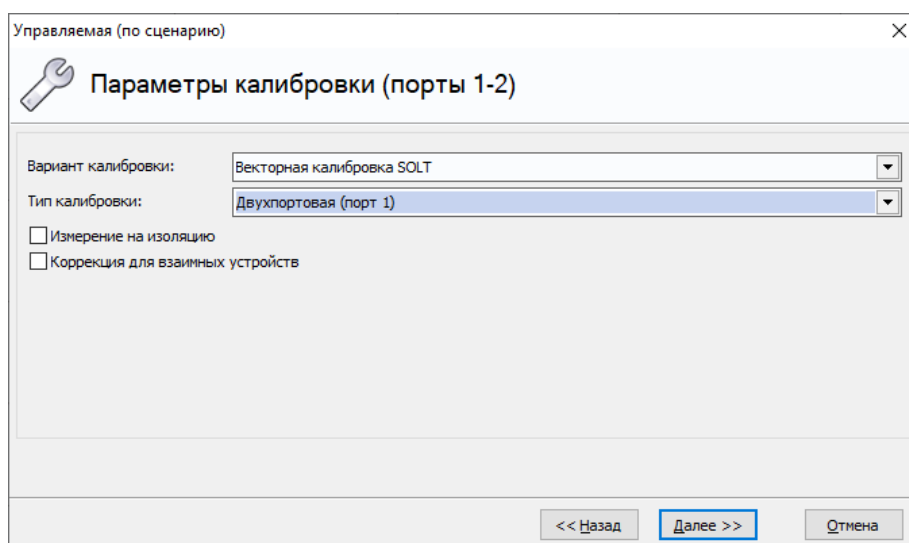


Рисунок 6.19 – Выбор двухпортовой калибровки в одном направлении

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровок.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту нагрузки XX, КЗ (рисунок 6.18), а также согласованную или рассогласованную нагрузку в зависимости от того какая из них имеется в наборе калибровочных мер. Если в предыдущем шаге было задано измерение изоляции, то будет предложено подключить согласованные или рассогласованные нагрузки к обоим измерительным портам, как показано на рисунке 6.20.

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

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 к нулю.

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках ...» появится информация о проведённой калибровке и её типе, рисунок 6.12. Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

При измерении отражения от входа исследуемого устройства и установленном флажке «Коррекция для взаимных устройств» компенсируется отражение от измерительного порта, к которому подключён выход ИУ. На рисунке 6.21 показаны результаты измерения коэффициента отражения от полосового фильтра. Более гладкая трасса получена с установленным флажком

«Коррекция для взаимных устройств». На измерение коэффициента передачи состояние флажка «Коррекция для взаимных устройств» не оказывает никакого влияния.



Рисунок 6.20 – Измерение изоляции между портами

При сохранении калибровочных данных (см. п. 6.8) состояние флажка «Коррекция для взаимных устройств» не сохраняется и, соответственно, при чтении калибровочных данных не восстанавливается. Изменить настройку «Коррекция для взаимных устройств» можно в окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12), выбрав из выпадающего списка «Тип коррекции» соответствующее значение.

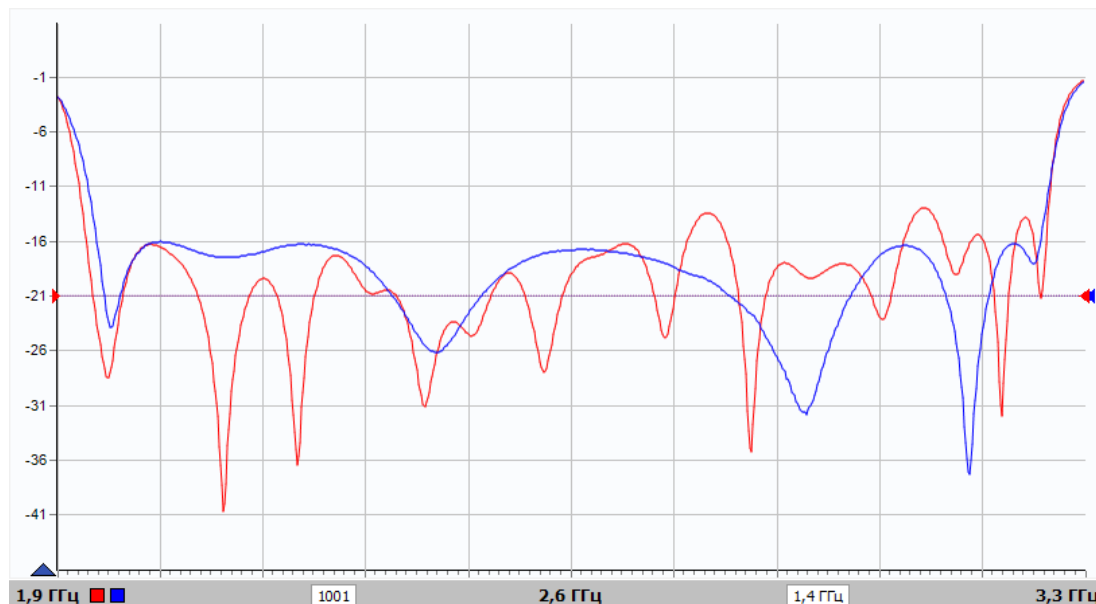


Рисунок 6.21 – Результат компенсации отражения от полосового фильтра

6.4.4 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.** Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).
- Шаг 2.** Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)».

При необходимости задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер, затем нажмите кнопку «Далее».

- Шаг 3.** В поле со списком «Тип калибровки» выберите «Двухпортовая (порт 1-2)», как показано на рисунке 6.22.

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

Установка флажка «Неизвестный адаптер» используется в случае отсутствия описания перемычки между портами в калибровочном наборе.

- Шаг 4.** Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительным портам нагрузки ХХ, КЗ, а также согласованную или рассогласованную нагрузку в зависимости от того, какая из них имеется в наборе калибровочных мер. Если в предыдущем шаге было задано измерение изоляции, то будет предложено подключить согласованные или рассогласованные нагрузки к обоим измерительным портам, как показано на рисунке 6.20.

На последнем этапе калибровки будет предложено соединить измерительные порты на проход непосредственно (если соединители позволяют), либо через коаксиальный переход из калибровочного набора, либо используя произвольный соединительный элемент (при этом должен быть установлен флажок «Неизвестный адаптер» в окне калибровки).

После окончания калибровки вычисляются значения 12 факторов ошибок. Если в процессе калибровки не была измерена изоляция (например, по причине

отсутствия двух согласованных нагрузок), то ошибки изоляции приравняются к нулю. В окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12) отображается статус калибровки.

 Для полной двухпортовой калибровки в окне «Информация о калибровках ...» доступна настройка «**Тип коррекции**», позволяющая использовать только прямое («S11 (порт 1)») или обратное («S22 (порт 2)») зондирование при отсутствии необходимости двух проходов.

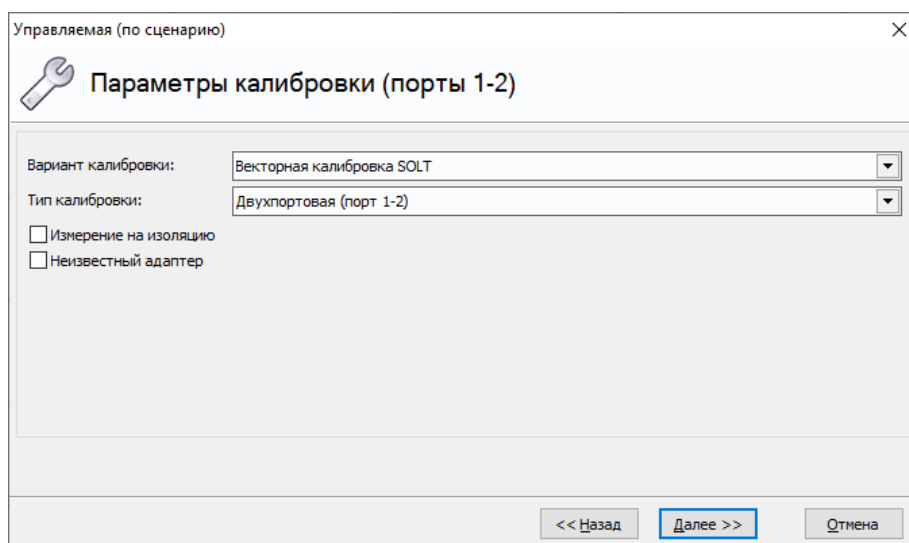


Рисунок 6.22 – Выбор полной двухпортовой калибровки

6.4.5 Калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств

Калибровка Р42 для измерений параметров частотно-преобразующих устройств¹⁾ (или просто **векторная калибровка смесителей**) включает:

- полную двухпортовую калибровку на частотах первого f_1 и второго f_2 портов;
- измерение параметров калибровочного смесителя;
- калибровка на проход с преобразованием частоты.

Последовательность калибровки:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон первого порта, количество точек и мощность зондирования (см. п. 5.1 «Установка параметров измерения»), а

¹⁾Для Р4213 и Р4226 требуется опция СПА.

также фильтр ПЧ. При необходимости установите значения аттенюаторов и смещение мощности порта 2 в окне «Конфигурация портов» (см. рисунок 5.5).

- Шаг 2.** Создайте измерительные трассы для «измерений» параметров исследуемого устройства, которые требуется измерить, в необходимом формате.
- Шаг 3.** Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая» или «Автоматическая». Если была выбрана «Автоматическая» калибровка, то сначала появится окно подключения к электронному калибратору. После подключения к калибратору в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)». При необходимости задайте соединители ИУ и набор калибровочных мер. Нажмите кнопку «Далее».
- Шаг 4.** В поле со списком «Тип калибровки» выберите вариант «Измерение частотно-преобразующих устройств». На этом же шаге мастера калибровки требуется уточнить вид разъёма выхода ПЧ калибровочного смесителя – в случае, если он отличается от разъёма порта 2 ИУ, может потребоваться подбор дополнительных мер из калибровочного набора. Нажмите кнопку «Далее».
- Шаг 5.** В появившемся диалоговом окне, представленном на рисунке 6.23, задайте параметры преобразования частоты.

Поля ввода «F1» и «P1» недоступны для изменения, и содержат диапазон частот и мощность зондирующего сигнала первого порта. Чтобы изменить эти параметры, следует закрыть мастер калибровки и вернуться к шагу1.

В полях ввода «FГ» и «PГ» задаётся диапазон частот и мощность внешнего генератора (гетеродина).

В полях ввода, расположенных правее метки «F2=», задаются коэффициенты преобразования a , b , c и d , определяющие значение преобразованной частоты f_2 :

$$f_2 = \frac{a}{b} \times f_1 + \frac{c}{d} \times f_{\Gamma} + f_{\text{см}}, \quad (34)$$

где a – множитель частоты первого порта такая-то величина;

b – делитель частоты первого порта;

f_{Γ} – частота гетеродина (при отсутствии внешнего гетеродина в множитель c задаётся равным нулю);

c – множитель частоты гетеродина;
 d – делитель частоты гетеродина;
 $f_{\text{см}}$ – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;
 f_1 – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;
 f_2 – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта.

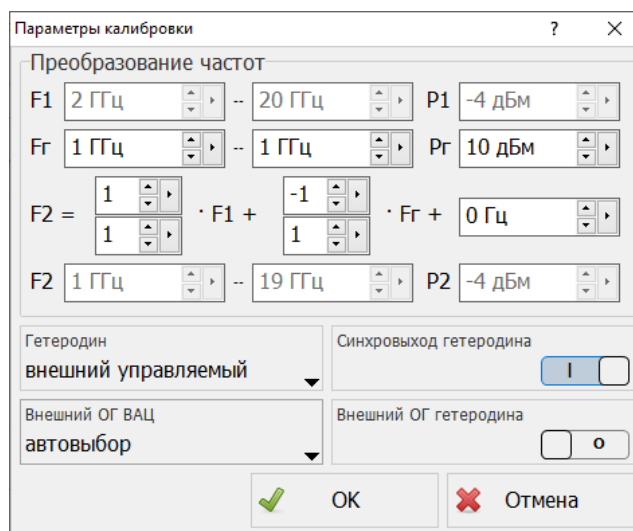


Рисунок 6.23 – Параметры калибровки с преобразованием частоты

В недоступных для записи полях «F2» отображается диапазон преобразованных частот f_2 .

В недоступном для записи поле «P2» отображается мощность зондирования вторым портом, равная мощности зондирования первым портом плюс «Смещение мощности» для порта 2, задаваемое в окне «Конфигурация портов» (по умолчанию 0 дБ).

i Параметры преобразования дополнительно отображаются на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 4.14-в). При наличии калибровочных данных векторной калибровки смесителей переключатель «Векторная коррекция» находится в положении «ВКЛ», а переключатель «Преобразование» выключен (используется для «ручного» управления смещением частоты приёмников с опцией СЧП для P4213 и P4226, описанного в п. 7.10.3 «Измерение параметров смесителей/умножителей со скалярной калибровкой»).

! Изменение параметров преобразования без проведения повторной калибровки приведёт к искажениям расчётных данных в случае несоответствия частотных диапазонов калибровки и измерения.

При использовании в качестве генератора приборов серии Г7М, Р2М или PLG рекомендуется выбрать «внешний управляемый» гетеродин. В таком случае мастер калибровки автоматически произведёт

настройку его параметров.

При использовании в качестве генератора измерительных приборов сторонних производителей следует выбрать «внешний неуправляемый» гетеродин и настроить синхронизацию между измерительными приборами самостоятельно. При этом выход синхронизации Р42 находится в режиме «следующая точка», а вход – «начало измерения». В том случае, если синхронизация не достигнута, например, гетеродин имеет уникальные режимы синхронизации, следует отключить тумблер «Синхровыход гетеродина».

Настройки «Внешний ОГ ВАЦ» и «Внешний ОГ гетеродина» определяют использование сигнала внешней опорной частоты в Р42 и генераторе.

Если выбран «внешний управляемый» гетеродин, то после ввода необходимых параметров и нажатия кнопки «ОК» появится диалоговое окно подключения к внешнему генератору.

Шаг 6. После подключения к внешнему генератору следуйте инструкциям мастера калибровок (рисунок 6.24).

Первые 6 шагов калибровки производятся без «калибровочного» смесителя с использованием наборов калибровочных мер (рисунок 6.25) или электронного калибратора (рисунок 6.26).

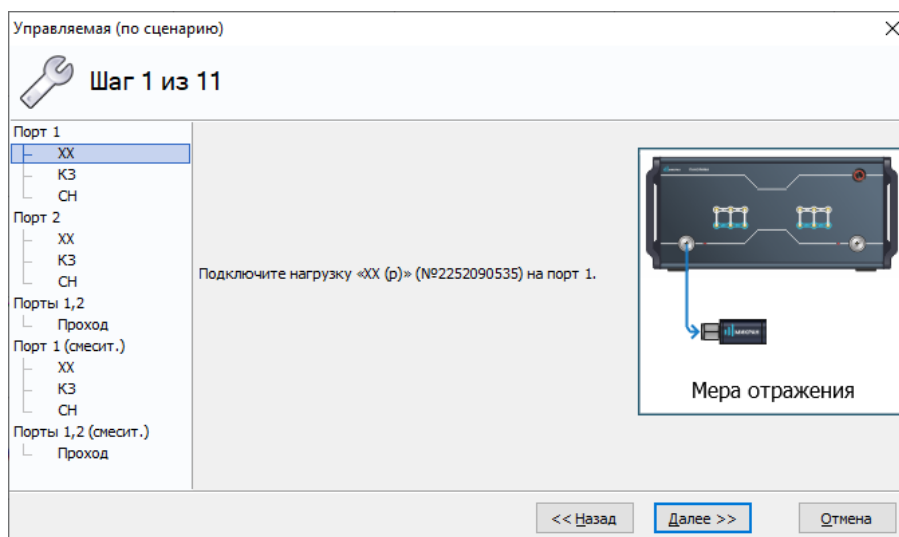


Рисунок 6.24 – Этапы калибровки с преобразованием частоты

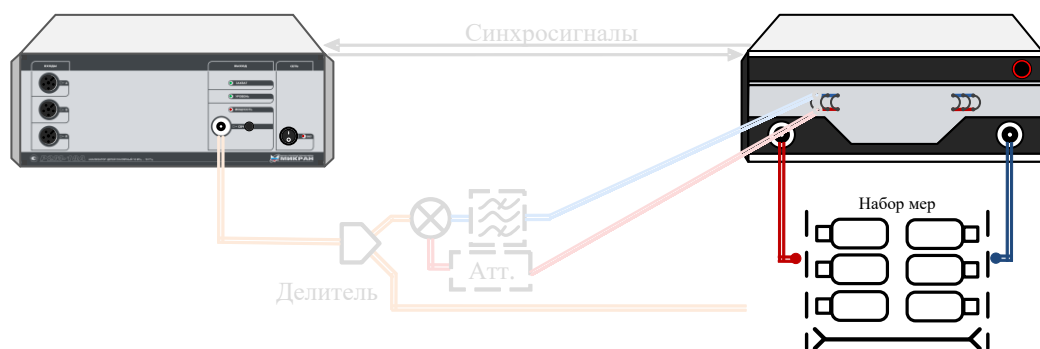


Рисунок 6.25 – Схема подключения при калибровке с набором калибровочных мер (Шаг 1–Шаг 6)

Шаг 7. Подключить к первому порту «калибровочный» смеситель, как показано на рисунке 6.27 или рисунке 6.29 (в случае использования электронного калибратора).

! На этапе измерения параметров отражения калибровочного смесителя должны использоваться те же самые меры, что и при калибровке первого порта (рисунок 6.25). В данном случае может потребоваться переход, если пара «калибровочный» смеситель/фильтр имеют внешние соединители одного вида – «вилка-вилка» или «розетка-розетка».

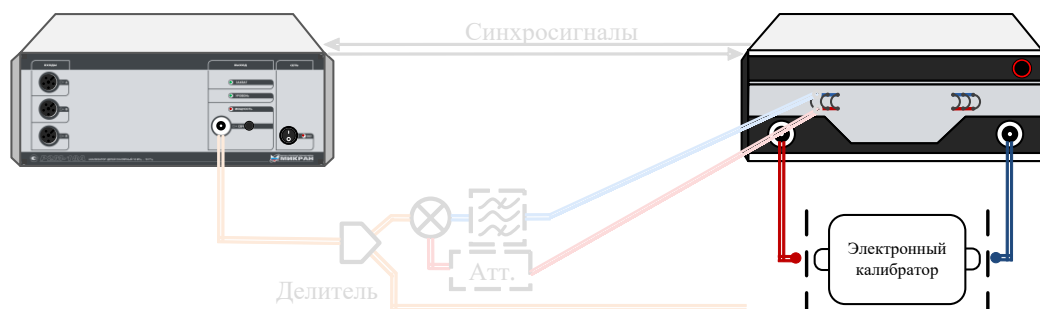


Рисунок 6.26 – Схема подключения при калибровке с электронным калибратором (Шаг 1–Шаг 6)

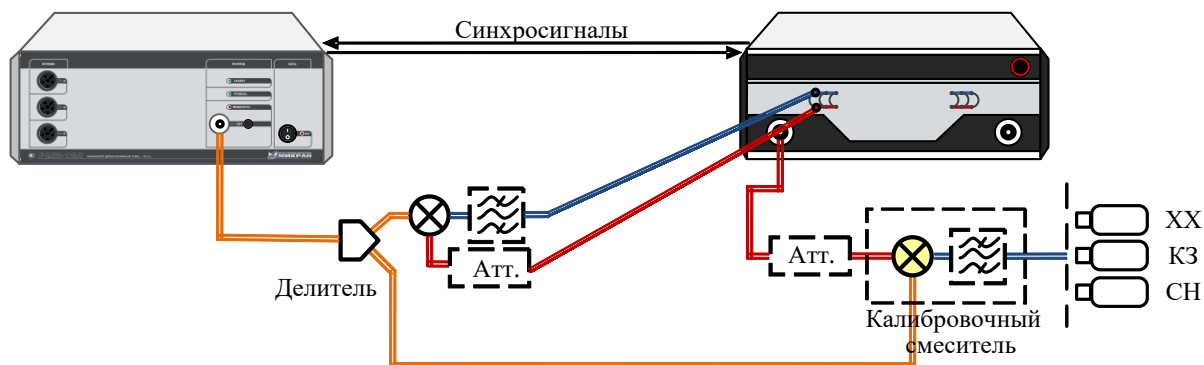


Рисунок 6.27 – Схема измерения параметров отражения «калибровочного» смесителя (Шаг 7)

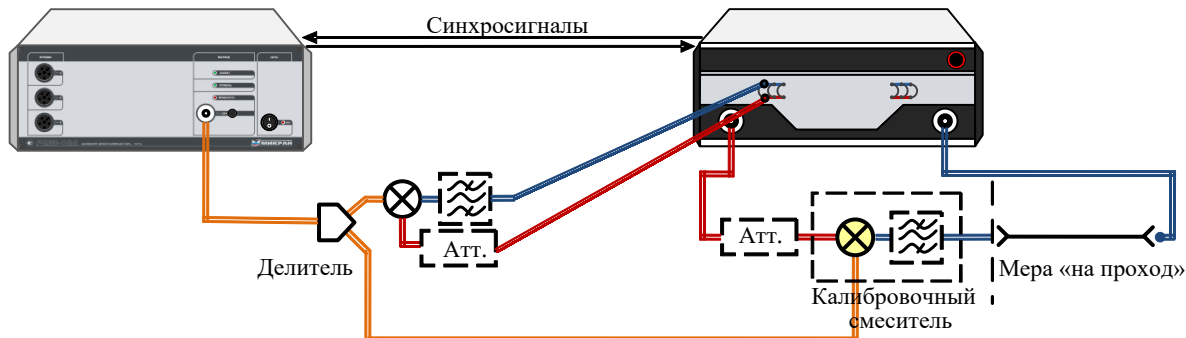


Рисунок 6.28 – Схема измерения параметров передачи «калибровочного» смесителя (Шаг 7)

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках ...» появится информация о проведенной калибровке и её типе (рисунок 6.12). Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

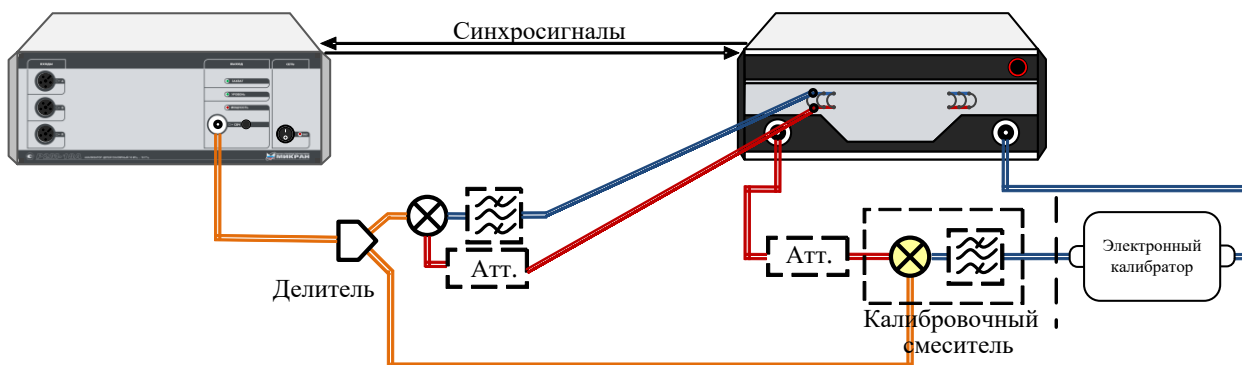


Рисунок 6.29 – Схема измерения «калибровочного» смесителя с электронным калибратором (Шаг 7)

6.4.6 Калибровка коэффициента шума (для P4226A)

Под калибровкой КШ P42 понимается, прежде всего, измерение собственных коэффициентов передачи и шума шумового приёмника – так называемая **скалярная калибровка**. **Векторная калибровка** подразумевает измерение шумовых параметров шумового приёмника P42.

Скалярная калибровка. Для проведения скалярной калибровки измерений коэффициента шума достаточно, чтобы флажок «Векторная калибровка КШ» в мастере калибровки был снят (см. рисунок 6.31). Во время скалярной калибровки производится измерение уровня собственного шума и коэффициента передачи тракта P42.

Векторная калибровка. В процессе векторной калибровки производится измерение шумовых параметров P42, что делает возможным исключение влияния выходного импеданса исследуемого устройства, и, как следствие, повысить точность измерения.

 В ПО Graphit реализован вариант калибровки относительно ГШ; рекомендуется использовать генераторы шума с ИОШТ (ENR) более 10 дБ (в противном случае можно на выход ГШ подключить дополнительный усилитель, предварительно измерив модуль его коэффициента передачи и соответствующим образом откорректировав ИОШТ ГШ; следует иметь в виду, что при этом погрешность ИОШТ увеличится).

Скалярная и векторная калибровки (или измерения) КШ могут проводиться с учетом отражений или без, а также могут быть использованы при измерениях на зондовой станции, в зависимости от установленных флажков (см. рисунок 6.31). Эти дополнительные настройки калибровки/измерения КШ, описанные далее, могут улучшить её качество, но требуют проведения дополнительных измерений и/или наличия калибровочных данных S -параметров P42.

«Учёт отражения от ГШ» при наличии коррекции КО порта 2 (т.е. коррекции параметра S_{22}) позволяет измерить и учесть коэффициент отражения от ГШ во время калибровки. Калибровку S_{22} можно выполнить как в составе полной двухпортовой калибровки (см. п. 6.4.4) в случае необходимости измерения полного набора S -параметров ИУ, так и в виде упрощённой однопортовой калибровкой порта 2 (см. п. 6.4.2).

«Учёт отражения от шумового приёмника ВАЦ» при наличии коррекции КО порта 1 (т.е. коррекции параметра S_{11}) и проведением дополнительного измерения «на проход» позволяет вычислить и учесть коэффициент отражения от шумового приёмника. Калибровку S_{11} можно выполнить как в составе полной двухпортовой калибровки (см. п. 6.4.2) в случае необходимости измерения полного набора S -параметров ИУ, так и в виде упрощённой однопортовой калибровкой порта 1 (см. п. 6.4.2).

«Измерение на зондовой станции» позволяет осуществить перенос плоскости калибровки из сечения коаксиального тракта, используемого для калиб-

ровки ГШ, в сечение зондов, в котором производится калибровка S-параметров (при помощи нагрузок на пластинах) и дальнейшие измерения.

И Калибровка КШ с дополнительными вариантами калибровки/измерения использует факторы ошибок калибровки S-параметров. Для удобства пользователя и при измерениях на зондовой станции порядок выполнения обеих калибровок можно изменять – выполнить калибровку КШ в первую очередь, применив её после калибровки S-параметров. В таком случае пользователю будет выдано оповещение перед началом процесса калибровки (рисунок 6.30), а на боковой панели будет отображён особый статус значка ( или ) коррекции КШ.

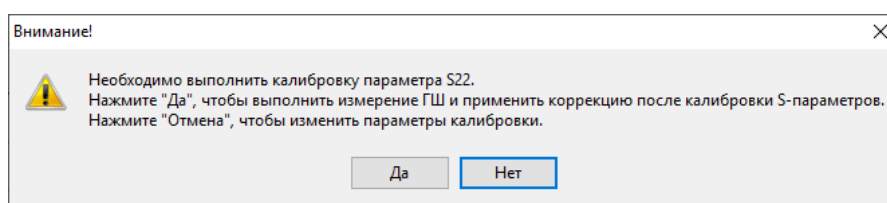


Рисунок 6.30 – Пример оповещения пользователя при калибровке КШ с установленными дополнительными флажками в окне калибровки

Следует отметить, что если при шумовой калибровке флажок «Векторная калибровка установлен», а все остальные флажки сняты, то по её итогам найдутся шумовые параметры P42 без учёта коэффициента отражения от порта 2 в режиме шумового приёмника и без учёта отражения от ГШ (т.е. коэффициенты отражения ГШ и шумового приёмника считаются равными единице).

Для проведения измерения коэффициента шума потребуются:

- анализатор P4226A;
- генератор шума;
- набор калибровочных мер или электронный калибратор (только при учёте отражений и (или) векторной калибровке, и (или) измерении на зондовой станции).

Последовательность калибровки КШ:

- Шаг 1.** Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами P42 указано в разделе 7).
- Шаг 2.** На панели управления «Измерение шума» (рисунок 4.14-б) установите параметры шумового приёмника – усиление шумового тракта, фильтр разрешения и усреднение в приборе в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 7.12.

Шаг 3. (необязательный) Для учёта отражений или векторной калибровки (флажки «Учёт отражения от ГШ», «Учёт отражения от шумового приёмника ВАЦ» или «Векторная калибровка») выполните или загрузите из файла калибровку соответствующих S -параметров (см. описание в начале данного пункта).

Шаг 4. Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.7) выберите радио-кнопку «шум (порт 2)».

Для использования функций «Учёт отражения от шумового приёмника ВАЦ» (требуется измерение меры «на проход») или «Векторная калибровка» задайте соединители исследуемого устройства и набор калибровочных мер. Нажмите кнопку «Далее». Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 5. Установить необходимые флажки в окне калибровки и задать характеристику ИОШТ генератора шума (рисунок 6.31).

При нажатии на кнопку «Характеристика ГШ (ИОШТ)» откроется окно редактирования характеристики. Табличные данные можно заполнить вручную или загрузить из файлов с расширениями *ngd* и *enr*. В случае, когда таблица содержит только одно значение частоты, это значение ИОШТ будет использоваться для всего частотного диапазона. Для применения изменений необходимо нажать кнопку «ОК». Нажмите кнопку «Далее» для перехода непосредственно к процессу калибровки.

Шаг 6. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки.

Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту ГШ для измерения его шума во включённом и выключенном состояниях (рисунок 6.32).

При установленном флажке «Учёт отражения от шумового приёмника ВАЦ» потребуется соединить порты «на проход».

Для векторной калибровки мастер калибровки предложит подключить ко второму порту P42 пять произвольных мер (рисунок 6.33). Произвольными мерами послужат устройства с существенно различающимся согласованием. Можно использовать меры XX, K3, CH (PCH) из калибровочного набора, четвёртой и пятой мерой послужат XX, K3,

соединённые с портом P42 через аттенуатор небольшого номинала (3...10 дБ).

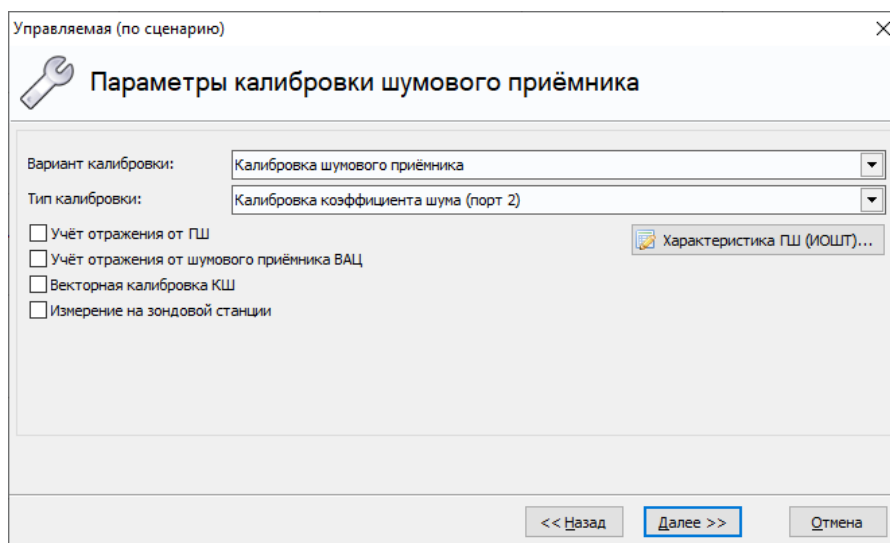


Рисунок 6.31 – Настройка калибровки КШ

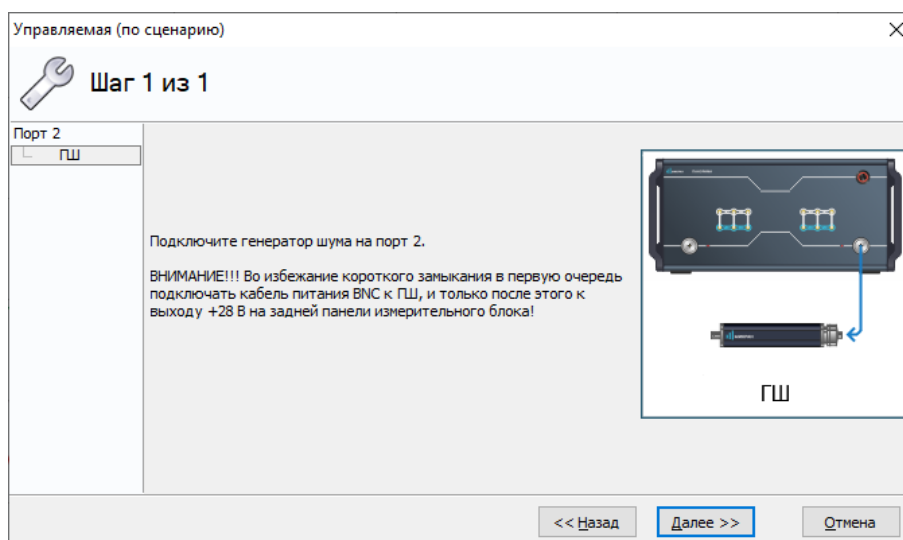


Рисунок 6.32 – Процесс скалярной калибровки КШ без дополнительных функций (без установки флажков в окне калибровки)

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках ...» появится информация о проведённой калибровке и её типе, рисунок 6.12. Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

Последовательность калибровки КШ в режиме «Измерение на зондовой станции» отличается от вышеописанного алгоритма следующим:

- калибровка S -параметров в сечении зондов производится **после калибровки КШ**; соответствующая инструкция будет отображена на последнем этапе мастера калибровки;
- при калибровке КШ требуется измерение 3 мер XX, КЗ и СН (РСН); для векторного варианта калибровки общее число мер также будет увеличено до 5 (рисунок 6.34), четвёртой и пятой мерой послужат XX и КЗ, соединённые с портом P42 через аттенюатор небольшого номинала (3...10 дБ).

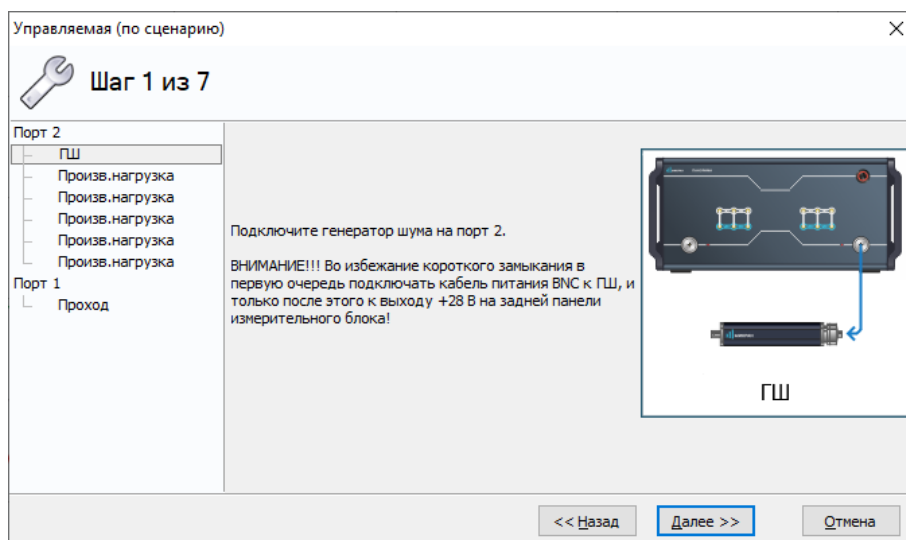


Рисунок 6.33 – Процесс векторной калибровки КШ с учётом отражения от шумового приёмника

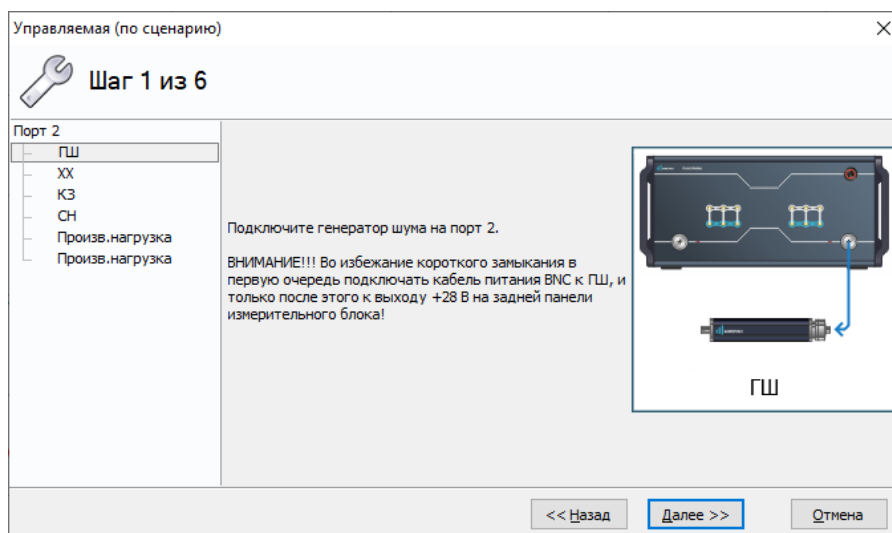


Рисунок 6.34 – Процесс векторной калибровки КШ с функцией измерения на зондовой станции

6.5 Автоматическая калибровка

«Автоматическая» калибровка выполняется с электронным калибратором серии Р4М-ЭК. Мастер калибровки предложит подключиться к калибратору, проверит подключённые порты и выполнит необходимые переключения и измерения в автоматическом режиме.

Для автоматической калибровки электронный калибратор должен быть подключён к USB-порту компьютера и к используемым портам Р42.

 **Установка драйвера** модуля автоматической калибровки производится в момент установки ПО Graphit; при первом подключении модуля к USB-порту компьютера может потребоваться некоторое время для инициализации устройства. Для ручной установки файл драйвера «micrecal.inf» поставляется на flash-накопителе в комплекте поставки электронного калибратора.

После выбора метода калибровки «Автоматическая» (рисунок 6.6) и нажатия кнопки «Далее» появится окно подключения к электронному калибратору (такое же, как и при подключении к Р42).

После подключения к калибратору и автоматического чтения файла описания калибровочных мер из его встроенной памяти следует шаг настройки конфигурации (рисунок 6.36). При невозможности чтения из встроенной памяти калибратора или при необходимости использования альтернативного описания электронного калибратора (с учётом некоторой оснастки – переходов, зондов и т.п.) файл описания калибровочных мер может быть загружен с диска или другого цифрового носителя. При установке флажка «Использовать файл описания» (рисунок 6.36) откроется диалоговое окно открытия файла с альтернативным описанием мер электронного калибратора.

Настройка «**Определение портов ЭК**» позволяет отключить функцию автоматического определения (включена по умолчанию) соответствия портов Р42 и калибратора. Данная возможность необходима в случае зондирования сигналами невысокой мощности, например, при использовании дополнительных аттенюаторов, т.к. при этом функция «опознавания» нагрузок калибратора может работать некорректно.

Зачастую на практике конфигурация соединителей ЭК может отличаться от той, которая требуется для измерения ИУ. В таких случаях можно воспользоваться рекомендациями, изображёнными на схеме (рисунок 6.37), а также приведёнными в п. 7.8.

 **Вставляемым ИУ** называют такое устройство, соединители которого имеют одинаковый тип (например, 3,5 мм) и могут быть условно соединены между собой, т.е. «розетка»-«вилка» или универсальные. Не соответствующие данному определению ИУ называются **невставляемыми**.

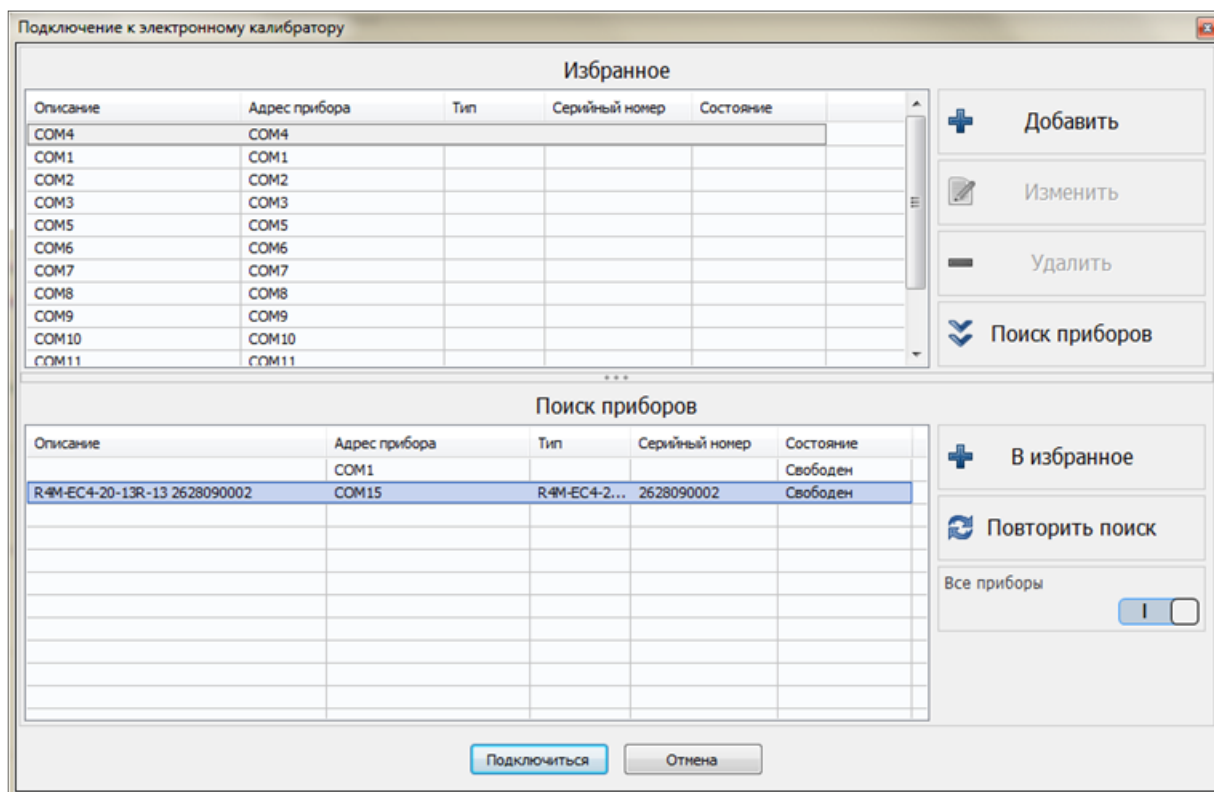


Рисунок 6.35 – Окно подключения к электронному калибратору

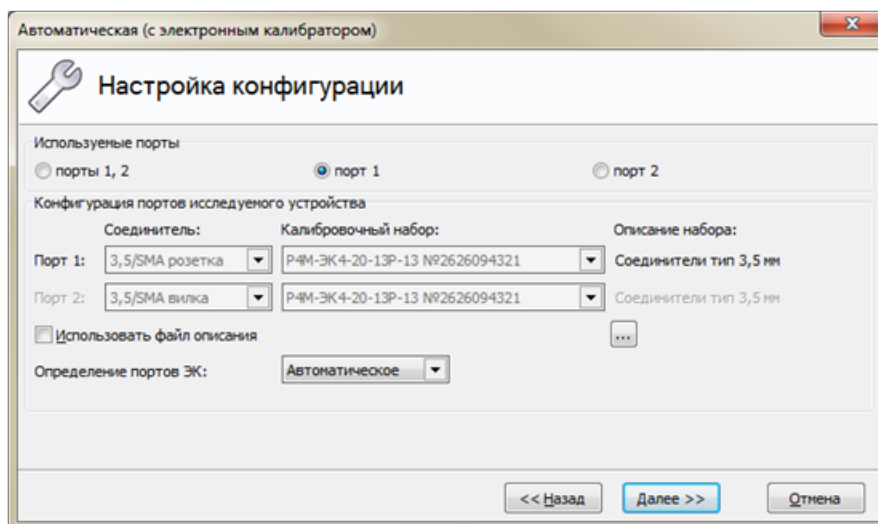


Рисунок 6.36 – Конфигурация калибровки с использованием электронного калибратора

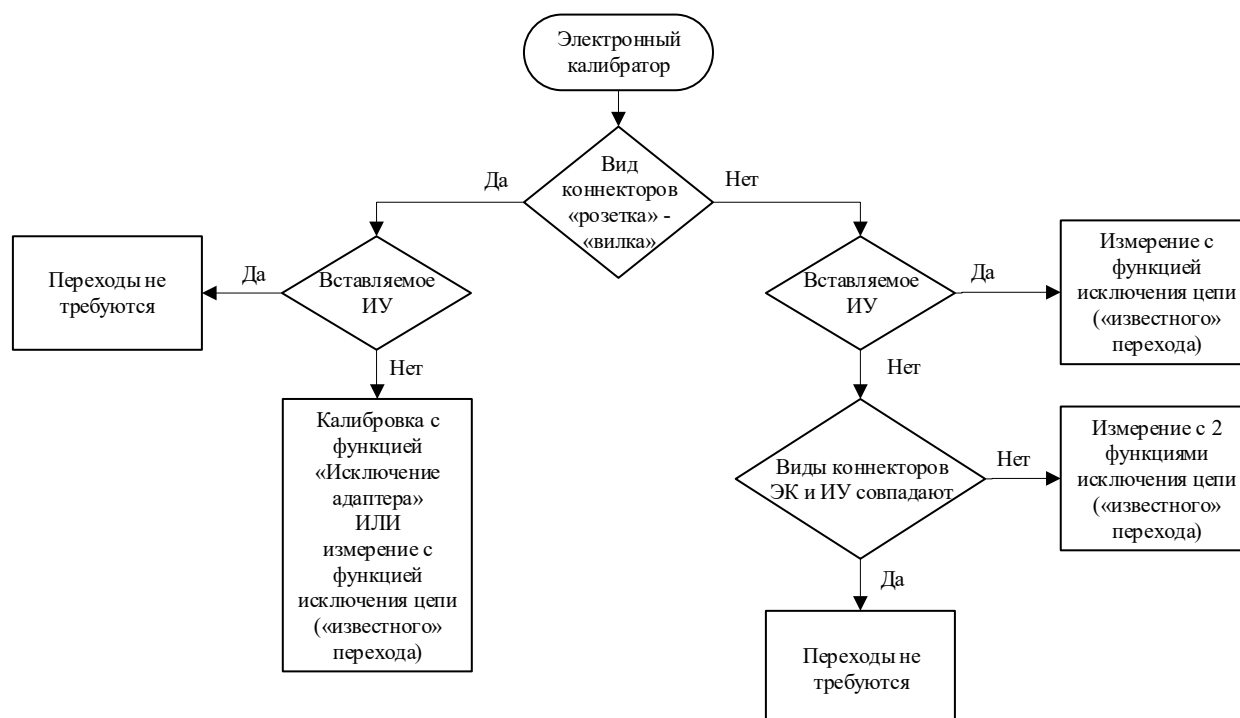


Рисунок 6.37 – Варианты соответствия видов соединителей ЭК и ИУ

i Для некоторых ЭК производитель предоставляет файл дополнительного описания модуля с присоединённым к первому порту калибратора перехода из комплекта поставки ЭК (по умолчанию используется переход без усиленного исполнения, прикручиваемый к порту ЭК стороной без шлица для поддерживающего ключа; иначе использовать NMD 3,5 мм с наименьшим серийным номером). Подобная конфигурация ЭК + переход позволяет выполнить более точную калибровку (по сравнению с функцией исключения цепи («известного» перехода)) без применения других адаптеров. Для использования дополнительного описания необходимо выбрать соответствующий файл с расширением tsk (рисунок 6.36) с флэш-накопителя из комплекта поставки ЭК.

На следующем шаге необходимо выбрать тип калибровки, как и в случае использования калибровочных наборов с механическими мерами. Для полной двухпортовой калибровки также доступна функция «Исключение адаптера», которая может потребоваться для некоторых конфигураций ЭК и ИУ (см. схему на рисунке 6.37).

Дальнейшие действия мастер выполнит в автоматическом режиме. Пример окна в процессе калибровки показан на рисунке 6.38.

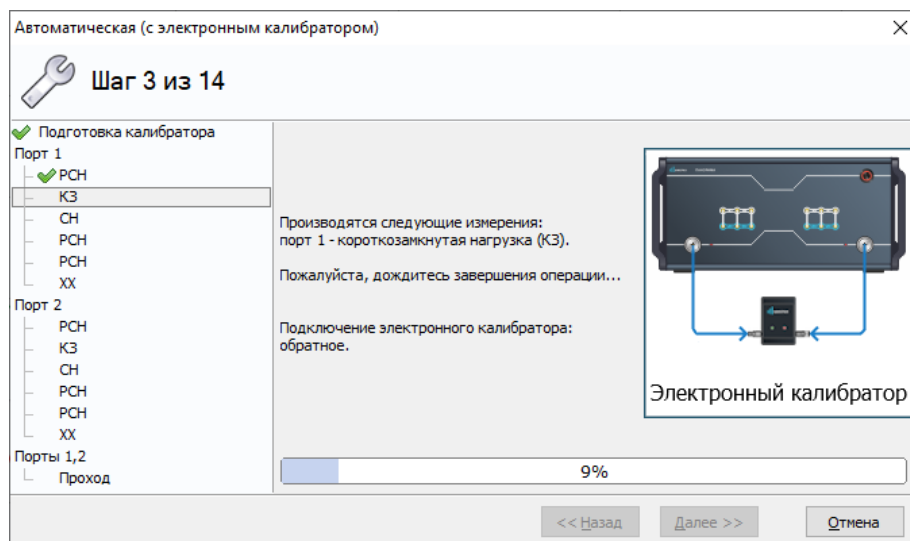


Рисунок 6.38 – Процесс калибровки с использованием ЭК

i В процессе калибровки пользователю рекомендуется проверить, что результат функции автоматического определения портов подключения электронного калибратора (отображён в окне калибровке в виде текста) соответствует действительности.

6.6 Калибровка в волноводном тракте, калибровка *TRL*

Семейство калибровок *TRL* в большинстве случаев обеспечивает лучшую точность измерений *S*-параметров, нежели *SOLT* калибровка, и может быть выполнена с использованием всего лишь трёх калибровочных мер. В процессе калибровки могут быть использованы: короткозамкнутая нагрузка (*Reflection*), согласованная нагрузка (*Match*), прямое соединение портов (*Thru*), одна или несколько линий передачи (*Line*). В зависимости от состава мер в калибровочном наборе для некоторого диапазона частот выполняется одна из калибровок семейства *TRL*:

- *TRL (Thru-Reflection-Line)*;
- *TRM (Thru-Reflection-Match)*;
- *LRL (Line-Reflection-Line)*;
- *LRM (Line-Reflection-Match)*.

Калибровка P42 в волноводном тракте выполняется через коаксиально-волноводные переходы, как показано на рисунке 6.39.

Последовательность TRL калибровки:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондиро-

вания (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).



Рисунок 6.39 – Измерения в волноводном тракте

и *Внимательно выставляйте диапазон частот, который соответствует сечению волновода. Нельзя задавать частоты, выходящие за диапазон работы волновода.*

Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Мастер калибровки...». В появившемся окне мастера калибровки выберите метод калибровки – «Управляемая», «Пользовательская» или «Автоматическая». После нажатия кнопки «Далее» в окне настройки конфигурации (рисунок 6.40) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)».

Задайте соединители исследуемого устройства «Волновод...» и набор калибровочных мер, соответствующий вашему сечению волноводного тракта.

Нажмите кнопку «Далее». Мастер калибровки отобразит диалоговое окно следующего шага калибровки.

Шаг 3. В поле со списком «Вариант калибровки» выберите вариант «Векторная калибровка *TRL*», как показано на рисунке 6.41.

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки.

Мастер калибровки предложит подключить к измерительным портам нагрузки XX, KЗ, соединение на проход, а так же соединение через четверть волновой отрезок линии.

На последнем этапе калибровки будет предложено соединить измерительные порты на проход непосредственно, а также установить соединение через четверть волновой отрезок линии, как показано на рисун-

ке 6.42.

Статус калибровки отображается в окне «Калибровка > Информация о калибровках ...», рисунок 6.12.

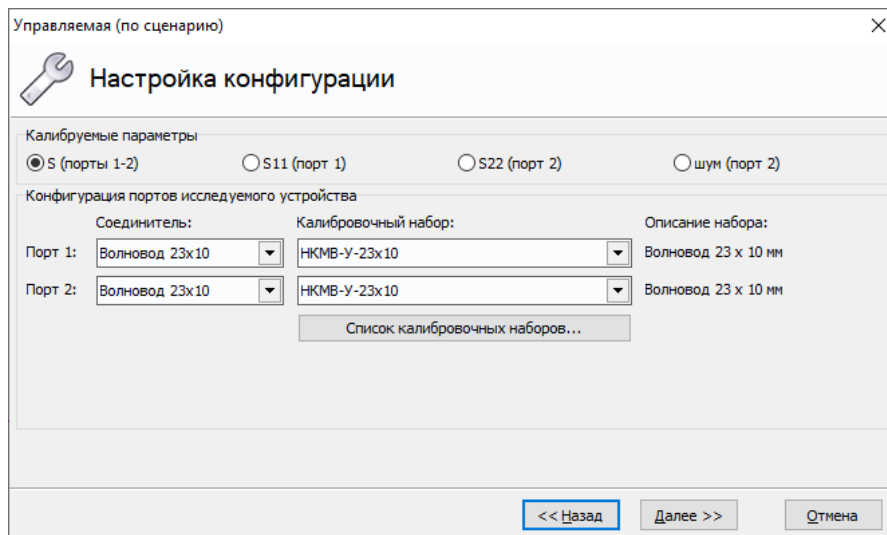


Рисунок 6.40 – Конфигурация калибровки для *TRL* калибровки

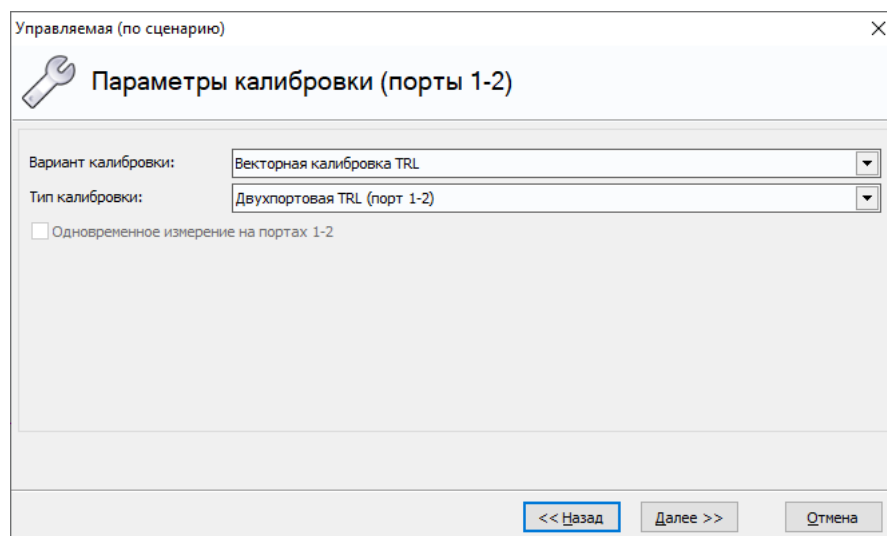
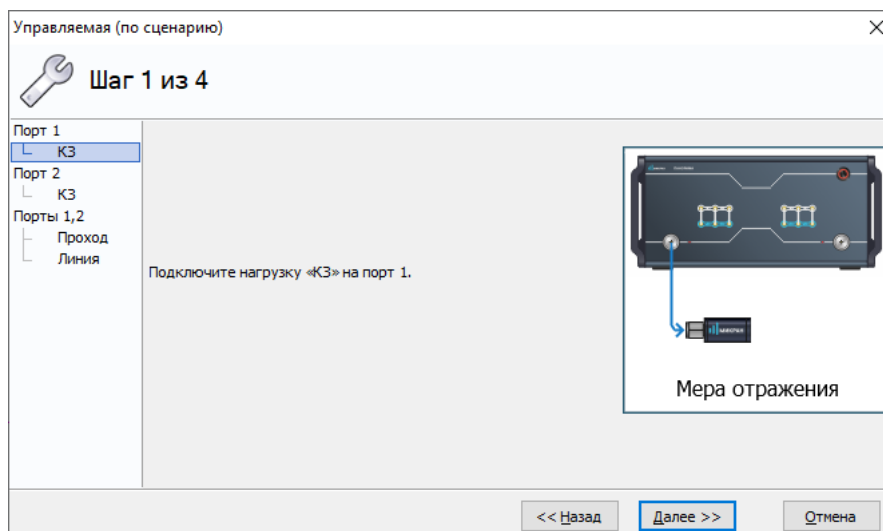


Рисунок 6.41 – Выбор *TRL* калибровки

Рисунок 6.42 – Процесс калибровки *TRL*

6.7 Калибровка источников и приёмников

При изготовлении Р42 его генераторы и приёмники калибруются в плоскости разъёмов измерительных портов. С течением времени и/или после подключения кабельных сборок или другой оснастки может потребоваться калибровка мощности. Доступ к данным функциям осуществляется через соответствующее подменю, отображённое на рисунке 6.43.

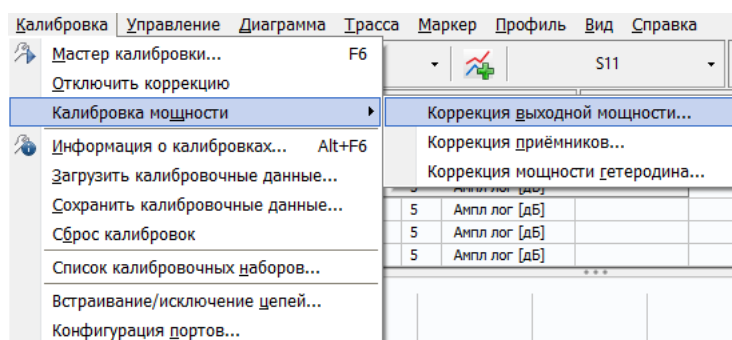


Рисунок 6.43 – Подменю «Калибровка мощности»

Коррекция выходной мощности выполняется при помощи эталонного измерителя мощности, удовлетворяющий Вашим требованиям по частотному и динамическому диапазону. В результате выходная мощность Р42 в каждой частотной точке корректируется до установленного пользователем значения в соответствии с показаниями измерителя мощности.

Коррекция приёмников выполняется с целью улучшить показания приёмников как измерителей мощности. Для этого производится корректировка показаний мощности приёмника относительно сигнала зондирующего порта (скорректированного измерителем мощности, либо относительно фабричной

калибровки) или методом сравнения с показаниями эталонного измерителя мощности, подключённого к противоположному порту. Можно скорректировать измеряемую мощность на всех доступных приёмниках a_1 , a_2 , b_1 , b_2 .

Коррекция мощности гетеродина требуется для компенсации частотной неравномерности и/или неизвестного ослабления оснастки сигнала гетеродина.

6.7.1 Коррекция выходной мощности

Калибровка выходной мощности P42 выполняется при помощи эталонного измерителя мощности серии *PLS* (а также некоторых моделей других производителей) с заданной точностью (параметр «Допустимое отклонение мощности»).

Последовательность калибровки:

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (настройка параметров измерения описана в п. 5.1).

-  Установленное количество точек прямо пропорционально времени калибровочного процесса.
-  Диапазон частот и мощность зондирования должны быть допустимы для выбранного эталонного измерителя мощности.

Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Калибровка мощности > Коррекция выходной мощности». В появившемся окне нажмите кнопку «Подключить» (рисунок 6.44).

Далее необходимо выбрать измеритель мощности и нажать «Подключиться» (рисунок 6.45). При частом использовании устройства можно добавить его в список «Избранное» окна подключения.

В случае успешного подключения в поле «Измеритель мощности» будет отображена информация об используемом устройстве.

Шаг 3. Задайте допустимое отклонение мощности, а также скорректируйте её смещение, если используется внешний усилитель или аттенюатор. Нажмите кнопку «Калибровка» для требуемого порта. Далее следуйте инструкциям (рисунок 6.46).

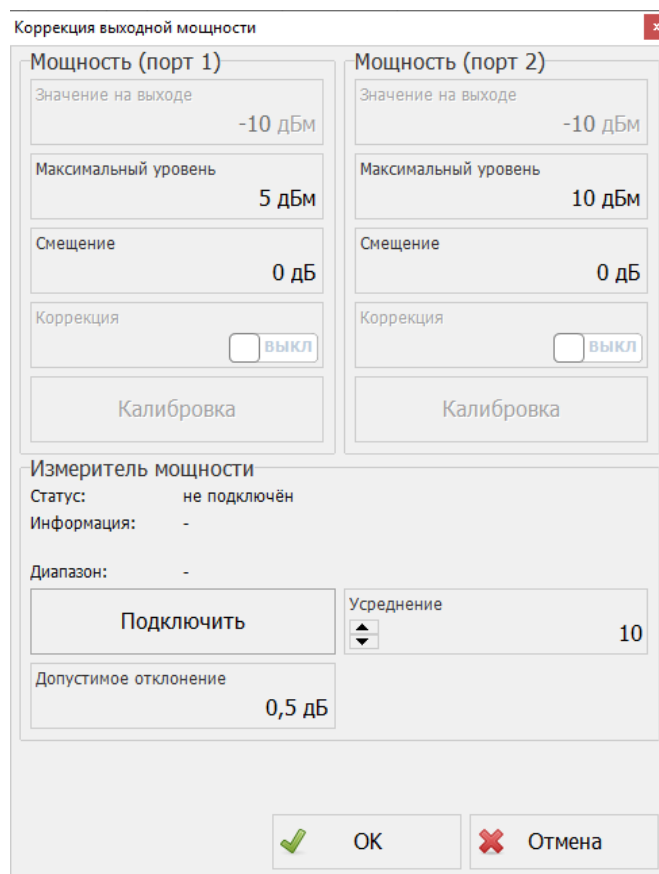


Рисунок 6.44 – Окно «Коррекция выходной мощности»

 Чем ниже допустимое отклонение мощности, тем дольше будет выполняться калибровка. При невозможности обеспечить заданную точность калибровка будет остановлена. Рекомендуемое значение допуска не ниже 0,5 дБ.

Шаг 4. После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12).

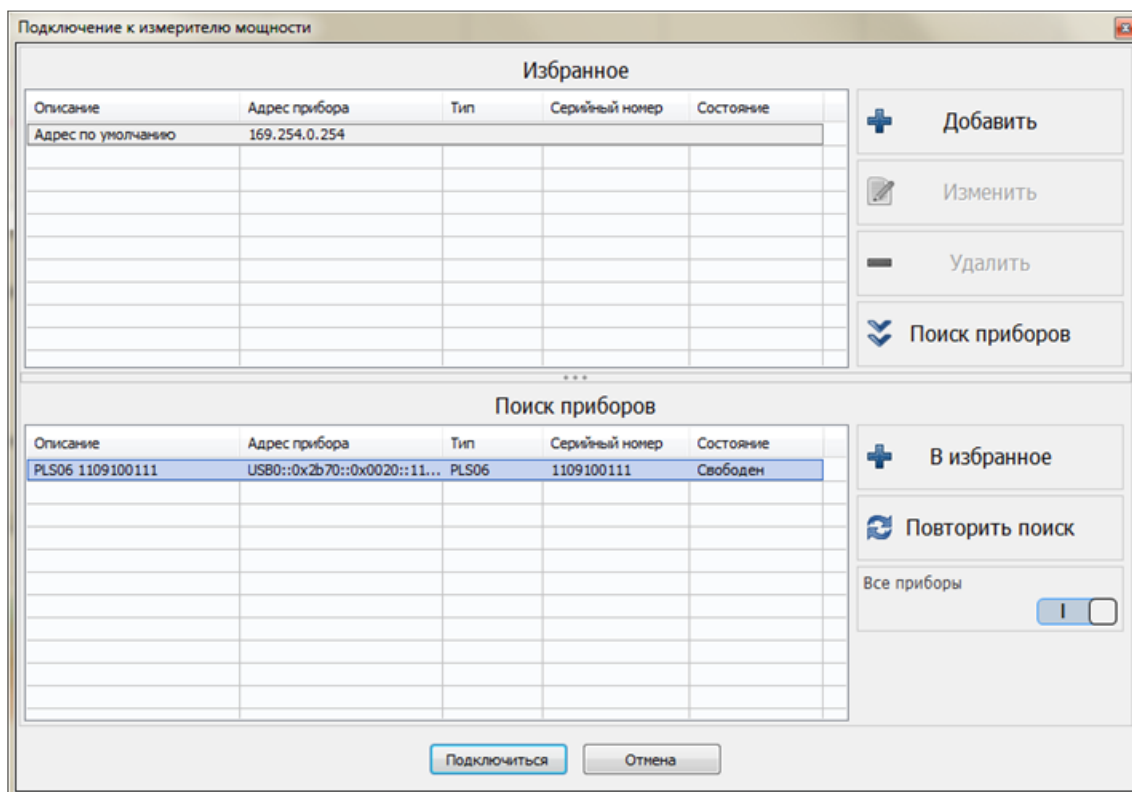


Рисунок 6.45 – Подключение к измерителю мощности

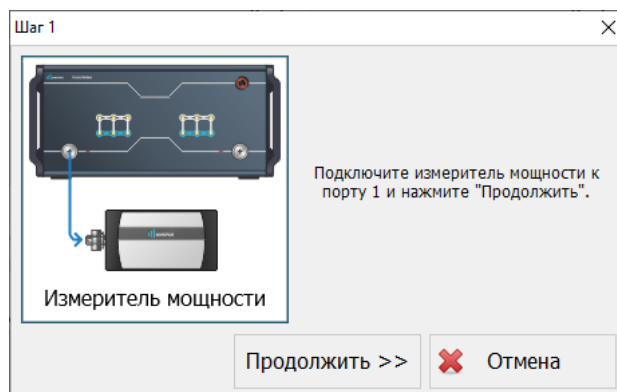


Рисунок 6.46 – Калибровка выходной мощности

6.7.2 Коррекция приёмников

Коррекция приёмников выполняется относительно зондирующего порта в том сечении, в котором требуется скорректировать показания измерений мощности. Для выполнения калибровки приёмников рекомендуется сначала выполнить коррекцию мощности. Но если Вас устраивает фабричная калибровка выходной мощности, то этот пункт можно пропустить. Коррекция мощности полезна, если вы используете кабельные сборки, и нет возможности подключить

исследуемое устройство непосредственно к порту.

Последовательность калибровки:

- Шаг 1.** Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами Р42 указано в разделе 7).
- Шаг 2.** Выберите пункт меню «Калибровка > Калибровка мощности > Коррекция приёмников». В появившемся окне требуется выбрать калибруемый приёмник (рисунок 6.47) и при необходимости задать смещение, которое будет учтено при коррекции. Если калибровка выходной мощности не выполнялась, либо её сечение изменилось вследствие добавления/удаления оснастки, рекомендуется воспользоваться измерителем мощности – включить тумблер «Калибровка с ИМ» и выполнить подключение. Далее нажать кнопку «Калибровка» и следовать инструкциям.

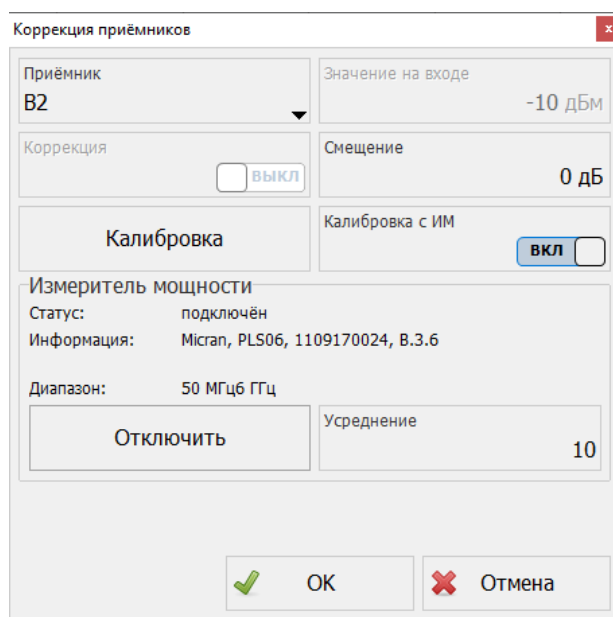


Рисунок 6.47 – Окно «Коррекция приёмников»

- Шаг 3.** После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12).

Результат применения коррекции приёмника В2 при зондировании с порта 1 через кабельную сборку, представлен на рисунке 6.48.

Таким образом, удалось скорректировать потери в кабельной сборке.

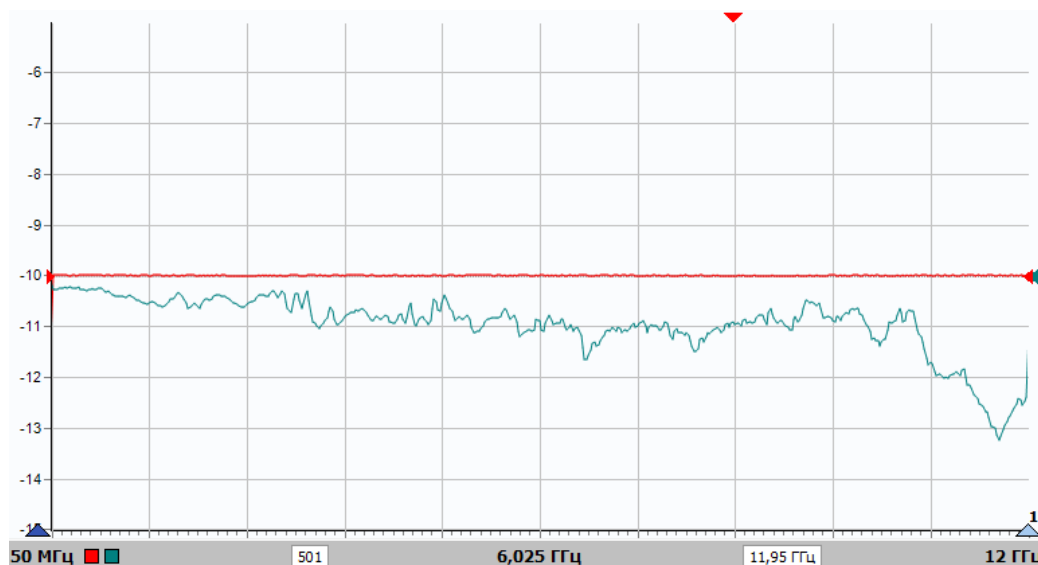


Рисунок 6.48 – Результат применения коррекции приёмника В2 при зондировании с порта 1

6.7.3 Коррекция мощности гетеродина

Калибровка выходной мощности синтезатора частот, используемого в качестве внешнего управляемого гетеродина, выполняется при помощи эталонного измерителя мощности серии *PLS* (а также некоторых моделей других производителей) с фиксированной точностью 1 дБ в заданном диапазоне частот.

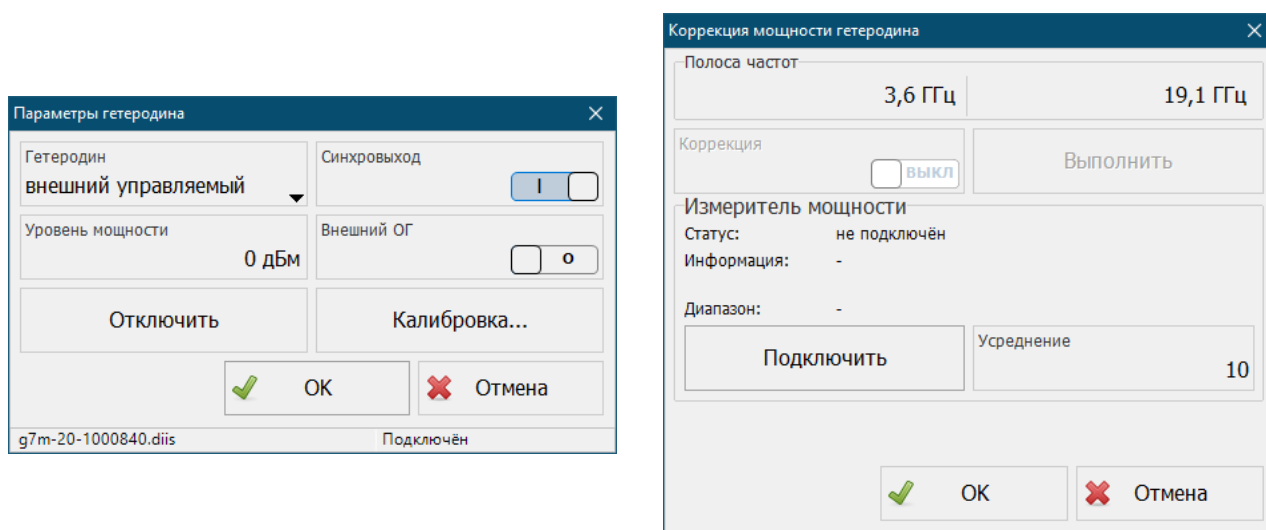
Последовательность калибровки:

Шаг 1. (необязательный) Настройте параметры преобразования на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 7.31-а), чтобы автоматически обозначить диапазон частот гетеродина.

-  Количество точек калибровки мощности гетеродина в диапазоне частот ограничено значением 21.
-  Диапазон частот и мощность зондирования должны быть допустимы для выбранного эталонного измерителя мощности.

Шаг 2. Нажмите «Настройка гетеродина...» на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 7.31-а).

Шаг 3. В открывшемся окне «Параметры гетеродина» (рисунок 6.49-а) выберите тип «внешний управляемый» и нажмите кнопку «Подключить»; в окне подключения добавьте вручную адрес синтезатора частот, либо выберите его из результатов поиска или списка избранных приборов.



а) Окно «Параметры гетеродина»

б) Окно «Коррекция мощности гетеродина»

Рисунок 6.49 – Параметры и коррекция мощности гетеродина

Шаг 4. После подключения к синтезатору частот нажмите кнопку «Калибровка...» (рисунок 6.49-а).

Шаг 5. В окне «Коррекция мощности гетеродина» (рисунок 6.49-б) при необходимости скорректируйте диапазон частот и подключите измеритель мощности, нажав кнопку «Подключить». Далее необходимо выбрать измеритель мощности и нажать «Подключиться» (рисунок 6.45). При частом использовании устройства можно добавить его в список «Избранное» окна подключения.

 *Окно калибровки (рисунок 6.49-б) можно вызвать из пункта меню «Калибровка > Калибровка мощности > Коррекция мощности гетеродина», при этом автоматически откроется диалог подключения к синтезатору частот, если оно не произведено ранее.*

Шаг 6. Нажмите кнопку «Выполнить» (рисунок 6.49-б) и следуйте инструкции. После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках ...» (рисунок 6.12).

6.8 Сохранение, восстановление и отключение калибровочных данных

Чтобы сохранить результаты калибровки, следует выбрать пункт ме-

ню «Калибровка > Сохранить калибровочные данные...». Калибровка сохраняется в файл с расширением *r4mc*. Если было выполнено две калибровки (например, две однопортовые), то данные обеих калибровок будут сохранены в одном файле.

 После перезапуска ПО калибровочные данные прошлой рабочей сессии будут восстановлены из резервной копии на диске независимо от того, сохранил ли их пользователь в файл или нет.

Чтобы загрузить калибровочные данные, следует выбрать пункт меню «Калибровка > Загрузить калибровочные данные...».

Калибровочные данные могут быть очищены выбором пункта меню «Калибровка > Сброс калибровок».

Коррекция может быть временно отключена установкой флажка в пункте меню «Калибровка > Отключить коррекцию». Следует иметь в виду, что установка флажка «Отключить коррекцию» отключает только все пользовательские калибровки, но не отключает фабричные калибровки. Чтобы временно отключить все виды калибровок, включая фабричные, нужно снять все флажки в окне «Информация о калибровках ...» («Калибровка > Информация о калибровках ...»).

 **Внимание!** Удаление калибровочных данных в окне «Информация о калибровках ...» приведет к потере этих данных без возможности восстановления!

7 Измерения

7.1 Измерение коэффициента отражения

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ; а также после этапа пользовательской калибровки (см. п. 6.4.2, или п. 6.4.3, или п. 6.4.4).

Отражение от входа исследуемого устройства или выхода, если таковой имеется, характеризует параметр рассеяния S_{11} или S_{22} .

Варианты подключения для измерения отражения от устройств с одним или двумя портами приведены на рисунке 7.1.

Варианты калибровок:

а) **Нормировка на отражение от известных нагрузок** – холостого хода (ХХ) и/или короткозамкнутой (КЗ). Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.1. Этот вариант с наибольшими погрешностями. Однако пользователь может быть вынужден его использовать из-за отсутствия калибровочных мер

или невозможности их подключения, например, при измерениях на пластине.



Рисунок 7.1 – Варианты подключения исследуемого устройства

б) Нормировка на отражение от произвольной нагрузки (с неизвестными параметрами). Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.1. Этот вариант калибровки применяется для измерения отличия коэффициента отражения исследуемого устройства от коэффициента отражения устройства, на которое выполнялась калибровка, что может быть полезно при настройке по образцу.

в) Однопортовая калибровка. Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.2. Это вариант обеспечивает наибольшую точность измерения отражения однопортовых устройств (рисунок 7.1-а).

г) Двухпортовая калибровка в одном направлении. Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.3. Однопортовая калибровка и двухпортовая калибровка в одном направлении дают одинаковые результаты измерений отражения.

д) Полная двухпортовая калибровка. Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.4. Полная двухпортовая калибровка обеспечивает максимальную точность измерений в варианте подключения исследуемого устройства, приведённом на рисунке 7.1-в. В других вариантах подключения (рисунок 7.1-а и 7.1-б) точность измерений сравнима с однопортовой калибровкой, а время измерения вдвое больше.

 *Погрешности измерений отражения уменьшаются, если в варианте подключения, приведённом на рисунке 7.1-в, между выходом исследуемого устройства и портом P42 включить высококачественный (не создающий дополнительных отражений) аттенюатор с ослаблением 10 дБ или больше.*

Для выполнения измерений необходимо, чтобы в диаграмме (или в одной из диаграмм) была хотя бы одна измерительная трасса. Создать измерительную трассу можно, выбрав соответствующий пункт контекстного меню диаграммы.

Для измерения отражения необходимо выбрать «измерение» S_{11} или S_{22} и задать требуемый формат отображения трассы.

После нажатия кнопки старта  измерения будут непрерывно повторяться с заданными параметрами. Повторное нажатие на кнопку остановит измерения и выключит зондирующий сигнал СВЧ. Начать или остановить измерения можно выбором пункта меню «Управление >Измерение» или нажатием клавиши «F5».

 Если не используется полная двухпортовая калибровка и требуется измерять только в одном направлении зондирования, то можно увеличить производительность, удалив трассы, требующие зондирования в противоположном направлении.

7.2 Измерение коэффициента передачи

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ; а также после этапа пользовательской калибровки (см. п. 6.4.3 или 6.4.4).

Коэффициент передачи исследуемого устройства в прямом и обратном направлении характеризуют параметры рассеяния S_{21} и S_{12} .

Вариант подключения для измерения коэффициента передачи приведён на рисунке 7.1-в.

Варианты калибровок:

а) **Нормировка частотной неравномерности** тракта передачи. Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.1. Для этого варианта характерны наибольшие погрешности. Нормировка используется при отсутствии калибровочных мер или невозможности их подключения, например, при измерениях на пластине.

б) **Двухпортовая калибровка в одном направлении.** Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.3. Измерения в этом варианте значительно точнее, чем после нормировки. А возможность зондирования только в одном направлении обеспечивает высокую производительность.

в) **Полная двухпортовая калибровка.** Последовательность калибровки приведена в п. 6.4.4. Полная двухпортовая калибровка обеспечивает максимальную точность измерений. Единственный недостаток – уменьшение производительности, обусловленное необходимостью поочерёдного зондирования в обоих направлениях.

Для выполнения измерений необходимо, чтобы в диаграмме (или в одной из диаграмм) была хотя бы одна измерительная трасса. Создать измерительную трассу можно, выбрав соответствующий пункт контекстного меню диаграммы.

Для измерения коэффициента передачи необходимо выбрать «измерение» S_{21} или S_{12} и задать требуемый формат отображения трассы.

После нажатия кнопки старта  измерения будут непрерывно повторяться с заданными параметрами. Повторное нажатие на кнопку остановит измере-

ние и выключит зондирующий сигнал СВЧ. Начать или остановить измерения можно выбором пункта меню «Управление > Измерение» или нажатием клавиши «F5».

i За расширение динамического диапазона измеряемых величин, как правило, приходится «платить» увеличением времени измерения. Можно увеличить усреднение и/или сузить полосу пропускания фильтра ПЧ только на время калибровки. Более тщательная калибровка положительно скажется на точности измерений и динамическом диапазоне.

7.3 Измерение нелинейности ФЧХ

Нелинейность фазочастотной характеристики (ФЧХ) можно охарактеризовать максимальным отклонением от линии, аппроксимирующей (оптимально в среднеквадратическом смысле) ФЧХ.

Для анализа нелинейности характеристики необходимо осуществить компенсацию тренда, выполнив следующие действия:

- Шаг 1.** Установите маркеры 1 и 2 на те частоты, в диапазоне которых необходимо осуществить компенсацию тренда.
- Шаг 2.** Создайте связной маркер между двумя маркерами – нажать левую кнопку мыши на значке (к примеру, ) , обозначающем «Режим маркера», перевести курсор к другому маркеру и отпустить кнопку мыши.
- Шаг 3.** Выбрать в меню связного маркера «Управление > Компенсация тренда» (рисунок 7.2).

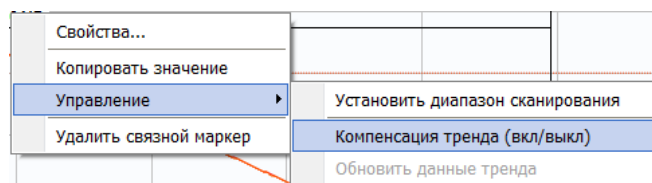


Рисунок 7.2 – Меню связного маркера

В результате произойдёт компенсация тренда между двумя маркерами на трассе. Таким образом, можно оценить нелинейность ФЧХ. Пример компенсации тренда показан на рисунке 7.3.

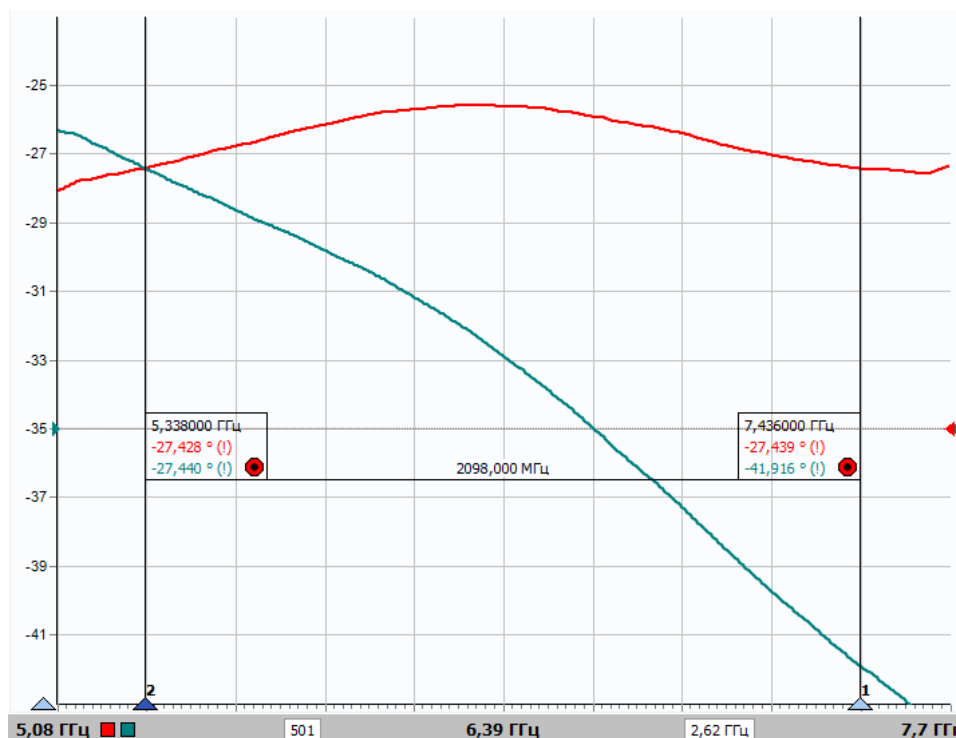


Рисунок 7.3 – Пример компенсации тренда ФЧХ

7.4 Измерение компрессии

Сжатие (компрессия) – нелинейное искажение гармонического сигнала, выраженное в ограничении или ослаблении синусоиды вблизи экстремумов. Сжатие возникает в цепях, неспособных одинаково хорошо передавать малые и большие (по напряжению) сигналы. Для таких цепей характерна нелинейная динамическая характеристика¹⁾, представленная на рисунке 7.4.

Для измерения сжатия динамическую характеристику представляют в двойном логарифмическом масштабе, где линейный участок $P_{\text{ВЫХ}}(P_{\text{ВХ}})$ выглядит как прямая линия с наклоном 45° (идеальная динамическая характеристика линейна). Рассмотренный вид нелинейности цепи характеризуется **точкой сжатия** – уровнем выходной мощности $P_{\text{ВЫХ}}^n$ или входной мощности $P_{\text{ВХ}}^n$, при которой динамическая характеристика отклонилась вниз на заданное число n децибел от идеальной (линейной) динамической характеристики. Дополнительно рассматривается **компрессия коэффициента усиления (КУ)** устройства, характеризующаяся значениями входной $P_{\text{ВХ}}^n$ и выходной $P_{\text{ВЫХ}}^n$ мощности, при которой КУ аналогично уменьшается на заданное число n децибел.

 *Результаты определения точек сжатия по характеристике КУ и дина-*

¹⁾Динамическая характеристика – зависимость выходной мощности или коэффициента передачи от входной мощности.

мической характеристике могут незначительно отличаться вследствие использования разных алгоритмов коррекции измеряемой мощности и параметра S_{21} .

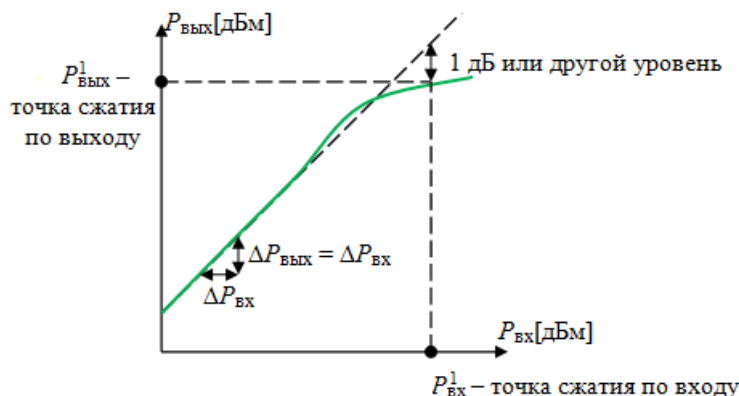


Рисунок 7.4 – Динамическая характеристика (наклонной пунктирной линией показана идеальная динамическая характеристика)

Для анализа нелинейности характеристики усиления необходимо произвести измерение в **режиме сканирования по мощности**. В примере будет использован усилитель MAW-04008004 производства фирмы АО «НПФ «Микран», обладающий следующими параметрами:

- диапазон частот от 4,00 до 8,00 ГГц;
- коэффициент усиления 35-40 дБ;
- коэффициент шума 1,3 дБ (+25°C);
- $P_{\text{вых}}$ по сжатию на 1 дБ 15 дБ/мВт;
- КСВН вх/вых 2,0/2,0.

Выполним следующие действия:

Шаг 1. Проведём векторную калибровку P42 в диапазоне частот, включающем в себя частоту точки анализа компрессии (см. п. 6.4), предварительно установив уровень выходной мощности, соответствующий центральному значению предполагаемого диапазона динамических измерений.

 Для более точной установки мощности на входе ИУ и измерений выходной мощности ИУ рекомендуется выполнить калибровки выходной мощности и измерительного приёмника P42 соответственно (см. п. 6.7).

Шаг 2. Установим тип развёртки «мощность» на панели управления «Измерение» (рисунок 4.12).

Шаг 3. Зададим диапазон мощности и количество точек для динамических измерений на панели «Мощность» (рисунок 4.12).

! При установке диапазона выходной мощности P_{42} учитывайте максимально допустимый уровень входной мощности исследуемого устройства, а также его коэффициент усиления (для активных устройств), чтобы не вывести из строя элементы измерительного тракта P_{42} . Также следует иметь в виду, что входная мощность P_{42} , при которой его измерительные приёмники ещё находятся в линейном режиме, не должна превышать максимальной входной рабочей мощности (см. технические характеристики в разделе с описанием P_{42} и принципов его работы ч. I настоящего РЭ, а также раздел с требованиями безопасности ч. I настоящего РЭ). Для дополнительной регулировки входной и выходной мощности рекомендуется использовать либо встроенные аттенюаторы (для P_{4213} и P_{4226} – только при наличии опции ДМА), либо внешние.

Шаг 4. Для определения точки компрессии коэффициента усиления создадим измерительную трассу амплитуды S_{21} (коэффициент передачи ИУ, красная трасса на рисунке 7.5) и фазы S_{21} в первом окне диаграмме, добавив маркер №1, привязанный к трассе амплитуды S_{21} с включённым поиском максимума со смещением на 1 дБ «вправо». Положение (абсцисса) данного маркера с учётом заданного ослабления генератора порта 1 (10 дБ) является точкой компрессии КУ по входу (значение мощности на входе $P_{\text{вх}}^1$) усилителя и равна примерно -20,5 дБ/мВт. Точка компрессии по выходу $P_{\text{вх}}^1$ рассчитывается прибавлением соответствующего значения КУ (34,8 дБ) и составляет приблизительно 14,3 дБ/мВт.

Шаг 5. Для определения точки сжатия по мощности создадим 2 трассы мощности $b2(1 \rightarrow 2)$ во втором окне диаграммы (оранжевая и синяя трассы на рисунке 7.5). Добавим три маркера и один связной маркер:

- маркеры №1 и №2 привязаны к первой (оранжевой) трассе и расположены на линейном участке второй (синей) трассы;
- связной маркер №1 между маркерами №1 и №2 необходим для применения его функции «Компенсация тренда» (рисунок 4.54) к первой трассе, т.е. поворота динамической характеристики на 45° вправо. Это позволит определить точку её отклонения от линейности на 1 дБ;
- маркер №3 привязан к первой (оранжевой) трассе с включённым поиском максимума со смещением на 1 дБ «вправо». Точка сжатия мощности по входу $P_{\text{вх}}^1$ соответствует положению (абсциссе) маркера №3 с учётом заданного ослабления генератора порта 1 (10 дБ) и равна примерно -20,1 дБ/мВт; значение второй (синей) трассы является точкой сжатия мощности по выходу $P_{\text{вых}}^1$ и оценивается приблизительно в 13,8 дБ/мВт.

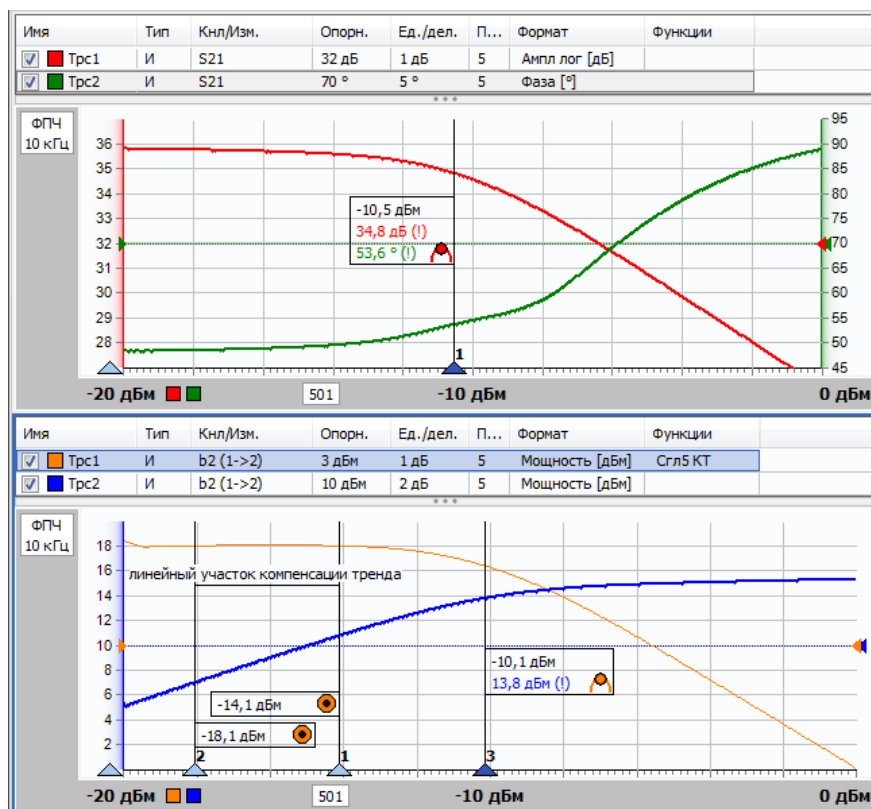


Рисунок 7.5 – Измерение параметров компрессии по коэффициенту усиления (верхняя диаграмма) и динамической характеристике (нижняя диаграмма)

7.5 Векторные функции трасс

В п. 4.7 настоящего руководства были частично рассмотрены функции трасс. Ниже будут представлены специфические для Р42 функции, применяемые к измеренным S-параметрам.

7.5.1 Функция «Фазовая задержка»

Функция «Фазовая задержка» позволяет внести или компенсировать задержку сигнала. Функция включается тумблером на панели управления «Функции трасс», также задаётся величина задержки, как показано на рисунке 7.6.

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

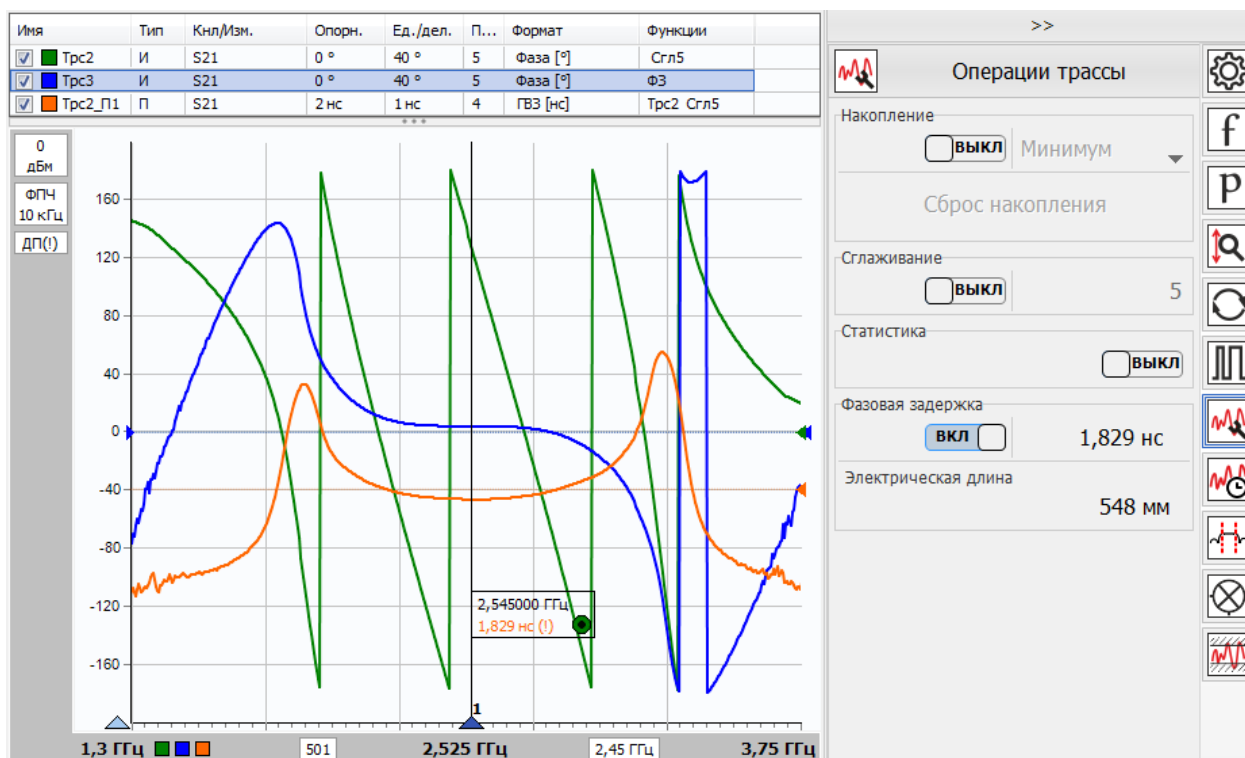


Рисунок 7.6 – Компенсация задержки фазы

Функция влияет на отображение трасс в форматах «Фаза», «Развёрнутая фаза», «ГВЗ» и «Смит» и вычисляется по формуле

$$v'_n = v_n \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot f_n}, \quad (35)$$

где v – корректируемая комплексная величина;
 Δ – компенсируемая задержка, нс;
 f_n – частота, ГГц;
 $n = 1 \dots N$.

Выбрать величину компенсируемой задержки можно на основании группового времени запаздывания, как это сделано на рисунке 7.6, или подобрать вручную, установив курсор в поле ввода и вращая колесо мыши.

7.5.2 Функция «Временная область»

Функция «Временная область» выполняет преобразование частотной характеристики во временную область с помощью обратного преобразования Фурье. Результат преобразования эквивалентен реакции цепи на воздействие коротким импульсом или перепадом напряжения.

На рисунке 7.7 приведён пример преобразования коэффициента отражения от кабельной сборки, нагруженной на короткозамкнутую нагрузку.

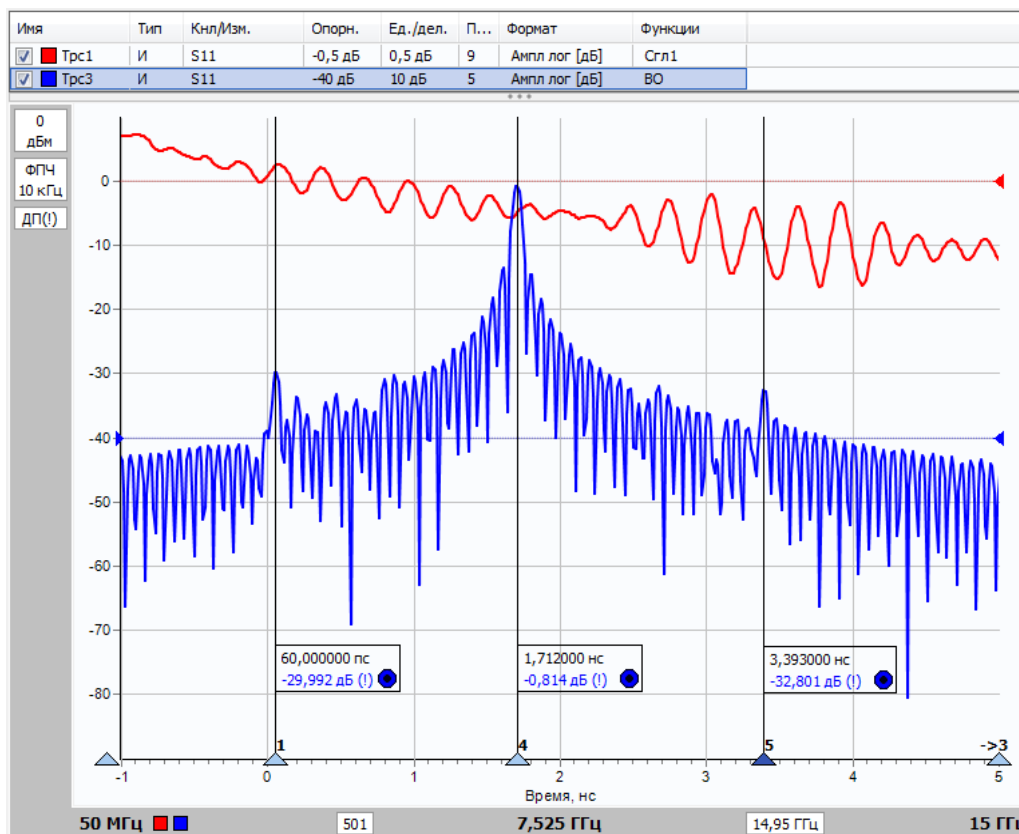


Рисунок 7.7 – Пример преобразования во временную область

На импульсной характеристике «Трс3» заметно отражение (-30 дБ, 60 пс) от начала кабельной сборки. Следующий экстремум (-0.8 дБ; 1,7 нс) соответствует отражению от короткозамкнутой нагрузки, с учётом средних потерь в кабельной сборке в диапазоне сканирования. Положение экстремума (1,7 нс) равно удвоенному времени распространения сигнала в воздушной линии. Следующий экстремум обусловлен повторным переотражением, а его положение (3,4 нс) соответствует учетверённому времени распространения сигнала в воздушной линии.

Преобразование частотной характеристики во временную область облегчает анализ распределённых цепей. Положение откликов во времени указывают на те или иные участки схемы. Уровни откликов равны средним (в диапазоне частот) значениям коэффициентов отражения или передачи соответствующих им участков схемы.

Параметры преобразования задаются на панели управления «Временная область», приведённой на рисунке 4.15.

Тумблер **ВКЛ/ВЫКЛ** управляет состоянием преобразования.

Тип координат окна имеет два состояния: «Время» и «Дистанция». При установленном значении «Дистанция» время пересчитывается в расстояние, пройденное сигналом:

при преобразовании коэффициента передачи

$$L = t \cdot \frac{C}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (36)$$

или в расстояние до неоднородности, вызвавшей отражение при преобразовании коэффициента отражения

$$L = \frac{t}{2} \cdot \frac{C}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (37)$$

где t – время распространения сигнала;

ε – диэлектрическая проницаемость среды;

C – скорость света в вакууме, $C = 2,998 \cdot 10^8$ м/с.

В полях ввода «**Диапазон**» задаются границы в наносекундах или метрах, в пределах которых будет вычислено преобразование. Программное обеспечение ограничивает вводимые значения в пределах

$$t_{\min} = -\frac{N-1}{2} \cdot \frac{1}{f_N - f_1}, \quad (38)$$

$$t_{\max} = -t_{\min}, \quad (39)$$

где N – число частотных точек;

f_1 и f_N – начальная и конечная частоты.

За указанными пределами результаты преобразования периодически повторяются в силу цикличности дискретного преобразования Фурье.

Поле со списком «**Взвешивание окном**» задаёт тип взвешивания частотной характеристики, предшествующее преобразованию во временную область. Взвешивание частотной характеристики приводит к сглаживанию результата преобразования, следовательно – к расширению динамического диапазона и ухудшению разрешения. Поле со списком «**Взвешивание окном**» содержит следующие варианты:

- «Нет» – соответствует прямоугольному окну, т.е. без взвешивания.
- «Хэмминг» – окно Хемминга. Ухудшает разрешение в 1,36 раза.
- «Наттолл» – окно Наттолла. Ухудшает разрешение в 1,8 раза.

На рисунке 7.8 представлены результаты преобразования коэффициента отражения взвешенного различными окнами.

Режим сигнала. Преобразование во временную область выполняется одним из двух способов, задаваемый в поле со списком «**Режим сигнала**».

Преобразование «bandpass» выполняется при установленном значении «Радиосигнал» в произвольной полосе частот, как показано на рисунке 7.9.

В результате сдвига частотной характеристики и обратного преобразова-

ния Фурье получается огибающая импульсной характеристики цепи. Несмотря на комплексные значения результата преобразования, фаза не несёт полезной информации. Поэтому для отображения трассы следует выбирать форматы «Ампл лин (раз)» или «Ампл лог (дБ)».

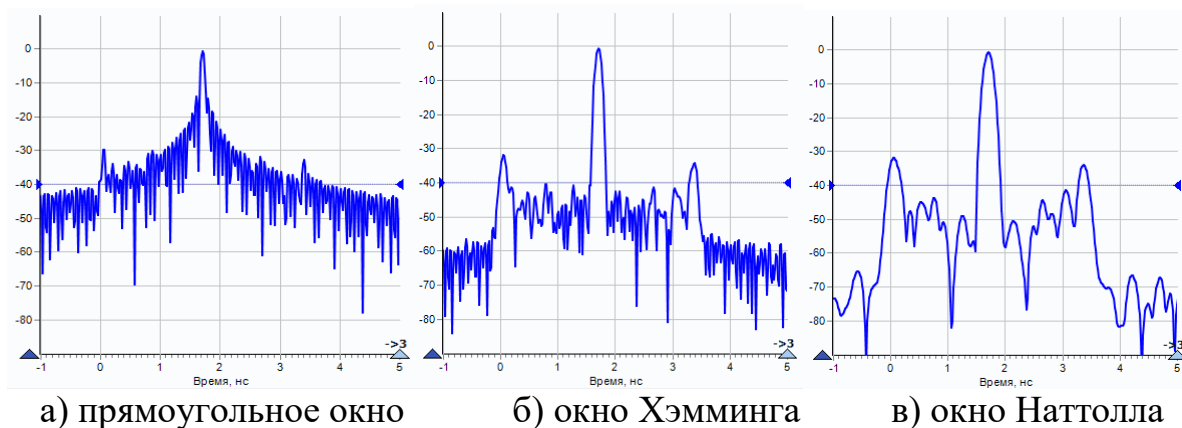


Рисунок 7.8 – Влияние взвешивания частотной характеристики

Преобразование «lowpass» выполняется при установленном значении «Видеосигнал» (рисунок 4.15) только для частот f_n , являющихся гармониками начальной частоты f_1

$$f_n = f_1 n, \quad (40)$$

где $n = 1 \dots N$.

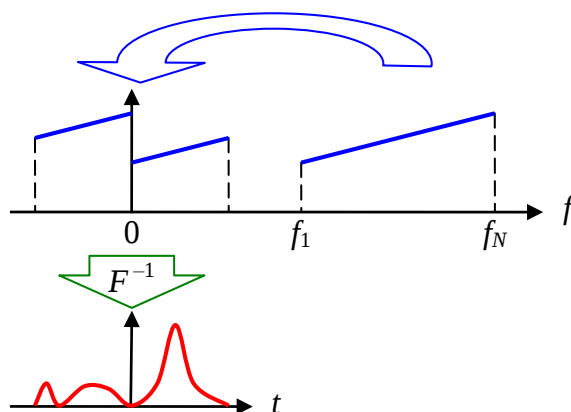


Рисунок 7.9 – Преобразование «bandpass»

Такой ряд частот называется *гармоническим*. Перед вычислением обратного преобразования Фурье частотная характеристика расширяется комплексно-сопряжёнными значениями в области отрицательных частот $S(-f_n) = S^*(f_n)$. Недостающее значение частотной характеристики в 0 Гц, которое нельзя измерить Р42, задаётся пользователем в поле ввода в группе «ЧХ [0 Гц]» при тумблере, включённом в положение «РУЧН» (рисунок 4.15). В положении тумблера «АВТО» выполняется аппроксимация частотной характеристики в 0 Гц.

Вследствие симметрии расширенной частотной характеристики (рисунок 7.10) мнимая часть результата обратного преобразования Фурье равна нулю. Поэтому для отображения трассы следует выбирать форматы «Действ» или «Ампл лог (дБ)».

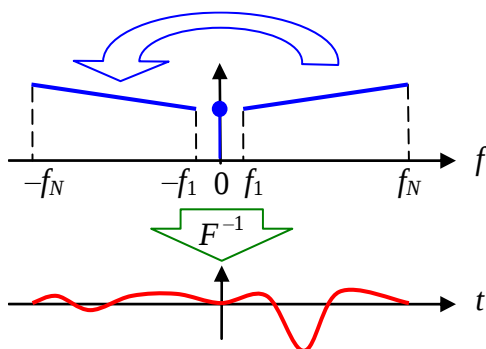


Рисунок 7.10 – Преобразование «lowpass»

Положительный всплеск в импульсной характеристике (в формате «Действ») свидетельствует о ёмкостном характере вызвавшей его неоднородности и об увеличении импеданса, отрицательный – об индуктивном характере неоднородности и об уменьшении импеданса. Величина всплеска равна коэффициенту отражения от неоднородности.

При «lowpass» преобразовании доступно поле со списком «Тип характеристики» (рисунок 4.15), позволяющие выбрать расчёт и отображение импульсной или переходной характеристики. При выборе переходной характеристики становится доступным переключатель «Сопротивление», включение которого приведёт к пересчёту значений переходной характеристики в Омы (имеет смысл только при измерении отражения).

На рисунке 7.11 приведены импульсные и переходные характеристики, вычисленные из коэффициента отражения от некоего стандарта, представляющего собой линию передачи с 25-Омным участком в середине.

i Неверное значение частотной характеристики в 0 Гц приводит к вертикальному смещению переходной характеристики. Если значения переходной характеристики отличаются от ожидаемых, то в группе «ЧХ(0 Гц)» установите тумблер в положение «РУЧН» и введите в поле корректное значение.

Что можно сказать о погрешностях измерений во временной области? Ничего определённого, несмотря на известные погрешности в частотной области. Результат преобразования во временную область сложным образом зависит от формы частотной характеристики. Погрешности можно посчитать для какой-то конкретной формы частотной характеристики, но нет возможности сказать что-либо в общем случае или выработать какое-то простое правило определения погрешностей. Уверенно можно определить только разрешение по времени:

для преобразования «*bandpass*»

$$\Delta t = \frac{1}{f_N - f_1} \cdot k_w, \quad (41)$$

для преобразования «*lowpass*»

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_N} \cdot k_w, \quad (42)$$

где f_1 и f_N – начальная и конечная частоты;
 k_w – коэффициент окна равен 1 для прямоугольного, 1,36 для Хэмминга и 1,8 для Наттолла.

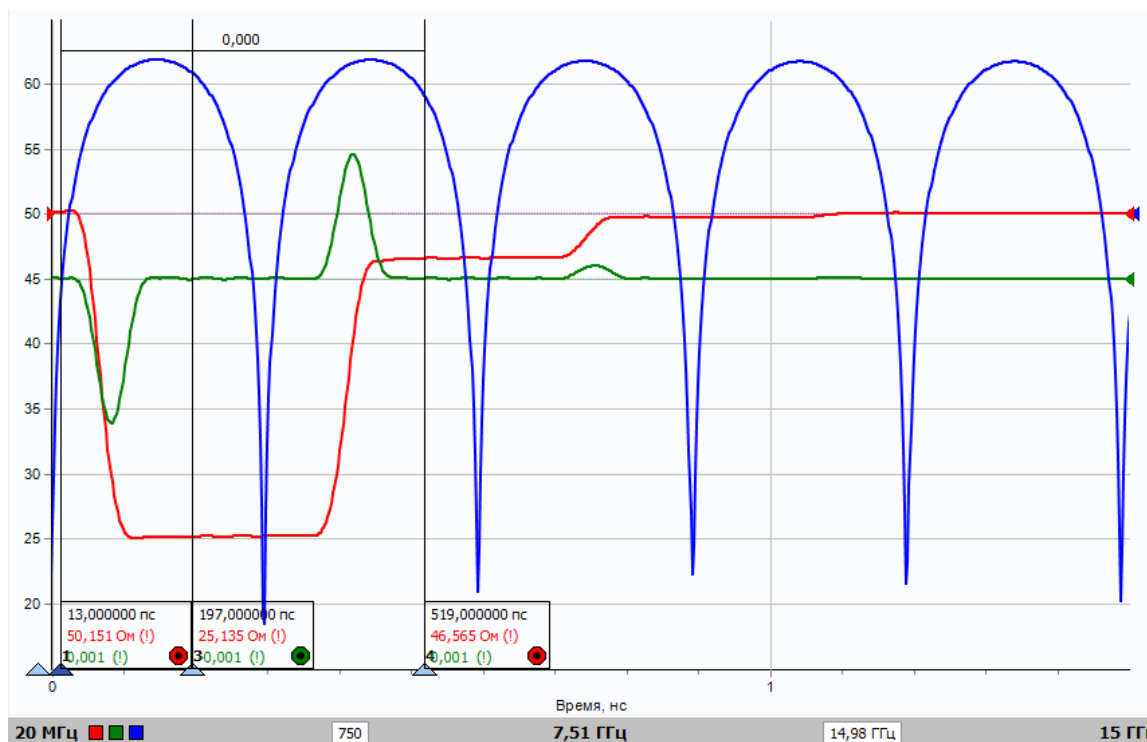


Рисунок 7.11 – Импульсная и переходная характеристики стандарта *Beatty*

Например, при измерении отражения в диапазоне частот от 20 до 20000 МГц без взвешивания оконными функциями разрешение во временной области составит порядка 0,05 нс (7,5 мм в вакууме) при преобразовании «*bandpass*» и порядка 0,025 нс (3,8 мм) при преобразовании «*lowpass*».

Значения переходной характеристики, пересчитанные в Омы, соответствуют характеристическому сопротивлению цепи, но только до второй значительной неоднородности. На рисунке 7.11 хорошо видно, как изменяется характеристическое сопротивление с 50 на 25 Ом, но изменение с 25 на 50 Ом отображается неверно. На результаты измерений повлияли переотражения между первой и второй неоднородностями.

Пример измерения расстояния до обрыва в кабельной сборке представлен на рисунке 7.12.

Для анализа используется трасса S_{11} , либо S_{22} . Зная диэлектрическую проницаемость, можно достаточно точно определить расстояние до обрыва, который характеризуется высоким уровнем отражения на том участке, на котором наблюдается обрыв. В данном примере на конец кабельной сборки подключена нагрузка холостого хода. Отсчёт необходимо вести от начала координат.

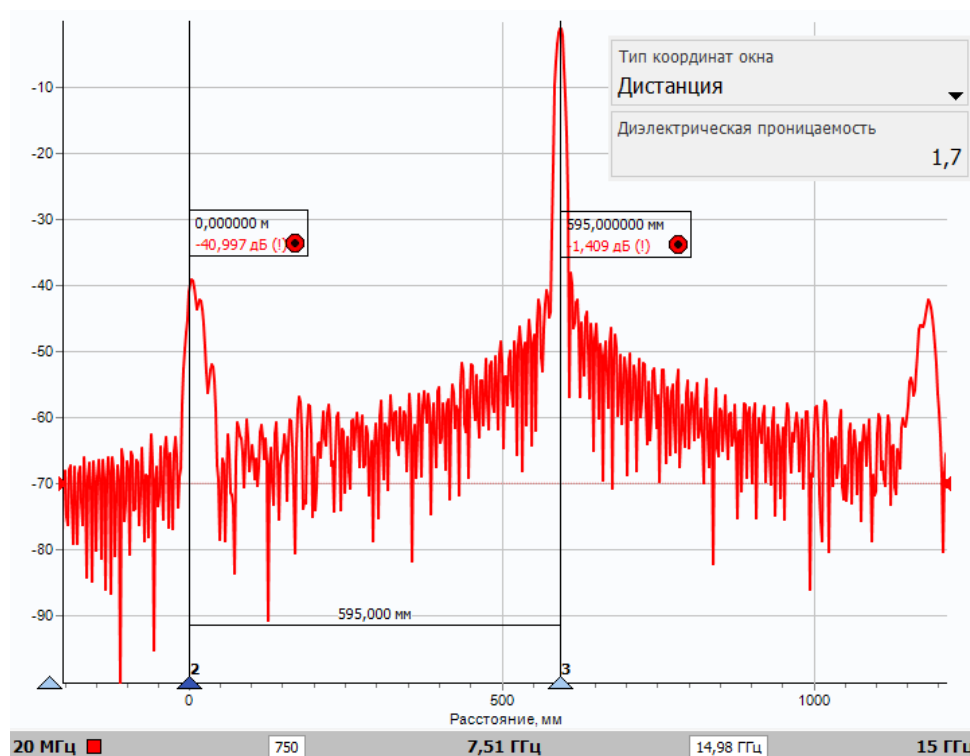


Рисунок 7.12 – Пример измерения расстояния до обрыва

7.5.3 Функция «Фильтрация»

Функция «Фильтрация» (*Gating* – в зарубежной литературе) позволяет во временной области подавить мешающие или выделить полезные отклики цепи, затем выполнить обратное преобразование в частотную область и получить свободную от помех характеристику.

Выделение или подавление во временной области выполняется взвешиванием окном Кайзера, задаваемого тремя параметрами: центром, шириной по уровню 0,5 и параметром формы β (рисунок 7.13).

На рисунке 7.14 приведена искажённая паразитными откликами частотная характеристика и её эквивалент во временной области («Трс1»). После задания параметров окна Кайзера на вкладке «Фильтрация» (рисунок 4.15) и установкой тумблера «Включено» произойдёт подавление мешающих откликов и их влияние на частотную характеристику, что иллюстрируют трассы «Трс2».

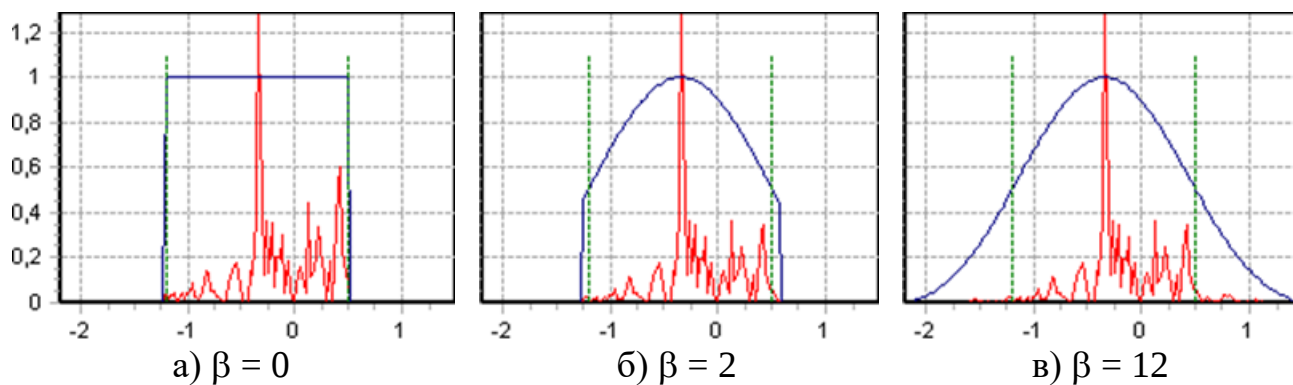


Рисунок 7.13 – Окно Кайзера

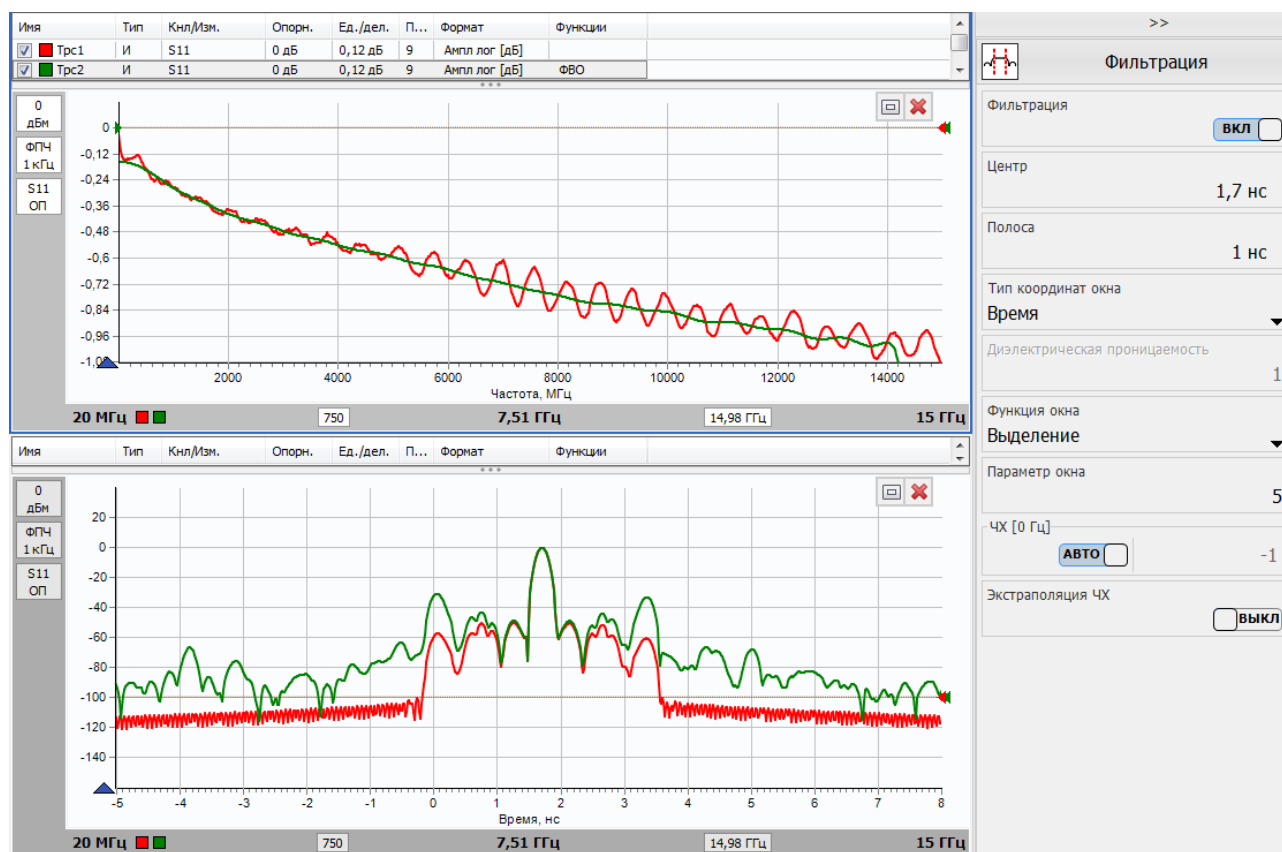


Рисунок 7.14 – Выделение полезного и подавление мешающих откликов

При **типе координат окна** «Расстояние» положение окна Кайзера задаётся в метрах. При этом становится активным поле ввода диэлектрической проницаемости среды ε .

Если частотная характеристика измеряется в гармоническом ряде частот, то функция «Фильтрация» использует «*lowpass*» преобразование. При этом становятся активны элементы управления в группе «ЧХ [0 Гц]», рассмотренные в п. 7.5.2 при описании «*lowpass*» преобразования.

Параметр «**Функция окна**» задаёт способ применения окна $w(t)$:

при выделении

$$g'(t) = g(t) \cdot w(t), \quad (43)$$

при подавлении

$$g'(t) = g(t) \cdot (1 - w(t)), \quad (44)$$

7.6 Измерение времени развертки

Измерение времени развертки проводится с помощью функции «Время последнего свипа» или «Время свипа» при настройке параметров связанных маркеров (см. п. 4.10.4).

Настройка маркеров для измерения времени развертки производится в следующем порядке.

- Шаг 1.** Проверить готовность Р42 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Провести запуск Р42 в необходимом режиме измерения.
- Шаг 3.** Добавить два маркера, с помощью которых будет проводиться измерение времени развертки (о работе с маркерами см. п. 4.10), и установить связь между ними (см. п. 4.10.4).
- Шаг 4.** В контекстном меню связанного маркера выбрать сохраненную формулу «Время последнего свипа» или «Время свипа». Снять показания связанного маркера.

7.7 Исключение/встраивание цепей, компенсация

Если калибровка выполнена в одном тракте, а измерять необходимо в другом, приходится применять некоторую оснастку – крепления, переходы и т.п. – существенно искажающие результаты измерений. Исключить влияние цепи, включённой между плоскостью калибровки и исследуемым устройством, позволяет функция «исключения цепи» (рисунок 7.15).

Функция «встраивание цепи», наоборот, вносит влияние несуществующей при измерениях цепи (рисунок 7.15). Это может быть полезно при настройке устройства, которое будет включено в блок, содержащий некоторые корректирующие цепи или нагрузки.

Таким образом «встраивание» и «исключение» относятся к процессу измерений, т.е. если дополнительные цепи используются только при измерении, а при калибровке не используются, то необходимо применять функцию «исключение цепи»; а если наоборот – дополнительные цепи используются только при калибровке – то применять функцию «встраивание цепи».

Параметры встраивание или исключение цепей задаются в окне, вызываемом из меню «Калибровка > Встраивание/исключение цепей...» (рисунок 7.15).

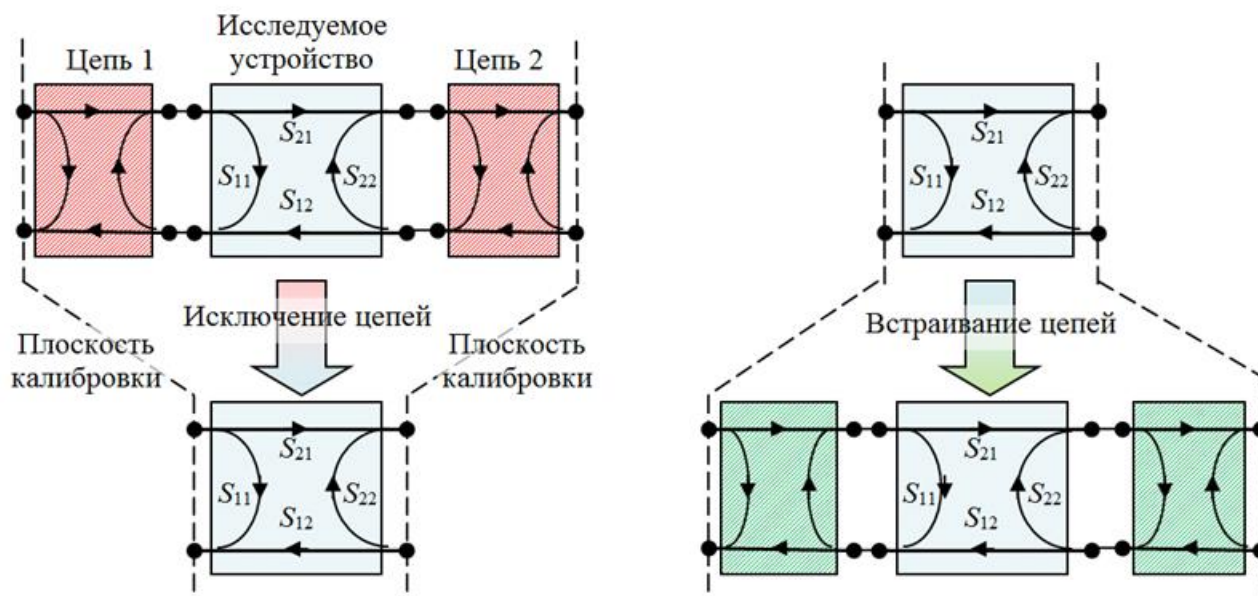


Рисунок 7.15 – Встраивание и исключение цепей

-  – добавить цепь;
-  – редактировать цепь;
-  – удалить цепь;
-  – применить изменения;
-  – закрыть диалоговое окно.

Флажок в первом столбце списка позволяет отключить влияние корректирующей цепи без удаления файла из списка.

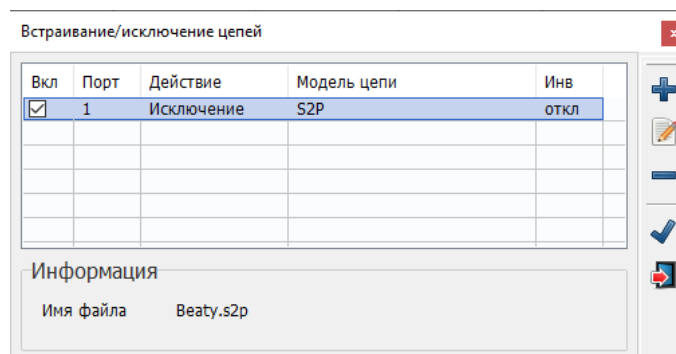


Рисунок 7.16 – Окно управления встраиванием и исключением цепей

Порядок работы с функцией встраивания или исключения цепей следующий:

Шаг 1. Добавить цепь нажатием кнопки  (удаление, соответственно, производится при помощи кнопки ).

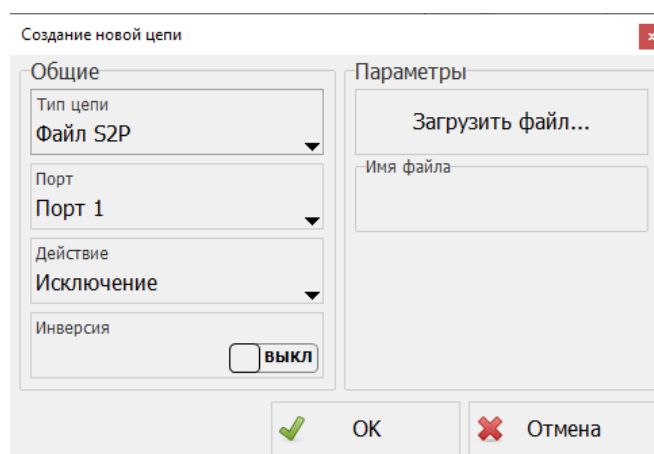


Рисунок 7.17 – Настройка цепи типа «Файл S2P»

Шаг 2. В открывшемся окне (рисунок 7.17) при необходимости изменить тип цепи:

а) «Файл S2P» (по умолчанию) – табличное описание цепи из файла в формате *Touchstone® S2P* (согласно документу «*Touchstone® File Format Specification*»);

б) «Параметрическая» – параметрическое описание цепи согласно выбранной модели (рисунок 7.18);

в) «Линия» – модель линии передачи с известными параметрами (рисунок 7.19).

Шаг 3. Настроить цепь, либо загрузить файл для цепи типа «Файл S2P».

Шаг 4. Выбрать порт, к которому подключена цепь; для эмуляции обратного

подключения невзаимной цепи использовать свойство «Инверсия».

Шаг 5. Выбрать действие, применяемое к цепи – исключение или встраивание.

Шаг 6. Закрывать окно создания цепи нажатием кнопки «ОК» и применить настройки изменения нажатием кнопки  в окне управления (рисунк 7.15).

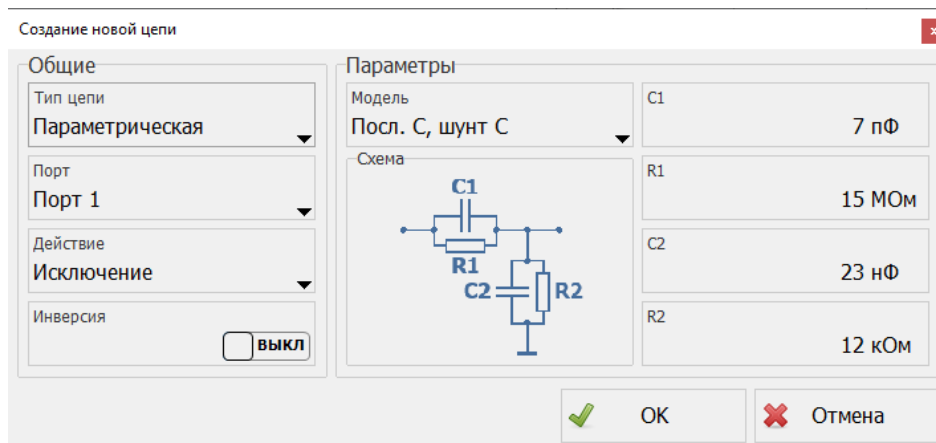


Рисунок 7.18 – Настройка параметрической модели цепи

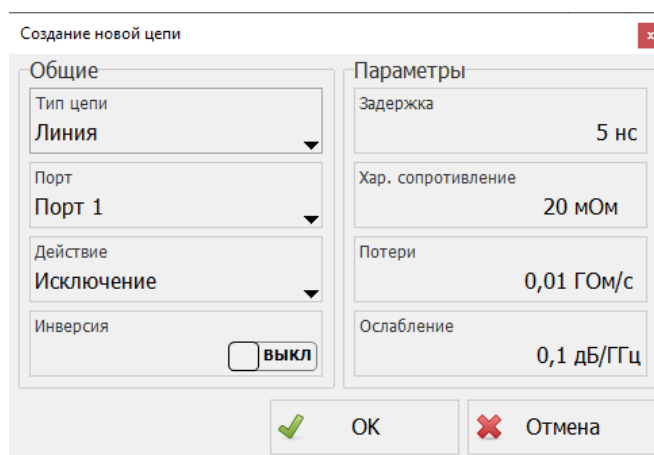


Рисунок 7.19 – Настройка модели линии

Ниже приведён пример исключения цепи, включённой между первым измерительным портом и исследуемым устройством (фильтр с полосой пропускания от 2 до 3 ГГц). В качестве искажённой цепи была использована кабельная сборка с аттенюатором 10 дБ. В нижней части рисунка 7.20 приведена диаграмма с исходными (искажёнными) характеристиками S_{11} и S_{21} . В верхней части рисунка – результат исключения цепи.

Цепь исключается почти «бесследно», если ослабление в цепи не превышает 10 дБ. При исключении цепей с ослаблением больше 20 дБ результаты

измерений становятся неудовлетворительными (особенно коэффициент отражения).



Рисунок 7.20 – Результат исключения цепи

7.8 Использование переходов

Разъёмы исследуемого устройства, калибровочных мер и кабельных сборок могут быть несовместимы друг с другом. Несовместимость может быть обусловлена различием как видов разъёмов (вилка или розетка), так и их типов (3,5 мм; 2,92 мм; 2,4 мм, N, III и др.) Для соединения устройств с несовместимыми разъёмами используются переходы.

Переходы вызывают дополнительные отражения, задержку и ослабление сигнала. Это не оказывает влияния на результаты измерений, если переход постоянно присутствует в тракте, как при калибровке, так и при измерениях. Если переход вставляется или удаляется после калибровки, его влияние необходимо учитывать. Ниже рассмотрены способы компенсации влияния переходов.

Метод эквивалентных переходов – самый простой способ компенсации влияния переходов. Используется метод при измерении невставляемых устройств, когда порты P42 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 7.21.

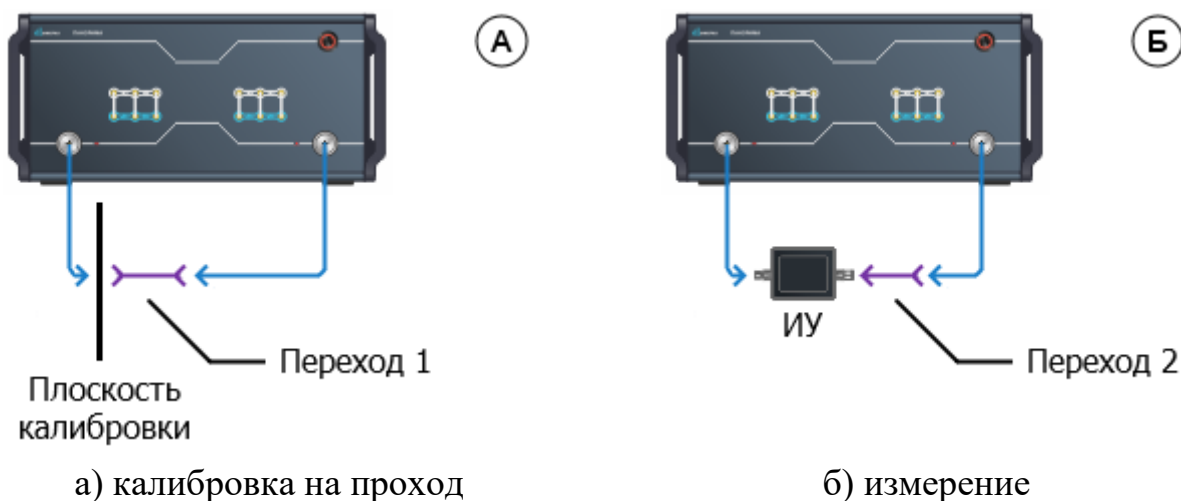


Рисунок 7.21 – Использование эквивалентных переходов

Эквивалентные переходы 1 и 2 трудно сделать одинаковыми, т.к. они имеют разъёмы различно 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 калибровки, т.е. воспользоваться «методом известного перехода», изложенным ниже.

Метод известного перехода – это калибровка на проход, используя переход, описанный таблицей S -параметров или величинами задержки и потерь, задаваемые редактором наборов калибровочных мер (подробнее в Приложение А). Схема этапа калибровки на проход приведена на рисунке 7.21-а, а при измерении исследуемого устройства подключается непосредственно к портам без каких-либо переходов.

Коррекция фазовой задержки – это функция над трассой, описанная в п. 7.5.1, позволяющая внести или компенсировать задержку сигнала эквивалентную задержке в исключённом или вставленном переходе.

Если известны S -параметры перехода, то можно воспользоваться функцией **исключения цепи**, описанной в п. 7.7.

7.9 Система синхронизации P42

В P42 предусмотрено два вида синхронизации – цифровая и аналоговая.

Система цифровой синхронизации предназначена для работы Р42 в комплексе с другими измерительными приборами (например для синхронной перестройки приборов по частоте) или для управления внешними устройствами – переключателями, модуляторами и т.п. Аналоговая синхронизация предназначена для синхронизации опорного генератора.

Для подключения измерительных приборов или внешних устройств на задней панели измерительного блока имеются следующие входы и выходы синхронизации:

- «СИНХР $n \rightarrow$ » – выходы (3 шт.; $n = 1, 2, 3$) сигналов цифровой синхронизации;
- «СИНХР $\rightarrow$ » – вход сигнала цифровой синхронизации;
- «ОГ $\rightarrow$ » – выход опорного генератора частотой 10 МГц (аналоговая синхронизация);
- «ОГ $\rightarrow$ » – вход опорного генератора частотой 10 МГц (аналоговая синхронизация).

Структурная схема системы синхронизации приведена на рисунке 7.22.

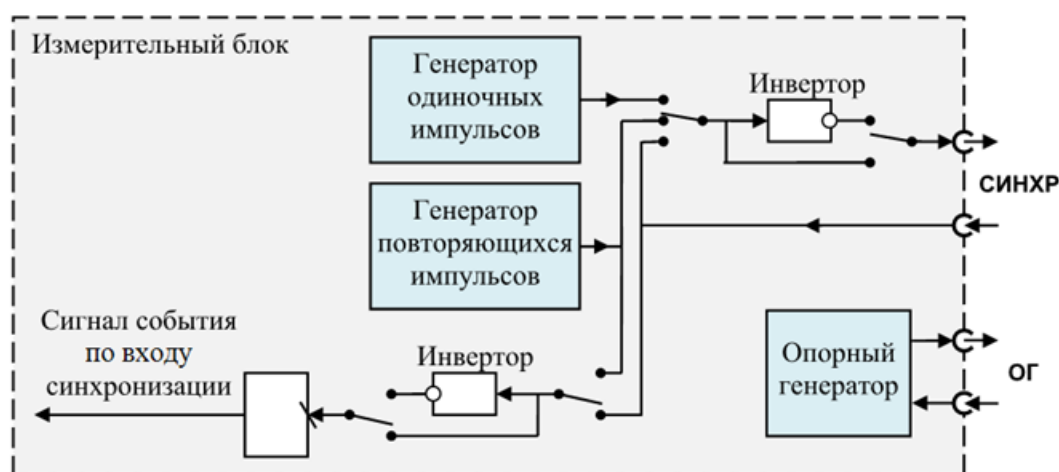


Рисунок 7.22 – Структурная схема системы синхронизации

Система аналоговой синхронизации

Опорный генератор является 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:

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

Система цифровой синхронизации

Генератор одиночных импульсов формирует импульсы при наступлении определённого события – начало перестройки частоты, окончание перестройки и др. Генератор повторяющихся импульсов непрерывно формирует последовательность импульсов с заданными параметрами. Уровни сигналов на входе и выходе (т.е. на «СИНХР $\rightarrow \curvearrowright$ » и «СИНХР п $\curvearrowleft$ ») должны соответствовать уровням ТТЛ.

Параметры системы синхронизации задаются на панели управления «Синхронизация», представленной на рисунке 4.13.

Режим работы выхода синхронизации задаётся в поле со списком «Синхровыход»:

- «не используется» – на выходе устанавливается постоянное напряжение 0 В или 5 В, если установлен флажок «Инвертирование»;
- «старт развёртки» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с началом развёртки по частоте;
- «след. точка» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с началом перестройки на очередную частотную точку;
- «захват ФАПЧ» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с окончанием перестройки частоты;
- «транслируется вход» – на выход поступает ретранслированный сигнал с входа;
- «транс. синхрогенератор» – на выход поступают импульсы с генератора повторяющихся импульсов;
- «на частоте маркера» – на выход поступают импульсы, фронт которых соответствует моменту генерации частоты, на которой установлен маркер с включённой функцией «Точка синхронизации» (рисунок 4.43-а).

Перечисленные выше сигналы могут инвертироваться с помощью переключателя «**Инверсия синхровыхода**».

Длительность одиночных импульсов на выходе синхронизации задаётся (в интервале от 1 до 255 мкс) в поле «Длительность импульса».

Параметры повторяющихся импульсов задаются полями с регулировкой значения «**Синхроген. (высокий/низкий уровень)**». Минимальные длительности высокого и низкого уровней равны 0,01 мкс. Максимальные длительности не должны в сумме превышать 170 000 мкс, т.е. период последовательности не может быть больше 170 мс.

На рисунке 7.23 приведены эпюры напряжений на выходе синхронизации, формируемых в зависимости от режима синхронизации и выполняемой

измерительным блоком операции.

Вход синхронизации. По фронту поступившего на вход синхроимпульса фиксируется «Событие по входу синхронизации» (рисунок 7.22). Включение тумблера «Инверсия синхровхода» позволит фиксировать событие по спаду синхроимпульса. Реакция измерительного блока на «Событие по входу синхронизации» задаётся в поле со списком «Синхровход»:

- «не используется» – поступившие на вход синхроимпульсы игнорируются;
- «старт развёртки» – по приходу синхроимпульса начинается развёртка по частоте; если синхроимпульс поступил раньше, то развёртка начинается немедленно;
- «след. точка» – по приходу синхроимпульса начинается перестройка на следующую частотную точку; если синхроимпульс поступил раньше, то перестройка начинается немедленно;
- «начало измерения» – по приходу синхроимпульса начинается измерение на текущей частоте; если синхроимпульс поступил раньше, то измерение начинается немедленно;
- «начало оцифровки» – аналог режима «начало измерения» для измерений в импульсном режиме (см. п. 7.11).

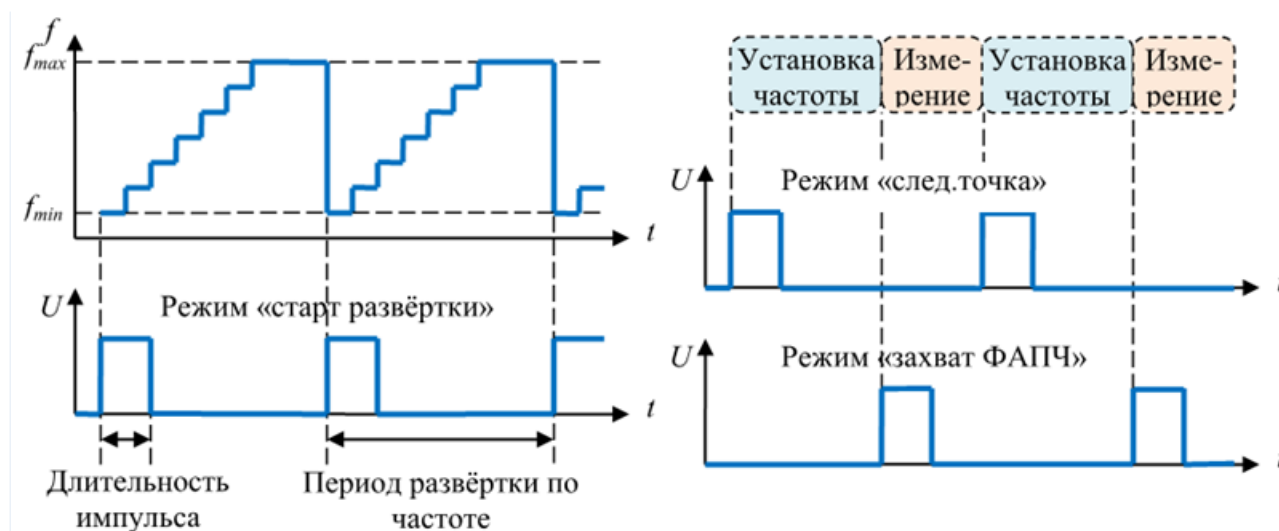


Рисунок 7.23 – Режимы работы выхода синхронизации

На рисунке 7.24 показано изменение этапов работы измерительного блока в зависимости от режима синхронизации и поступления входных синхроимпульсов.

Для синхронной работы приборов и корректных измерений важно также учесть следующее:

- ширина полосы обзора и количество точек в настройках обоих приборов должны быть одинаковыми;
- при запуске сканирования существует возможность пропуска пер-

вого синхроимпульса, когда один прибор стартовал и уже сформировал синхроимпульс, а второй ещё не начал работу; поэтому первым следует запускать прибор, ожидающий первый синхроимпульс.

Рассмотрим пример синхронной работы некоторого векторного анализатора Р4, выступающего в роли измерителя, и синтезатора частот Г7М (или Р2М) в режиме генератора.

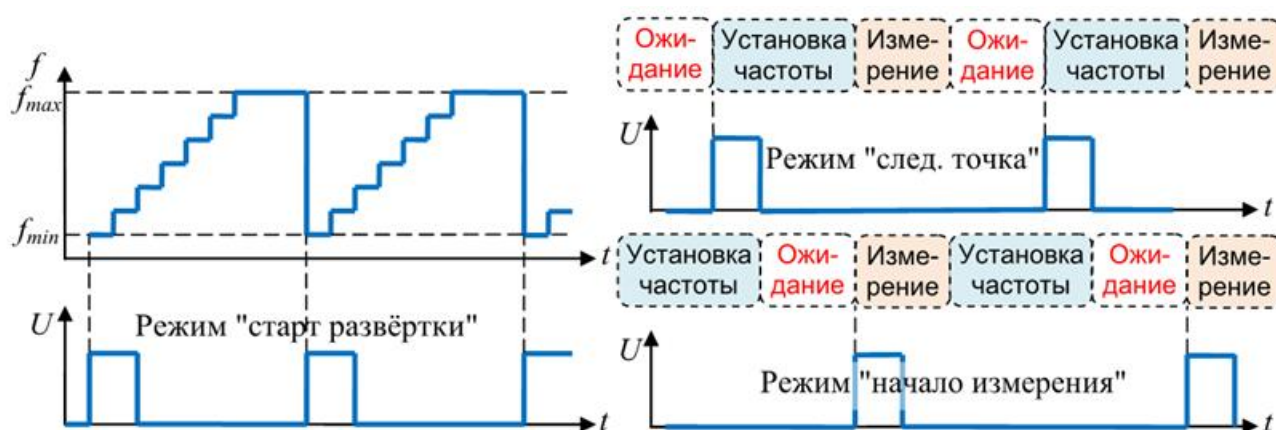


Рисунок 7.24 – Режимы работы входа синхронизации

Входы и выходы синхронизации соединяются и настраиваются в ПО *Graphit* согласно схеме на рисунке 7.25.

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 7.25). Вместо Р4 аналогично может быть подключен любой Р42.

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 в Р4 (см. «Фильтр ПЧ» в разделе 7).

❗ Запрещается подавать на СВЧ-входы Р42 мощность и постоянное напряжение, превышающие значения, указанные на передней панели Р42 рядом со знаком ⚠ (в случае превышения мощности на входе Р42 в программе управления на левой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки 🚫).

Для измерения «горячего» S_{22} в диапазоне частот требуется синхронная перестройка частот f_1 и f_2 . Необходимо соединить вход «СИНХР →» на задней панели Р4 с выходом «СИНХР ←» на задней панели Г7М; и наоборот – выход Р4 с входом Г7М.

В программе управления Г7М (или Р2М) следует задать диапазон изменения частоты f_1 и количество частотных точек. Для выхода синхронизации установить режим «захват ФАПЧ», для входа – «след. точка».

В ПО *Graphit* следует задать диапазон изменения частоты f_2 и количество частотных точек (такое же, как в Г7М).

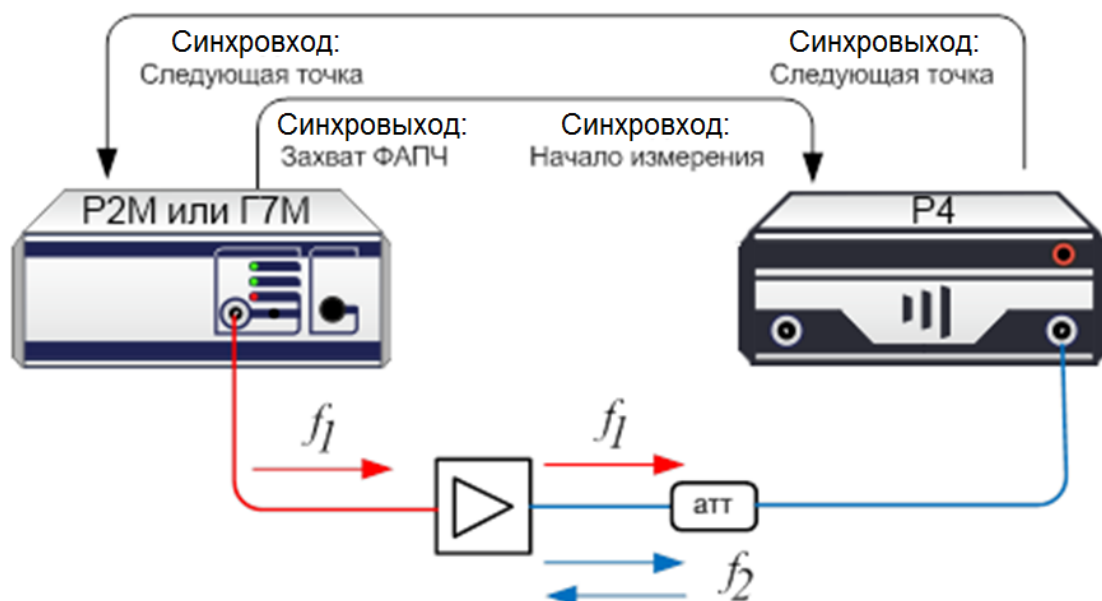


Рисунок 7.25 – Измерение «горячего» S_{22}

Начать измерение в частотной точке можно в том случае, когда оба прибора закончили перестройку в данную точку, поэтому сигнал «Захват ФАПЧ» от Р2М должен запускать начало измерения в Р42. В рассматриваемом примере измерения следует запускать сначала на Г7М.

В результате Р4 и Г7М будут работать следующим образом:

- а) с началом перестройки на следующую частоту Р4 формирует синхроимпульс;
- б) Г7М по фронту синхроимпульса также начинает перестройку частоты;
- в) Г7М, закончив перестройку частоты, формирует синхроимпульс;
- г) Р4, закончив перестройку частоты, ожидает прихода синхроимпульса, если тот не пришёл раньше, после чего начинает измерение.

7.10 Измерения устройств с преобразованием частоты

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ; а также после этапа пользовательской калибровки (см. п. 6.4.5).

7.10.1 Общие сведения

Для измерения устройств с преобразованием частоты для Р4213 и Р4226

предусмотрены следующие опции:

- Опция СЧП – смещение частоты приёмника, позволяет проводить измерение скалярного коэффициента преобразования Sc_{21} , мощность на частотах, отличных от частоты зондирования $b_{2c}(1 \rightarrow 2)$ и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств. Возможность отдельного управления частотой зондирования и частотой гетеродина, позволяет проводить измерения смесителей со скалярной калибровкой, умножителей частоты, анализировать уровень гармоник исследуемых устройств.
- Опция СПА – переключатель опорного канала, совместно с опцией ДПА (прямой доступ к приёмникам), позволяет проводить измерения комплексного коэффициента преобразования C_{21} , и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств.

Для синхронной работы Р42 и внешнего гетеродина следует использовать систему цифровой синхронизации приборов (см. п. 7.9).

7.10.2 Измерение параметров смесителей с векторной калибровкой

Измерение устройств с преобразованием частоты и векторной калибровкой на Р4213 и Р4226 возможно при наличии опций ДПА (прямой доступ к приёмникам) и СПА (переключатель опорного канала). Типовая схема измерения приведена на рисунке 7.26.

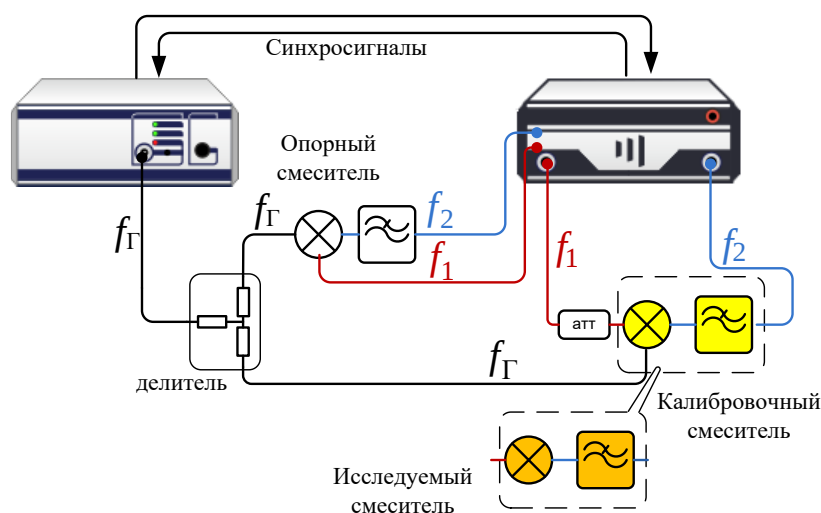


Рисунок 7.26 – Схема подключения для измерений устройств с преобразованием частоты

Опция ДПА позволяет включить в тракт приёмника опорного канала дополнительный смеситель («опорный» смеситель). Этот смеситель преобразует

опорный сигнал одной частоты (первого порта – f_1 (f_{RF})) в опорный сигнал другой частоты (второго порта – f_2 (f_{IF})), равной частоте сигнала в измерительном канале (см. рисунок 7.26). Равенство частот сигналов в опорном и измерительном каналах позволяет измерить комплексный коэффициент преобразования частотно-преобразующего устройства.

Переключатель в опорном канале (для Р4213 и Р4226 – опция СПА) коммутирует сигнал либо на «опорный» смеситель с целью преобразования опорного сигнала с частоты f_1 на частоту f_2 , либо направляет сигнал на приёмник без преобразования. Такая коммутация позволяет осуществить калибровку для измерений частотно-преобразующих устройств (векторная калибровка смесителей, см. п. 6.4.5).

 *Опция СПА автоматически активирует программную опцию «смещение частоты приёмника» (СЧП).*

Для проведения измерений с преобразованием частоты требуются:

- анализатор Р4213 или Р4226 с опциями ДПА, СПА, либо анализатор Р4226А;
- набор калибровочных мер или электронный калибратор;
- внешний генератор (Р2М, Г7М, PLG, либо другие в неуправляемом режиме), используемый в качестве источника сигнала гетеродина.

 *Р42 и генератор должны быть синхронизованы по опорной частоте (при полосе фильтра ПЧ менее 1 кГц) и по развёртке в случае перестройки гетеродина по частоте (см. п. 7.9 «Система синхронизации Р42 »).*

- Два дополнительных смесителя – «опорный» и «калибровочный» (служит мерой передачи для векторной калибровки смесителей);

«Опорный» смеситель должен:

- работать в требуемом диапазоне частот.

«Калибровочный» смеситель должен:

- работать в требуемом диапазоне частот;
- быть взаимным, т.е. $C_{21} = C_{12}$.
- рекомендуется, чтобы коэффициент преобразования $|C_{21}|$ «калибровочного» смесителя был более минус 10 дБ и изоляция на частоте f_{RF} ($|S_{21}|$ на частоте f_1) была не хуже минус 20 дБ.

Для обеспечения режима работы смесителей, возможно, потребуются дополнительное усиление сигнала гетеродина.

 *При высокой частотной неравномерности, а также для компенсации неизвестного ослабления оснастки сигнала гетеродина рекомендуется заранее произвести калибровку его мощности, используя измеритель мощности (см. п. 6.7.3).*

- Атенюатор (3-10 дБ) для улучшения согласования порта 1; аттенюатор уменьшает влияние сигналов на частотах f_2 и f_T , неучитываемых калибровкой;
- Фильтр, пропускающий преобразованный сигнал промежуточной частоты f_2 и подавляющий паразитные проникновения сигналов на частотах f_1 и f_T . Настоятельно рекомендуется использовать фильтр при калибровке.

i Фильтр добавляет задержку к ГВЗ и не позволяет измерять изоляцию S_{21} (на частоте f_1).

Р42 измеряет следующие параметры частотно-преобразующих устройств:

- комплексный коэффициент преобразования (C_{21});
- групповое время запаздывания (ГВЗ);
- комплексные коэффициенты отражения (S_{11} , S_{22});
- изоляцию на частоте f_{RF} ($|S_{21}|$ на частоте f_1).

! *Перед выполнением измерений необходимо выполнить векторную калибровку смесителей (см. п. 6.4.5).*

Измерения выполняются автоматически за 3 этапа зондирования:

а) Измерение некорректированного коэффициента преобразования C_{21}^M . Выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с включённым в опорный канал смесителем. Приёмники настраиваются на частоту f_2 .

б) Измерение некорректированного коэффициента отражения S_{22}^M . Выполняется зондирование частотой f_2 в обратном направлении с «перемычкой» в опорном канале. Приёмники настраиваются на частоту f_2 .

в) Измерение некорректированного коэффициента отражения S_{11}^M . Выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с «перемычкой» в опорном канале. Приёмники настраиваются на частоту f_1 .

После измерений выполняется коррекция измеренных величин с применением калибровочных данных.

i При отображении в формате ГВЗ рекомендуется в трассе использовать функцию сглаживания.

Пример: проведём измерение комплексного коэффициента преобразования C_{21} смесителя «MD621» производства фирмы АО «НПФ «Микран». Характеристики исследуемого устройства приведены в таблице 7.1. Частотный диапазон входного сигнала (f_1) = 4,5...20 ГГц, сигнала гетеродина (f_T) = 3,6...19,1 ГГц, промежуточная частота (f_2) = 900 МГц. Мощность зондирования 0 дБ/мВт. Требуемая мощность гетеродина от 15 до 18 дБ/мВт;

Т а б л и ц а 7.1 – Технические характеристики смесителя «MD616»

Диапазон частот, ГГц	3...6	6...10	10...17	17...26
Потери преобразования, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, P ₁ , дБ/мВт	10	12	12	13
Интермодуляция третьего порядка, ПРЗ, дБ/мВт	20	16	20	22
Возвратные потери по входу RF, RLRF, дБ	5	6	6	5
Возвратные потери по входу LO, RLLO, дБ	5	6	5	5
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Для проверки данных характеристик соберём схему измерений согласно рисунку 7.26; в качестве гетеродина будет использован **синтезатор частот Г7М-20**. Для обеспечения нормальной работы смесителя потребуется мощность гетеродина не менее +15 дБ/мВт. Максимальная выходная мощность Г7М-20 составляет +10 дБ/мВт, потери на делителе мощности составят 6 дБ. Таким образом, потребуется дополнительный усилитель мощности гетеродина с коэффициентом усиления порядка 12 дБ (рисунок 7.27).

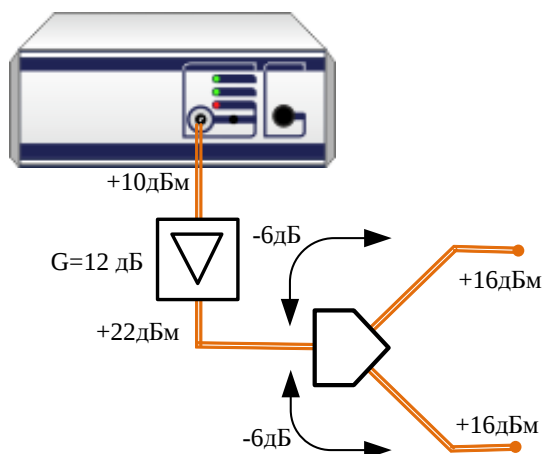


Рисунок 7.27 – Схема формирования сигнала гетеродина

В качестве «опорного» и «калибровочного» смесителя используем смесители «**MD621**». Фильтры промежуточной частоты – ППФ 900 МГц

Устанавливаем параметры измерений:

- Частота: «Старт» – 4,5 ГГц, «Стоп» – 20 ГГц, «Точек» – 501 (рисунок 4.12);
- Мощность: «Центр» – минус 4 дБ/мВт (с учётом согласующего аттенюатора 6 дБ мощность на СВЧ входе смесителя составит минус 10 дБ/мВт) (рисунок 4.12);

- «Фильтр ПЧ» -1 кГц (рисунок 4.12).

Настроить параметры преобразования частоты в мастере калибровки п. 6.4.5. Следуя указаниям мастера калибровки провести первые семь пунктов калибровки, рисунок 7.28. **Первые семь пунктов проводятся без использования «калибровочного» смесителя** с помощью набора калибровочных мер или электронного калибратора.

При измерении коэффициента отражения S_{11} смесителя выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с «перемычкой» в опорном канале. Приёмники Р42 настраиваются на частоту f_1 . Измерение S_{22} выполняется зондированием частотой f_2 в обратном направлении. Приёмники Р42 настраиваются на частоту f_2 .

 В приведённом примере преобразование осуществляется на фиксированную частоту $f_2 = 900$ МГц. Для того чтобы измерить коэффициент S_{22} при изменении f_2 , необходимо выполнить калибровку Р42 с соответствующими коэффициентами преобразования и частотами f_T .

При измерении коэффициента преобразования S_{21} выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с включённым в опорный канал смесителем. Приёмники Р42 настраиваются на частоту f_2 . Результат измерения коэффициента преобразования представлен на рисунке 7.29.

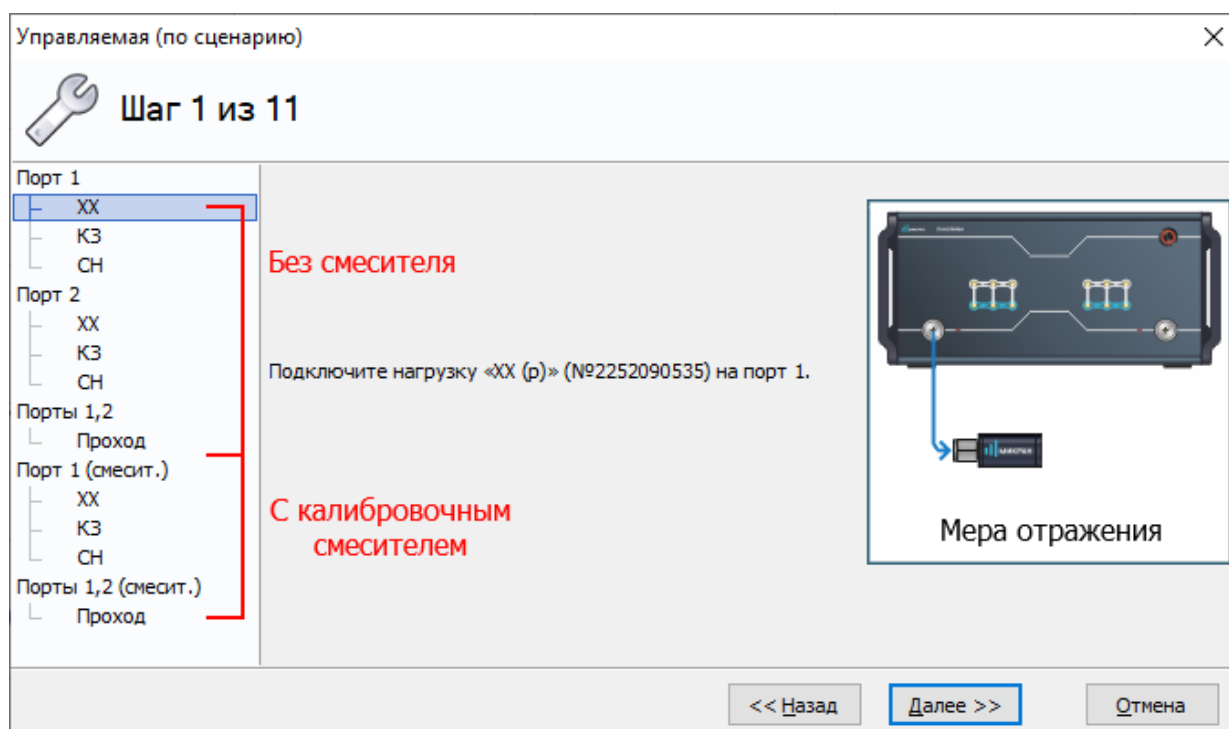
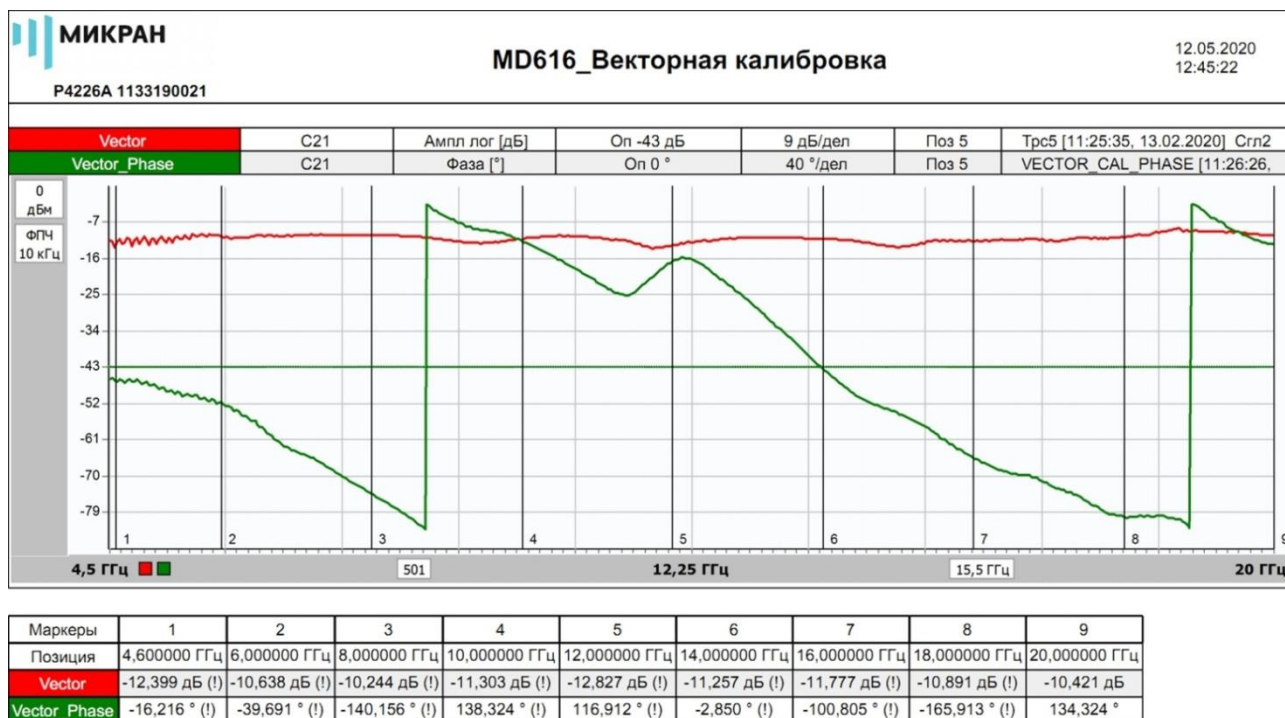
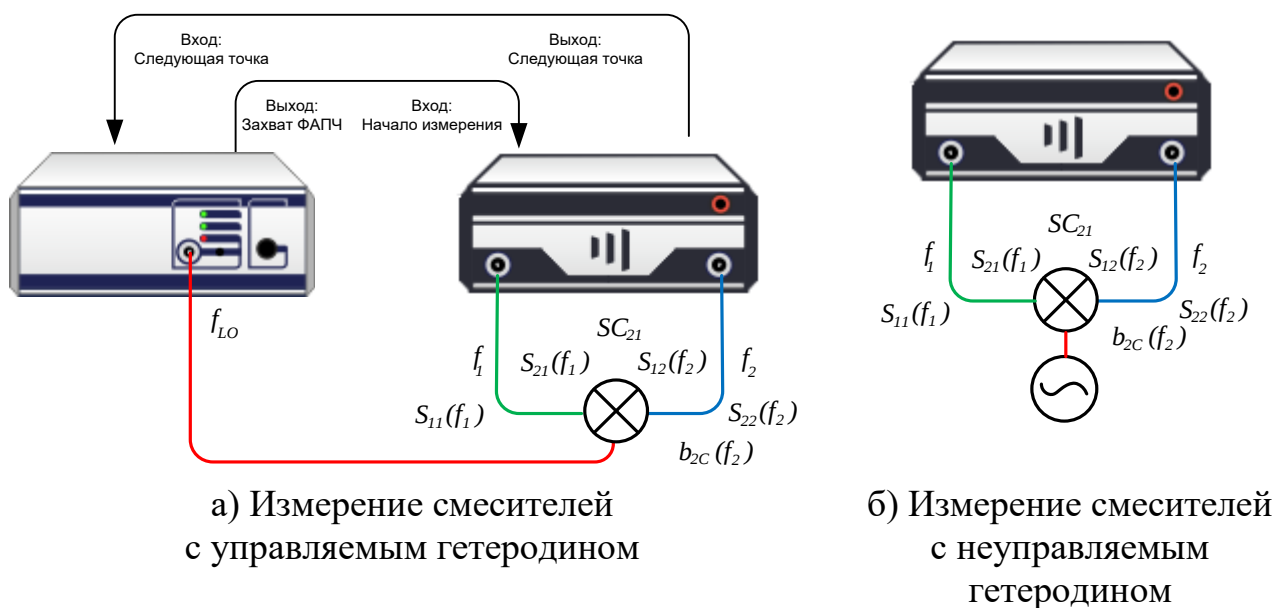


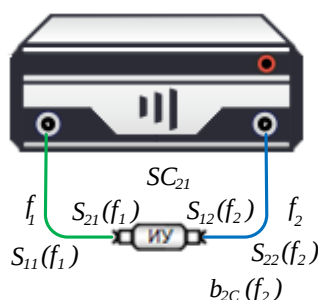
Рисунок 7.28 – Этапы калибровки с преобразованием частоты

Рисунок 7.29 – Результат измерения C_{21}

7.10.3 Измерение параметров смесителей/умножителей со скалярной калибровкой

Измерение устройств с преобразованием частоты со скалярной калибровкой требует для P4213 или P4226 наличие опции СЧП (смещение частоты приёмника, подробно про активацию опций описано в п. 3.4). Варианты измерительных схем с измеряемыми параметрами показаны на рисунке 7.30.





в) Измерение на произвольной
выходной частоте

Рисунок 7.30 – Измерение с преобразованием частоты
со скалярной калибровкой

В схемах с преобразованием частоты исследуемое устройство должно подключаться выходом ко второму порту Р42. Второй порт Р42 осуществляет измерение на частотах f_1 и f_2 . Ниже приведён список измеряемых параметров:

- $S_{11}(f_1)$ – комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f_1 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $S_{21}(f_{21})$ – комплексный коэффициент передачи, измеряемый приемником b2 на частоте f_2 , при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $S_{12}(f_{12})$ – комплексный коэффициент передачи, измеряемый приемником b1 на частоте зондирования f_1 , при зондировании портом 2 на частоте f_2 ;
- $S_{22}(f_2)$ – комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f_2 при зондировании портом 2 на частоте f_2 ;
- $a_{1c}(f_2)$ – мощность приёмника a1, измеренная на частоте f_2 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $b_{1c}(f_2)$ – мощность приёмника b1, измеренная на частоте f_2 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $a_{2c}(f_2)$ – мощность приёмника a2, измеренная на частоте f_2 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $b_{2c}(f_2)$ – мощность приёмника b2, измеренная на частоте f_2 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- SC_{21} – скалярный коэффициент преобразования, вычисляется как отношение $b_{2c}(f_2)$ к мощности, поступающей на исследуемое устройство на частоте f_1 .

Калибровку для измерения устройств с преобразованием частоты можно разбить на два шага:

Шаг 1. Калибровка мощности/коррекция приёмников. Подробное описание представлено в п. 6.7.1 и 6.7.2. Перед калибровкой мощности необходимо задать параметры измерения. Особенностью является задание диапазона зондирования. Так как мы собираемся работать на частотах f_1 и f_2 , то задаваемый диапазон зондирования должен вклю-

чать в себя частоты f_1 и f_2 .

Пример: зондировать мы собираемся на частотах от 1000 до 2000 МГц, а наблюдать мощность сигнала на выходе исследуемого устройства мы хотим на частотах от 3000 до 6000 МГц. В таком случае заданный диапазон зондирования для калибровки мощности/коррекции приёмников должен быть от 1000 до 6000 МГц.

Шаг 2. Двухпортовая калибровка в одном направлении. Подробное описание представлено в п. 6.4.3. Особенностью является то, что потребуется выполнить две калибровки:

- двухпортовая (порт 1) для частот f_1 , предварительно установив диапазон зондирования f_1 в параметрах зондирования;
- двухпортовая (порт 2) для частот f_2 , предварительно установив диапазон зондирования f_2 в параметрах зондирования.

Измерения:

Шаг 1. Установите параметры преобразования частоты на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 7.31-а).

Выражение для измерения устройств с преобразованием частоты выглядит следующим образом

$$f_2 = \frac{a}{b} \times f_1 + \frac{c}{d} \times f_{\Gamma} + f_{\text{см}}, \quad (45)$$

где a – множитель частоты зондирования Р42;

b – делитель частоты зондирования Р42;

f_{Γ} – частота гетеродина при наличии внешнего гетеродина в измерительной схеме. Если такой необходимости нет, то множитель c задаётся равным нулю ($c = 0$);

c – множитель частоты гетеродина;

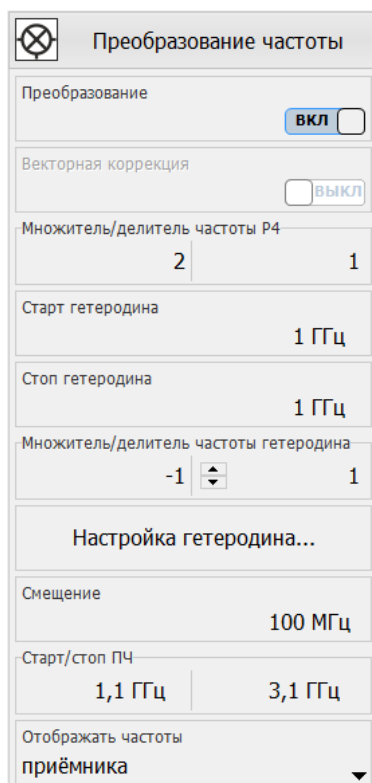
d – делитель частоты гетеродина;

$f_{\text{см}}$ – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

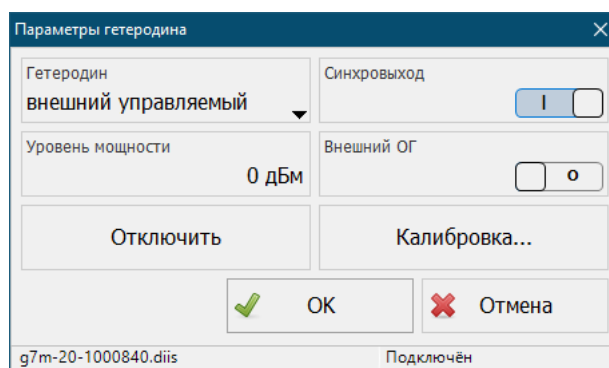
f_1 – частота зондирующего сигнала Р42;

f_2 – частота приёмника Р42, соответствующая частотам измерительного приёмника.

В строке «Старт/стоп ПЧ» отображается результат вычисления частотного диапазона f_2 .



а) Панель управления
«Преобразование частоты»



б) Окно настройки параметров гетеродина

Рисунок 7.31 – Конфигурация измерения исследуемого устройства с преобразованием частоты со скалярной калибровкой

Шаг 2. При использовании внешнего гетеродина в окне «Параметры гетеродина» (рисунок 7.31-б) выберите его тип:

- «внешний управляемый» (только для устройств Г7М, Р2М или PLG) для автоматического задания частоты, мощности, ОГ, режима синхронизации гетеродина и Р42 программным способом;
- «внешний неуправляемый» для устройств, настраиваемых любым другим ПО и имеющих систему синхронизации (только при необходимости перестройки гетеродина по частоте);
- «встроенный генератор» – для Р42, содержащих дополнительный источник сигнала (опционально).

При выборе режима управления «внешний управляемый» установите подключение к гетеродину и, при необходимости, используйте для него функцию «Внешний ОГ». В том случае, если синхронизация приборов невозможна, например, гетеродин имеет уникальные режимы синхронизации, следует отключить переключатель «Синхровыход».

 При высокой частотной неравномерности, а также для компенсации неизвестного ослабления оснастки сигнала гетеродина рекомендуется

заранее произвести калибровку его мощности, используя измеритель мощности (см. п. 6.7.3).

Шаг 3. Создайте измерительную трассу, для неё выберите «измерение» типа S_{C21} (рисунок 7.32).

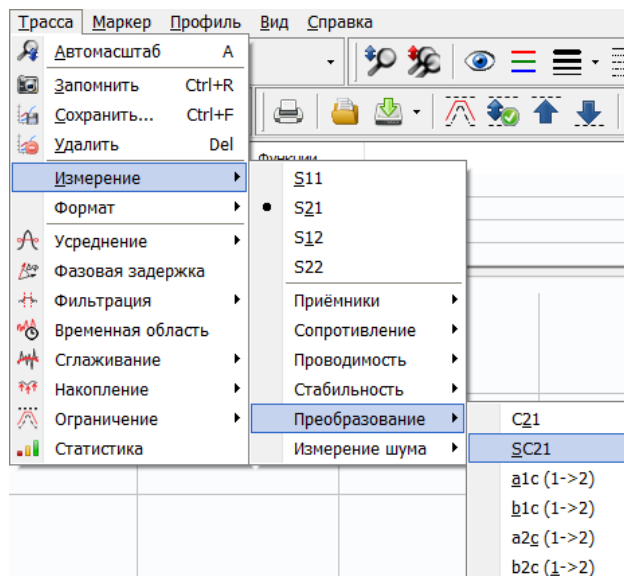


Рисунок 7.32 – Выбор «измерения» S_{C21} для трассы

Также можно добавить трассу «измерения» $b2c$ (1->2), которая будет отображать абсолютное значение мощности на частоте преобразования.

Пример измерения умножителя частоты представлен на рисунке 7.33: входные частоты от 3 до 6,75 ГГц, выходные частоты от 6 до 13,5 ГГц.

Изменяя параметры преобразования, можно исследовать исследуемое устройство на разных частотах.

При необходимости отображения на графике частот f_2 по оси абсцисс необходимо установить параметр «Отображать частоты» значение «приёмника».

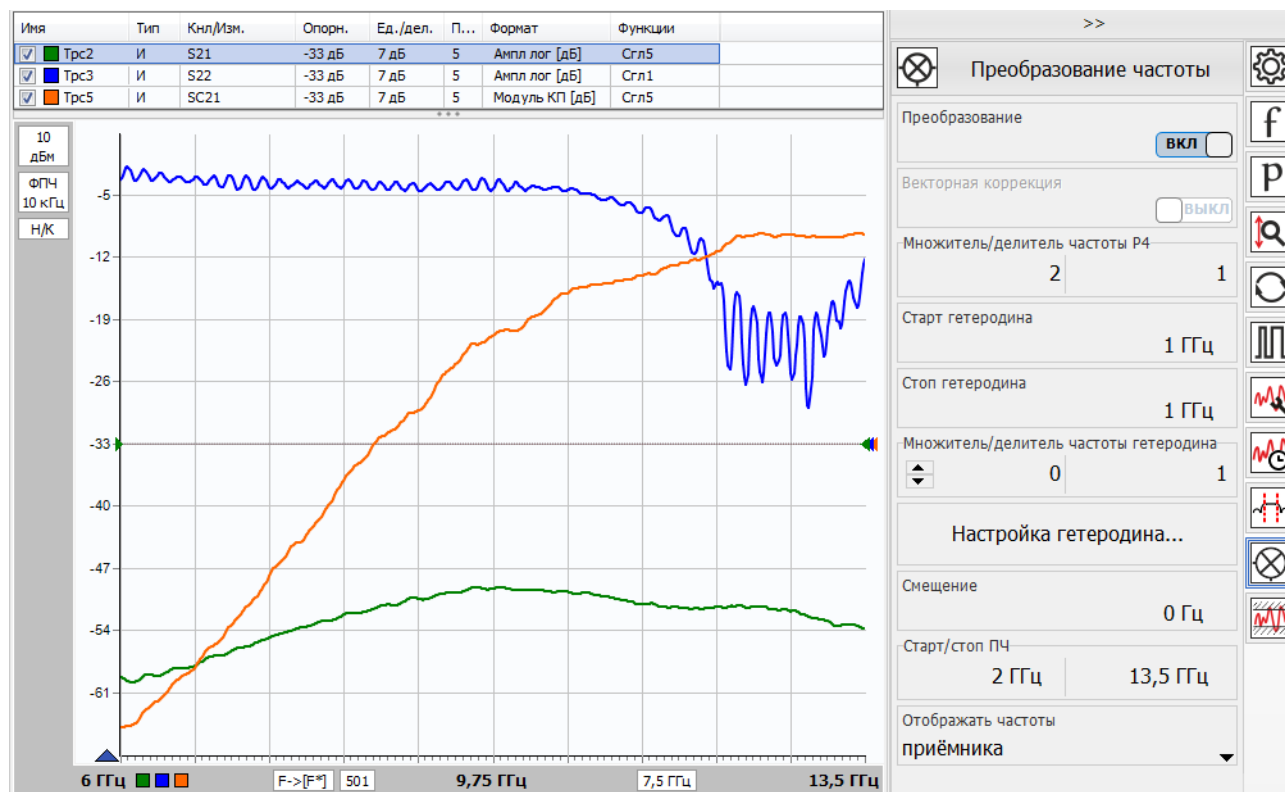


Рисунок 7.33 – Измерение умножителя частоты на два (SC_{21} – скалярный коэффициент преобразования, S_{21} – показывает нам преобразование на основной частоте, S_{22} – комплексный коэффициент отражения на частоте f_2 выхода умножителя)

7.11 Измерения в импульсном режиме

Для измерения устройств в импульсном режиме при помощи Р42 требуется наличие программной опции ИИП (подробно про активацию опций описано в п. 3.4).

Импульсные измерения – измерения S -параметров или значений мощности в пределах синхроимпульса или серии импульсов, применяемые для устройств, работающих в импульсном режиме, т.е. неспособных или нерассчитанных работать с непрерывными сигналами.

К данному применению относится и измерение **профиля импульса** – измерение переходных процессов в устройствах, работающих в импульсном режиме, или в управляемых коммутаторах, фазовращателях и т.п.

Р42 зондирует схему измерения *непрерывным* гармоническим сигналом, который при необходимости может быть модулирован внешним импульсным модулятором¹⁾. Для управления модулятором или исследуемым устройством в

¹⁾Импульсный модулятор не входит в комплект поставки анализатора.

составе Р42 имеется генератор импульсов (далее – синхрогенератор), формирующий последовательность импульсов ТТЛ уровня длительностью от 10 нс до 160 мс и периодом от 20 нс до 160 мс.

i Минимальная длительность импульса синхрогенератора определяется внутренней тактовой частотой Р42 и равна 10 нс. Минимальный период, соответственно, в 2 раза больше минимальной длительности импульса и равен 20 нс.

На рисунках 7.34 – 7.37 представлены варианты схем измерений с модулятором и без него. В варианте с модулятором последний включается в тракт зондирующего сигнала до направленного ответвителя вместо перемычки на передней панели Р42 (рисунок 7.34), или к измерительному порту (рисунок 7.35). Также предусмотрен вариант измерения с внешним источником модулирующего воздействия (рисунок 7.36). В варианте без модулятора (рисунок 7.37) переключения выполняются внутри исследуемого устройства, например, включается и выключается питание.

В Р42 возможны следующие варианты измерения устройств, работающих в импульсном режиме:

- «импульсный» режим (здесь и далее название данного режима взято в кавычки для отличия от импульсного режима измерений в целом) измерения S-параметров за серию импульсов или в пределах одного импульса в зависимости от длительности радиоимпульса и времени измерения (рисунок 7.38);

время измерений определяется значением фильтра ПЧ:

$$T_{\text{изм}} = 0,89 / f_{\text{ПЧ}}, \quad (46)$$

где $f_{\text{ПЧ}}$ – значение полосы пропускания фильтра ПЧ, Гц;

- измерение в режиме «Профиля импульса» путём изменения задержки в импульсном режиме с заданным шагом (рисунок 7.39).

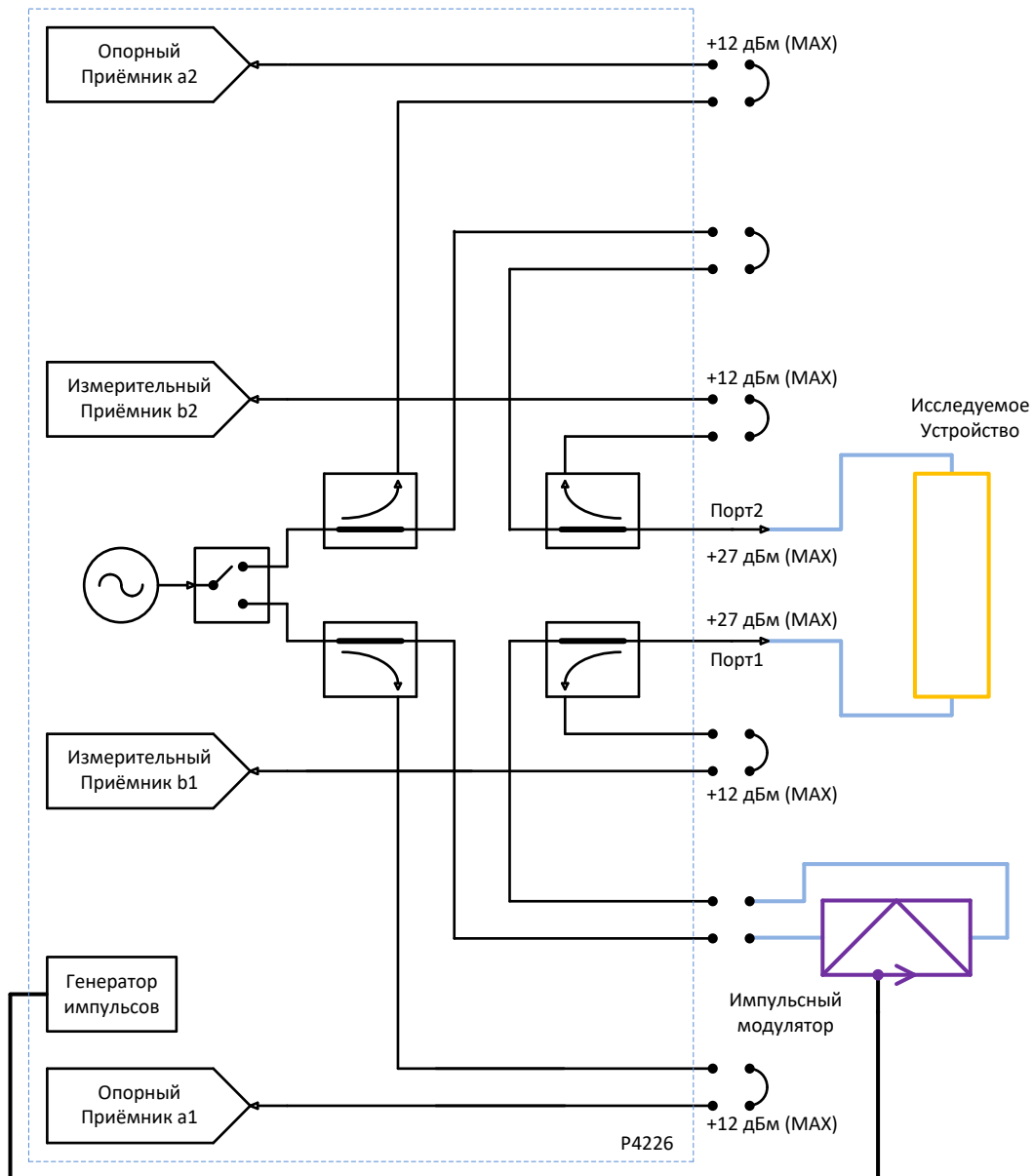


Рисунок 7.34 – Схема измерения с модуляцией зондирующего сигнала на примере Р4226 с опцией ДПА

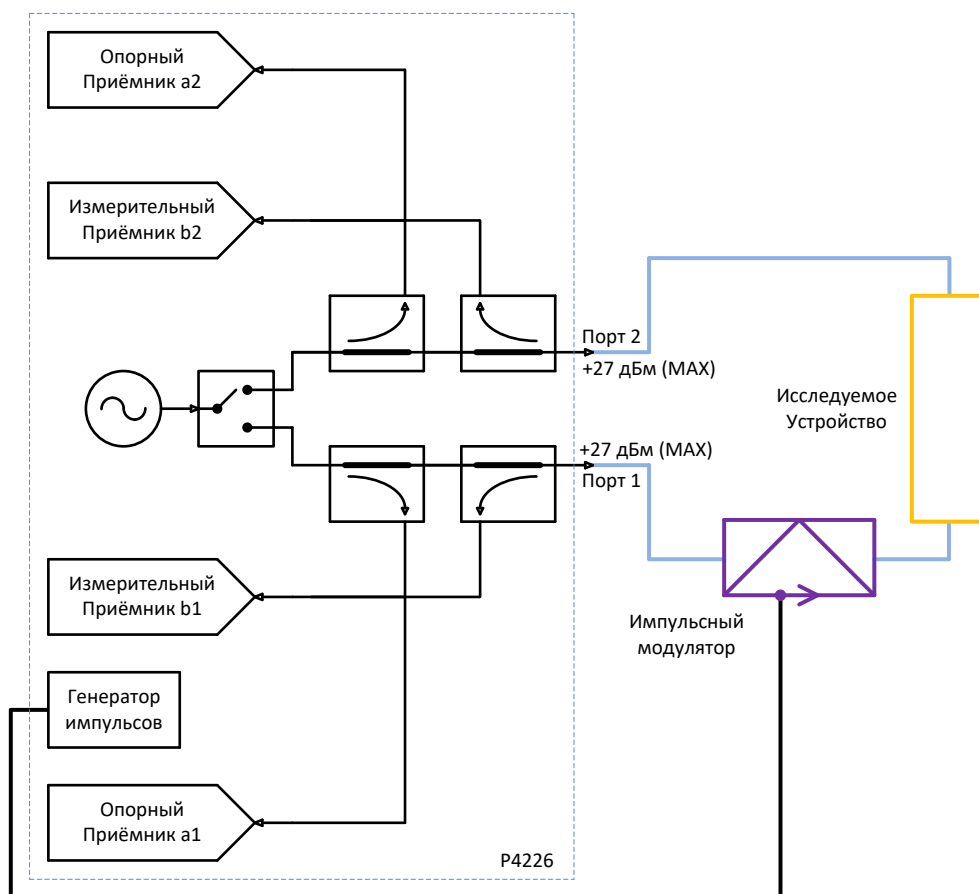


Рисунок 7.35 – Схема с модуляцией зондирующего сигнала

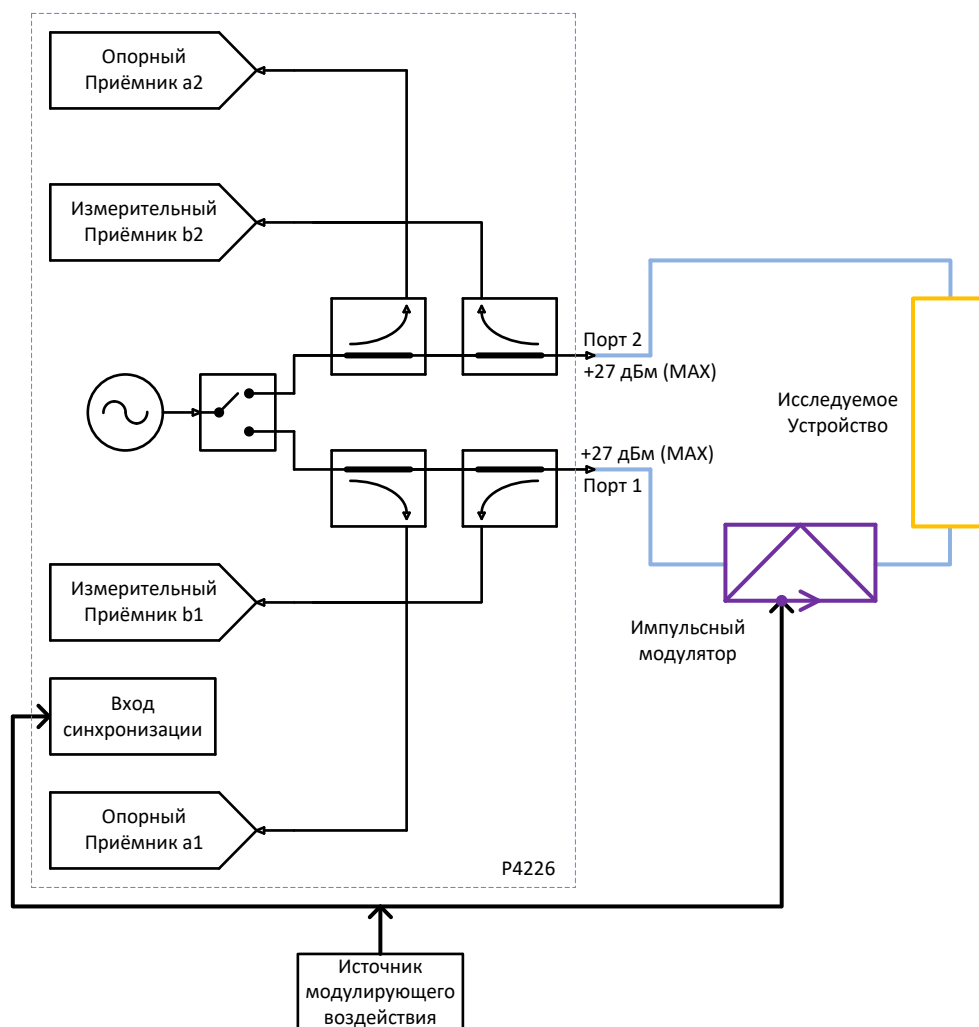


Рисунок 7.36 – Схема с внешним источником модулирующего воздействия

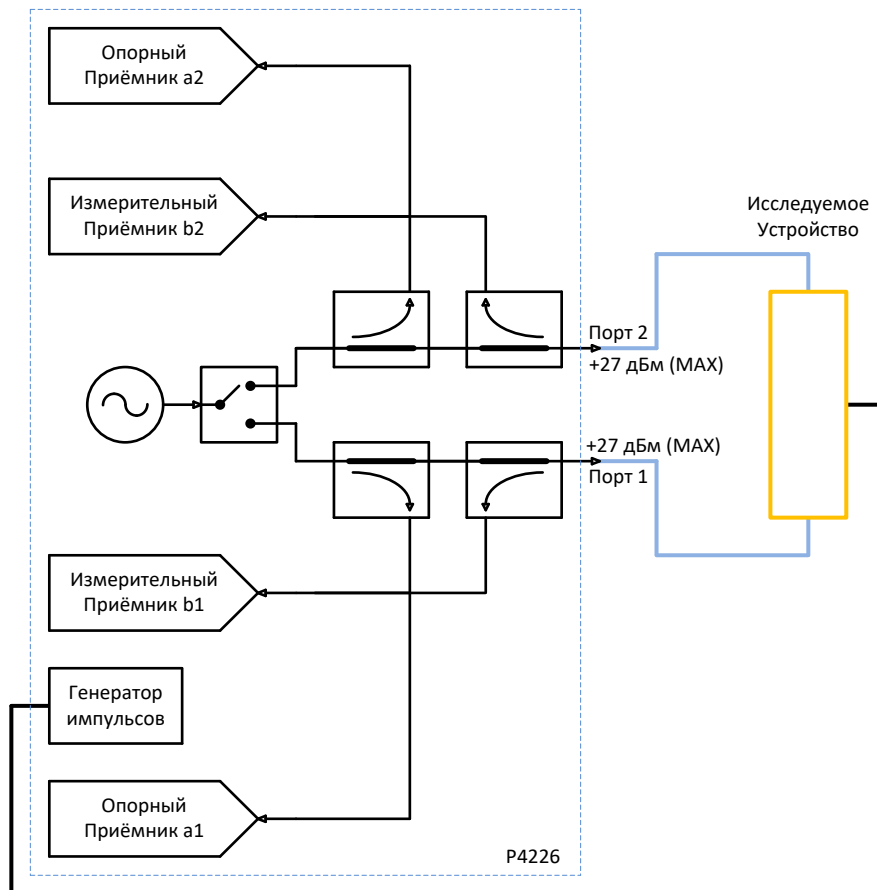


Рисунок 7.37 – Схема с коммутацией в исследуемом устройстве

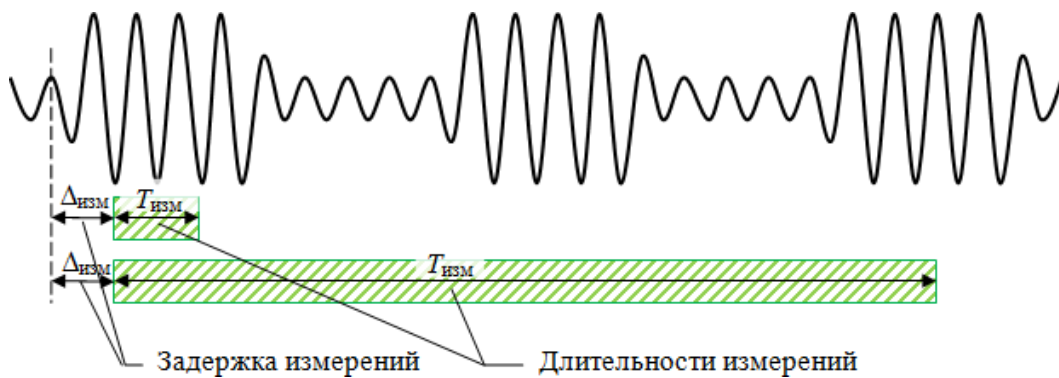


Рисунок 7.38 – Измерение в «импульсном» режиме

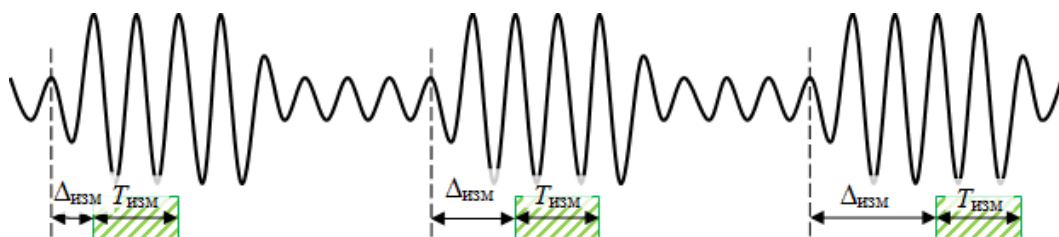


Рисунок 7.39 – Измерение профиля импульса с изменением задержки

7.11.1 «Импульсный» режим

Для получения модулирующего сигнала в тракте опорного сигнала и избавления от переходных процессов используется блок зануления отсчётов, который обнуляет сигнал на заданном интервале времени (задаётся параметром «Длительность окна», рисунок 7.41) с заданной задержкой от фронта импульсного сигнала («Старт обзора»). Эпюры времени представлены на рисунке 7.40.

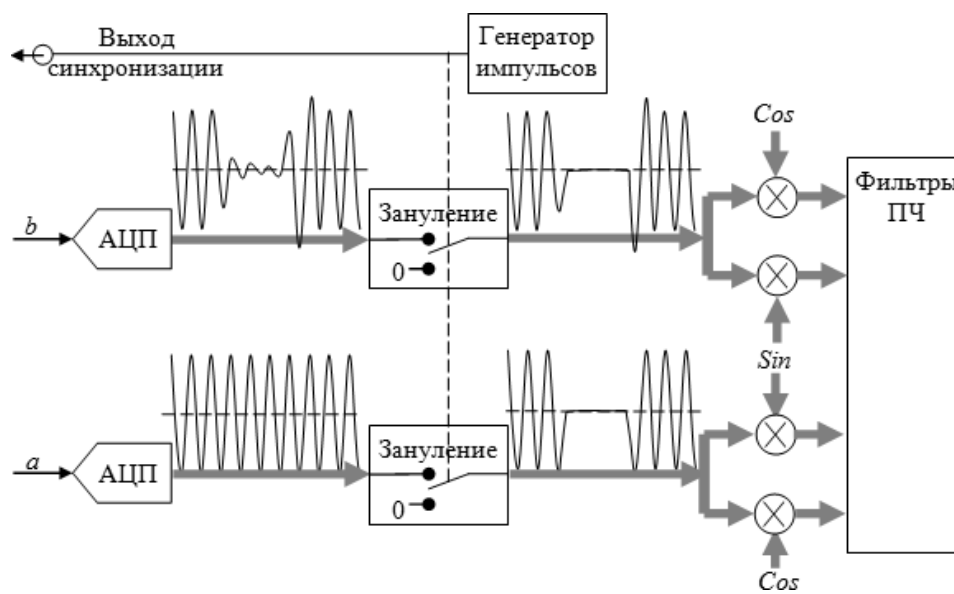


Рисунок 7.40 – Зануление отсчётов

Так как комплексные амплитуды сигналов измерительного и опорного трактов зануляются синхронно, то их отношение (оценка S -параметров) не изменится. Однако потеря части «полезных» отсчётов приведёт к ухудшению отношения сигнал/шум на величину, равную скважности импульсов. Для компенсации данных потерь потребуется увеличить время измерений. Например, при длительности импульса, равной 1 мкс, и периоде повторения 10 мкс, скважность импульсов равна $10/1=10$. Значит, на 10 дБ уменьшится отношение сигнал/шум, и в 10 раз необходимо увеличить время измерения для компенсации ухудшения отношения сигнал/шум.

Калибровка выполняется в непрерывном режиме (см. раздел 6). В случае использования внешнего модулятора калибровка осуществляется совместно с ним (рисунок 7.36), при этом модулятор находится в режиме «постоянно включён».

И Если модулятор переходит в режим «включён» с помощью высокого уровня управляющего напряжения, то обеспечить его можно инвертированием сигнала выхода синхронизации (рисунок 4.13) в режиме «не используется».

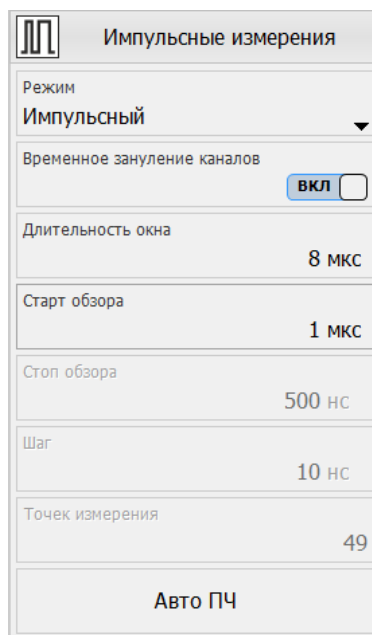


Рисунок 7.41 – Конфигурация режима «Импульсный»

Установка параметров измерений. Кроме параметров, задаваемых в непрерывном режиме (диапазон частот, мощность и т.п.), для измерений в импульсных режимах необходимо дополнительно установить параметры синхрогенератора и зануления.

Настройка синхрогенератора осуществляется на панели управления «Синхронизация» (рисунок 4.13) заданием длительности высокого и низкого уровней модулирующего импульсного сигнала и включением генерации импульсов при помощи режима «транс. синхрогенератор» выхода синхронизации (параметр «Синхровыход»).

Режим импульсных измерений определяется одноимённым параметром на панели управления «Импульсные измерения» (рисунок 7.41). В «импульсном» режиме необходимо задать следующие значения:

- «Временное зануление каналов» – включение/выключение зануления сигнала;
- «Длительность окна» – интервал времени, в течение которого сигнал не зануляется (далее – окно «незануления»); значения округляются до величины, кратной периоду сигнала ПЧ.

$$\tau_{\text{НЕЗАН}} = 50 \text{ нс} \dots 650 \text{ мкс}^1).$$

- «Старт обзора» – временная задержка от фронта синхроимпульса до начала интервала измерений, в котором сигнал не зануляется (далее – задержка окна «незануления»); позволяет исключить влияние переходных процессов.

¹⁾Для P4226, P4226A.

$$\Delta_{\text{изм}} = \pm 160 \text{ мкс}$$

- «Авто ПЧ» – автоматический выбор фильтра промежуточной частоты для импульсных измерений. Приравнивает время измерений к периоду повторения синхроимпульсов (длительность высокого плюс низкого уровня импульсов синхрогенератора).

Пример: требуется измерить S-параметры широкополосного усилителя в импульсном режиме.

 Для измерения усилителей в импульсном режиме наряду с опцией импульсных измерений (опция ИИП) рекомендуется оснастить Р42 набором встроенных аттенюаторов (для Р4213 и Р4226 – опция ДМА) для обеспечения линейного режима работы, как исследуемого усилителя, так и приёмников Р42. При отсутствии для Р4213 и Р4226 опции ДМА следует пользоваться внешними аттенюаторами.

В качестве исследуемого устройства будет использован широкополосный усилитель МАНW001040-2 производства фирмы АО «НПФ «Микран»:

- диапазон частот от 0,03 до 4,00 ГГц;
- коэффициент усиления 30 дБ;
- коэффициент шума 2,0 дБ (+25°C);
- $P_{\text{вых}}$ по сжатию на 1 дБ 15 дБ/мВт;
- КСВН вх/вых 2,0/2,0.

Шаг 1. Соберём измерительную схему с использованием импульсного модулятора согласно рисунку 7.34 и установим следующие параметры измерений (рисунок 4.12):

- Частота: «Старт»¹⁾ – 100 МГц, «Стоп» – 4 ГГц (рабочий диапазон частот измеряемого усилителя), «Точек» – 391 (шаг по частоте 10 МГц);
- Мощность зондирующего сигнала: «Центр» – минус 5 дБ/мВт (мощность, регулируемая системой АРМ), «Аттенюатор генератора» для первого порта – 20 дБ (дополнительное ослабление зондирующего сигнала внутренним аттенюатором), «Аттенюаторы приёмников» для второго порта – 10 дБ (дополнительное ослабление прошедшего через исследуемое устройство сигнала);
- «Фильтр ПЧ» – 10 кГц ($T_{\text{изм}} = 89 \text{ мкс}$).

Шаг 2. Переведём импульсный модулятор в режим «постоянно включён».

Шаг 3. Выполним полную двухпортовую калибровку согласно п. 6.4.4.

¹⁾Минимальная частота для Р4226, Р4226А в режиме импульсных измерений – 100 МГц.

Шаг 4. Подключим измеряемый усилитель входом к первому порту Р42, а выходом – ко второму. Запустим измерения в режиме «непрерывный» (рисунок 7.41) и сохраним результаты измерений в виде трасс памяти.

Шаг 5. На панели управления «Синхронизация» установим длительности высокого и низкого уровней модулирующего импульсного сигнала (параметры «Синхроген. высокий/низкий уровень») (рисунок 4.13):

- высокий уровень – 10 мкс;
- низкий уровень – 10 мкс.

Шаг 6. Включим генерацию импульсов, выбрав в качестве режима синхровыхода «транс. синхрогенератор», при этом инверсию импульсов необходимо выключить (в рамках данного примера).

Шаг 7. Установим параметры импульсного режима на панели «Импульсные измерения» (рисунок 7.41):

- включить «Временное зануление каналов»;
- «Длительность окна» – 8 мкс;
- «Старт обзора» – 1 мкс (задержка для устранения влияния переходных процессов).

Таким образом, измерения будут проводиться в пределах одного синхроимпульса за время 8 мкс с задержкой 1 мкс от фронта импульса.

Сравним результаты измерений в «непрерывном» и «импульсном» режимах (рисунок 6.47). Как видно, результаты измерений достаточно точно совпадают; при этом, чем меньше длительность низкого уровня синхросигнала, тем точнее S_{11} .



Рисунок 7.42 – Результаты измерений
в «непрерывном» и «импульсном» режимах

7.11.2 Режим «профиль импульса»

Метод измерения профиля импульса выполняется в импульсном режиме на фиксированной частоте и заключается в перемещении точки «Старт обзора», т.е. окна «незануления» (рисунок 7.39).

- ❗ **Профиль импульса измеряется по одной точке в каждой реализации переходного процесса. Если от реализации к реализации изменяется амплитуда или задержка переходного процесса, то профиль будет искажён.**
- ❗ **Развёртка по времени ограничена одним периодом синхросигнала!**

Калибровка выполняется в непрерывном режиме (см. раздел 6). В случае использования внешнего модулятора калибровка осуществляется совместно с ним (рисунок 7.36), при этом модулятор находится в режиме «постоянно вклю-

чён».

-  Если модулятор переходит в режим «включён» с помощью высокого уровня управляющего напряжения, то обеспечить его можно инвертированием сигнала выхода синхронизации (рисунок 4.13) в режиме «не используется».
-  Несмотря на то, что профиль импульса измеряется на одной частоте, калиброваться можно в диапазоне частот, это позволит измерить профиль на других частотах.

Установка параметров измерений имеет сходства с конфигурацией «импульсного» режима. На рисунке 6.48 представлена панель управления «Импульсные измерения» в режиме «Профиль импульса».

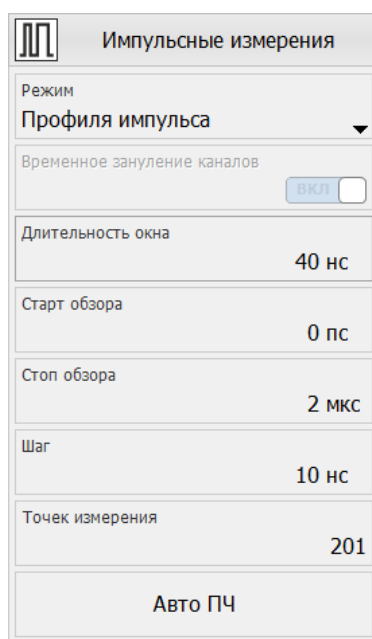


Рисунок 7.43 – Конфигурация режима «Профиль импульса»

-  При выборе режима «Профиль импульса» начальная и конечная частоты сканирования приравниваются к центральной частоте.

Кроме того, пользователю необходимо задать параметр «Стоп обзора» (конечное положение окна «незануления») и «Шаг» – интервал времени, который соответствует шагу перемещения окна «незануления». Параметры «Шаг» и «Стоп обзора» определяют количество точек перестройки, отображаемое на панели («Точек измерения»).

Пример. На рисунке 6.49 приведён пример измерения профиля импульса.

Заметно, что профиль импульса строится только в пределах периода синхросигнала. В оставшееся время сигнал занулён.

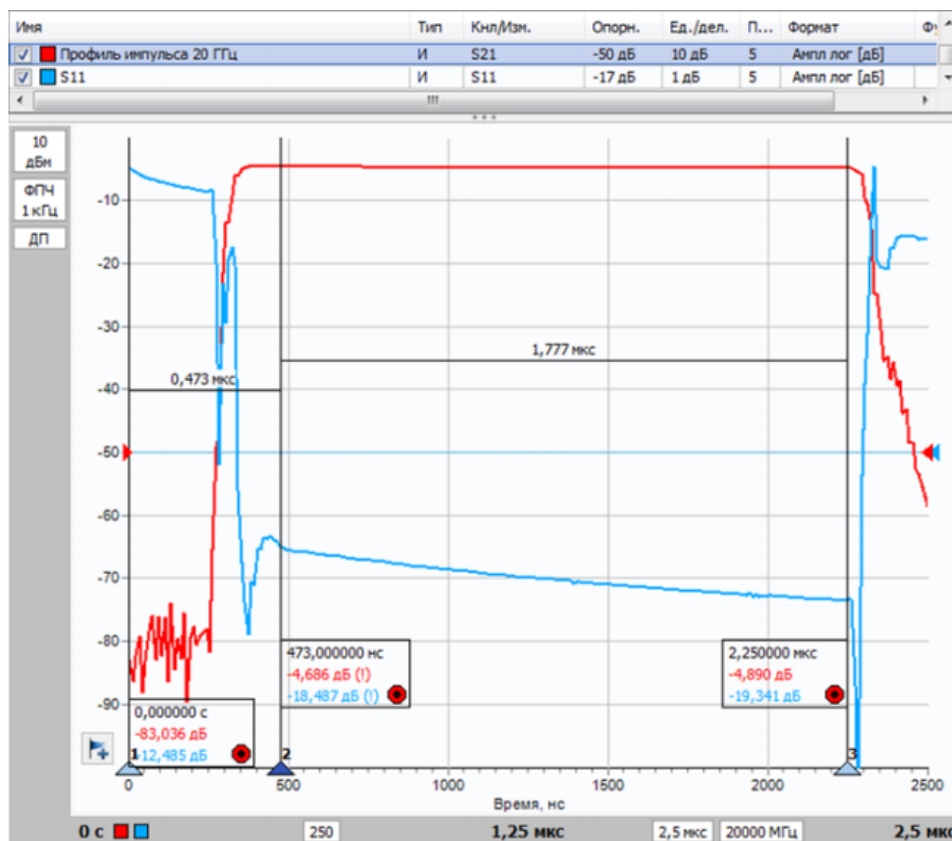


Рисунок 7.44 – Результат измерения в режиме «профиль импульса»

7.12 Измерение коэффициента шума

Р4226А позволяют проводить измерение **коэффициента шума** (КШ).

Существует два основных метода измерения коэффициента шума: **метод прямого измерения шума** (холодного источника) и **метод Y-фактора** (холодного и горячего источника).

Метод Y-фактора применяется в большинстве выпускаемых измерителей коэффициента шума. Такой метод подразумевает наличие генератора шума (ГШ) на входе измеряемого устройства во время проведения измерения. Такой метод, например, применяется в измерителе коэффициента шума X5M-04, X5M-18, анализаторах спектра СК4М-18А, СК4М-50.

В Р4226А для измерения коэффициента шума применяется метод холодного источника (*Cold-method* или *Gain-method* – в иностранной литературе). Данный метод подразумевает использование генератора шума только во время проведения пользовательской калибровки, далее, в процессе измерения, ГШ не участвует, при этом требуется измерение S_{21} -параметра ИУ. Как описывалось в п. 6.4.6, возможны разные варианты пользовательской калибровки: скалярная и векторная. Векторная коррекция (компенсации рассогласований между исследуемым устройством и измерителем) позволяет повысить точность измерения

коэффициента шума методом холодного источника, переносить плоскость калибровки и выполнять несколько измерений за одно подключение к Р42.

Для расчёта коэффициента шума (в отн. ед.) используется следующее отношение:

$$F = \frac{N_{out}^{DUT}}{N_0 \times |S_{21}|^2},$$

где N_{out}^{DUT} – мощность шума на выходе исследуемого устройства (ИУ), выделяемая на нагрузке Z_0 (в полосе приёмника Р42) при подключённой согласованной нагрузке на входе ИУ, Вт; N_0 – мощность теплового шума от согласованной нагрузки (т.е. холодного (290° К) источника) в полосе приёмника Р42, Вт; $|S_{21}|^2$ – коэффициент передачи ИУ по мощности, нагруженного на Z_0 ; Z_0 – системный импеданс, отн. ед.

 *Измерение коэффициента шума в Р4226А проводится с помощью шумового приёмника, установленного на втором порту.*

Особенности измерения коэффициента шума:

- для измерения коэффициента шума ИУ подключается ко второму порту Р42;
- для достижения максимальной точности и стабильности измерения коэффициента шума, между выходом ИУ и портом 2 Р42 должно быть наименьшее количество элементов, вызывающих дополнительные потери;
- выход питания ГШ +28 В расположен на задней панели Р42;
- рекомендуется использовать генераторы шума с ИОШТ (ENR) более 10 дБ (в противном случае можно на выход ГШ подключить дополнительный усилитель, предварительно измерив модуль его коэффициента передачи и соответствующим образом откорректировав ИОШТ ГШ; следует иметь в виду, что при этом погрешность ИОШТ увеличится);
- минимальную точку сжатия шумовой приемник Р42, как правило, имеет на частоте около 4 ГГц (т.е. на данной частоте наибольшие ограничения для верхнего предела суммы, в дБ, КУ и КШ ИУ); а наибольший уровень собственного шума – на частоте около 6 ГГц (т.е. на этой частоте определяется наименьшее возможное значение для ИОШТ ГШ и нижний предел для суммы, в дБ, КУ и КШ ИУ);
- для достижения минимального среднеквадратического значения шумов и стабильности измерительной трассы коэффициента шума, необходимо запускать процесс измерений (т.е. процесс перестройки гетеродина по частоте) на 10 мин непосредственно перед началом

измерений для выбранного частотного диапазона. Подобный прогрев рекомендуется проводить всякий раз после смены диапазона сканирования по частоте или кратковременной остановки измерений.

Уровень мощности на выходе ИУ:

- для обеспечения наилучшей точности измерения коэффициента шума уровень выходной мощности ИУ должен быть на 15-20 дБ ниже точки сжатия этого ИУ во время измерения *S*-параметров;
- чтобы уменьшить дрожание коэффициента шума, уровень мощности на измерительном приёмнике *b2* (порт 2) должен быть выше минус 20 дБ/мВт во время измерения *S*-параметров, но не превышать уровень 0 дБ/мВт;
- лучший способ контроля мощности на входе приёмника *b2* – это отображение трассы измерения *b2* (1->2);
- для ИУ с коэффициентом усиления ниже 15 дБ используйте согласующий аттенюатор на выходе порта 1;
- оптимизируйте измерительную схему таким образом, чтобы калибровка и измерения проводились при одних и тех же значениях выходной мощности аттенюаторов источника и приёмника.

Усиление шумового тракта приёмника. В Р4226А предусмотрена возможность управления усилением тракта шумового приёмника за счёт включения/выключения встроенных аттенюаторов с суммарным ослаблением 14 дБ. Выбор режима усиления (рисунок 7.45) осуществляется исходя из суммы значений ожидаемого коэффициента усиления (КУ) и ожидаемого коэффициента шума (КШ):

- высокое (аттенюаторы выключены), если $KУ [дБ] + КШ [дБ] < 40 дБ$;
- низкое (аттенюаторы включены), если $40 дБ < KУ [дБ] + КШ [дБ] < 54 дБ$.

Реализация измерительного блока Р4226А представлена на рисунке 7.46.

Для проведения измерения коэффициента шума потребуются:

- анализатор Р4226А;
- генератор шума;
- набор калибровочных мер или электронный калибратор;
- набор кабельных сборок.

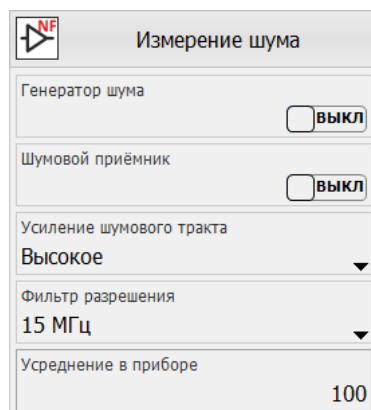


Рисунок 7.45 – Панель управления «Измерение шума»

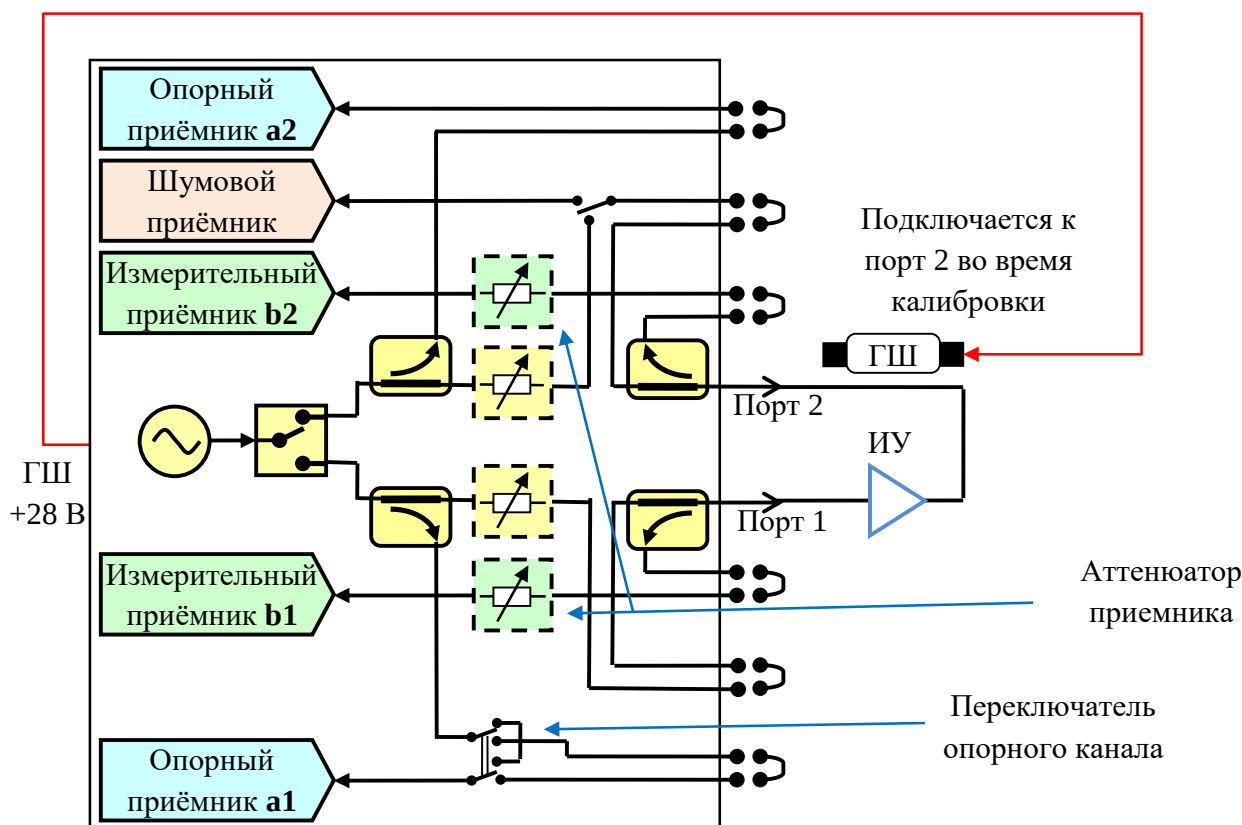


Рисунок 7.46 – Реализация измерительного блока Р4226А для измерения коэффициента шума

7.12.1 Измерение КШ со скалярной калибровкой

Пример: требуется измерить коэффициент шума (NF), коэффициент передачи (S_{21}), возвратные потери (S_{11} и S_{22}), развязку (S_{12}) усилителя «LNA20/1» производства фирмы АО «НПФ «Микран». Частотный диапазон при измерении

50 МГц ... 20 ГГц, мощность зондирования – 15 дБ/мВт. Ожидаемый КУ = 33 дБ, ожидаемый КШ = 6 дБ. Технические характеристики усилителя приведены в таблице 7.2.

Т а б л и ц а 7.2 –Технические характеристики усилителя «LNA20/1»

Диапазон рабочих частот, ГГц	0,01 ...20			
	0,01 ... 2	2 ... 6	6 ... 14	14 ... 20
Усиление (S_{21}), дБ	≥ 30	≥ 27	≥ 30	≥ 33
Коэффициент шума (NF), дБ	6	4	3	6
Выходная мощность, при сжатии на 1 дБ ($P1дБ$), дБ/мВт	14	13	12	12
Возвратные потери (S_{11}), дБ	≤ -14			
Возвратные потери (S_{22}), дБ	≤ -12			

Для проведения калибровки КШ будем использовать генератор шума «ГШМ2-20» производства фирмы АО «НПФ «Микран».

Шаг 1. Восстановить начальные параметры (см. п. 4.9).

Шаг 2. Установить следующие параметры измерений:

- Частота: «Старт» – 50 МГц, «Стоп» – 20 ГГц (рабочий диапазон частот измеряемого усилителя), «Точек» – 501;
- Мощность зондирующего сигнала – минус 15 дБ/мВт.

❗ При установке мощности зондирования необходимо учитывать ожидаемый коэффициент усиления (КУ) измеряемого устройства, чтобы приёмник оставался в линейном режиме работы, и, в случае необходимости, задавать ослабление сигнала, попадающего на измерительный приёмник b2 второго порта.

- В нашем случае необходимо дополнительное ослабление зондирующего и принимаемого сигнала, для этого необходимо установить ручное управление аттенюаторами, 10 дБ аттенюатор генератора первого порта и 20 дБ аттенюатор приёмника второго порта;
- «Фильтр ПЧ» – 1 кГц.

Шаг 3. Задать параметры шумового приёмника на панели «Измерение шума» (рисунок 7.45):

- «Усиление шумового тракта» – «высокое»;
- «Фильтр разрешения» – 15 МГц;
- «Усреднение в приборе» – 1.

Шаг 4. Создать измерительную трассу для измерения КШ (рисунок 7.47).

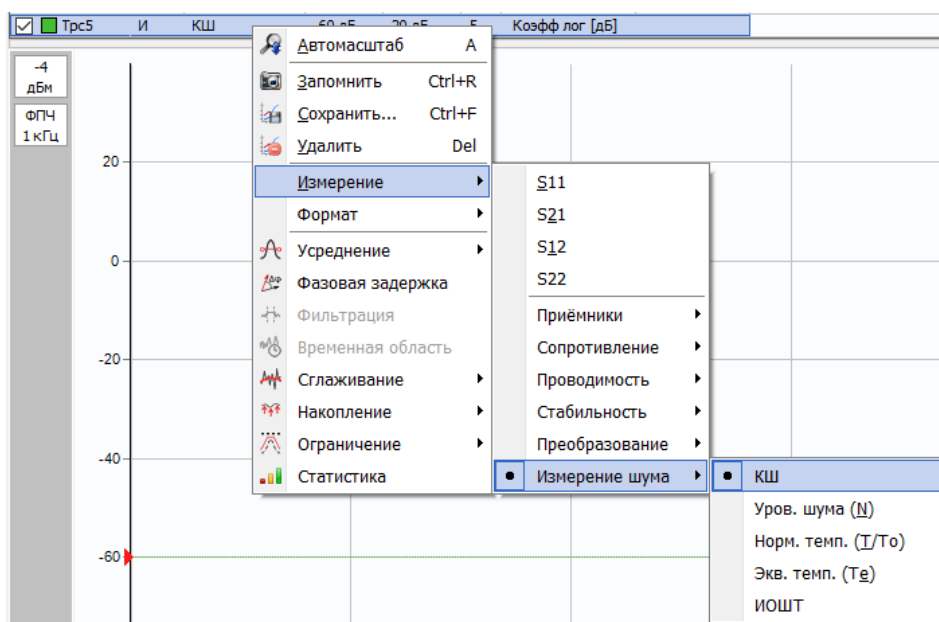


Рисунок 7.47 – Создание трассы измерения КШ

- Шаг 5.** Выполнить полную двухпортовую калибровку P42 при помощи набора калибровочных мер (см. п. 6.4.4) или электронного калибратора (см. п. 6.5).
- Шаг 6.** Выполнить скалярную калибровку КШ (см. п. 6.4.6) без дополнительных функций (т.е. все флажки на третьем этапе калибровки сняты) с использованием выбранного генератора шума. Характеристику ИОШТ (ENR) необходимо загрузить из файла в таблицу на третьем шаге мастера калибровки.
- Шаг 7.** После завершения калибровок подключить исследуемое устройство между портами P42, как показано на рисунке 7.46, и провести измерение (результаты измерений приведены на рисунках 7.48 и 7.49).

Из рисунков 7.48, 7.49 и табличных данных видно, что результаты измерения соответствуют техническим характеристикам, заявленным производителем ИУ.

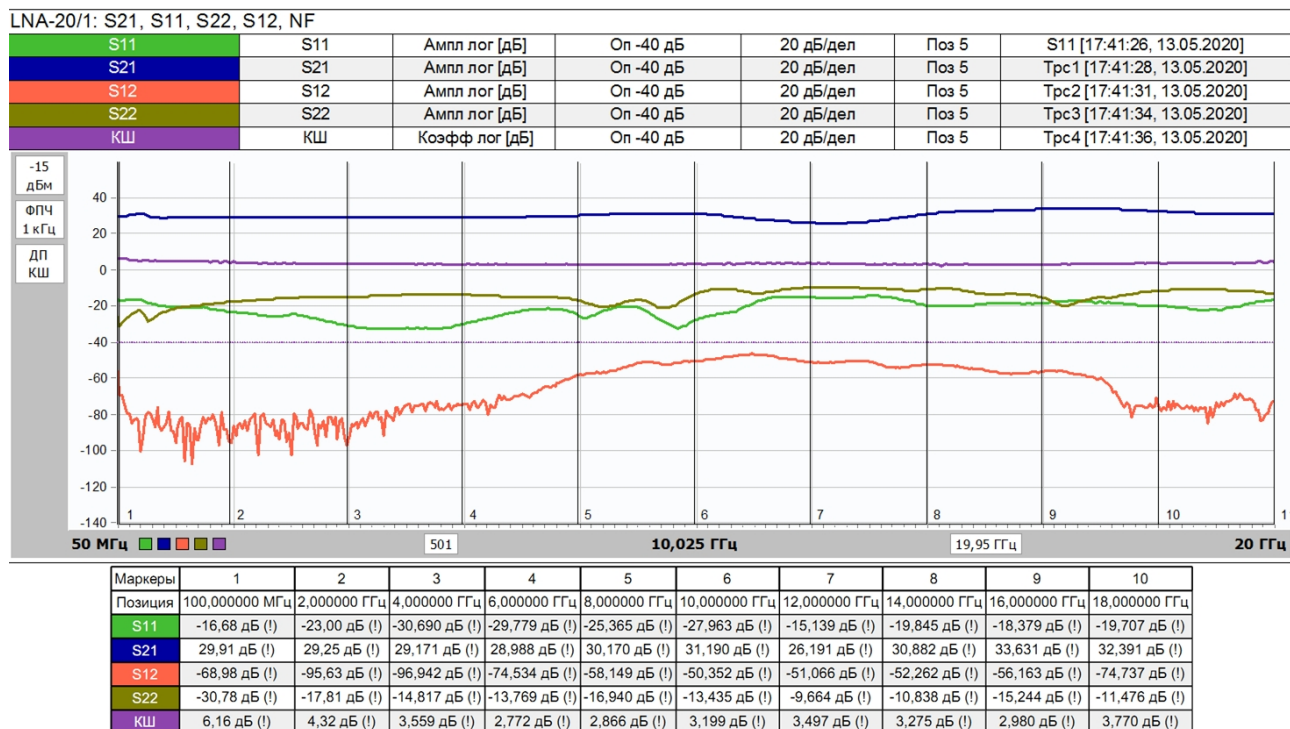


Рисунок 7.48 – Результаты измерения параметров «LNA20/1»

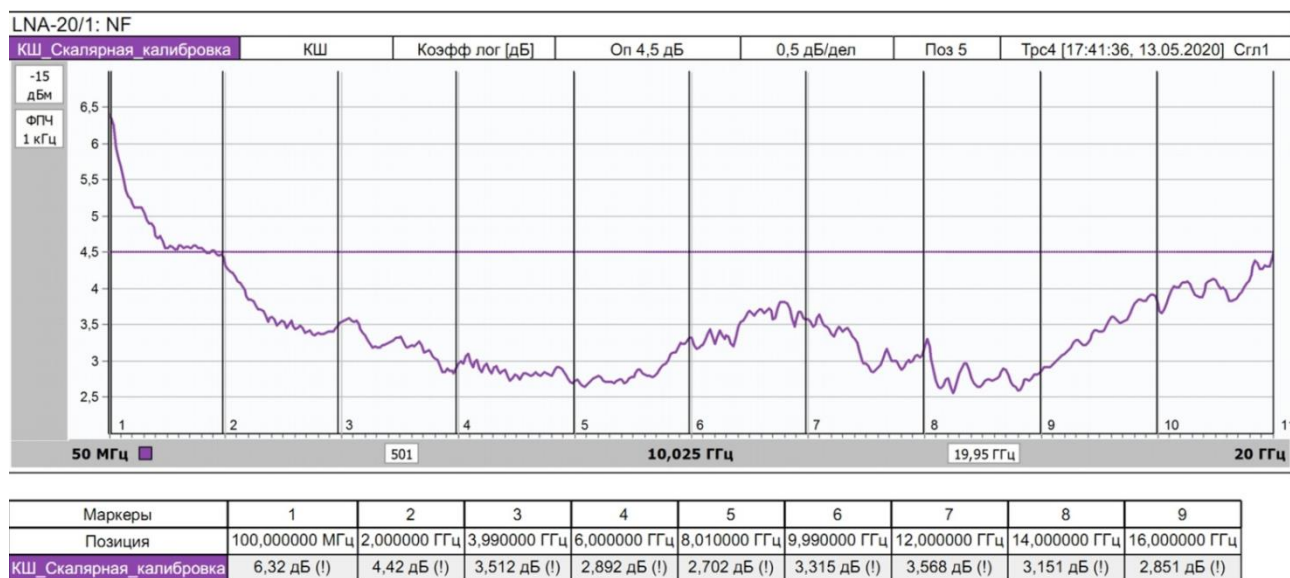


Рисунок 7.49 – Характеристика КШ «LNA20/1»

7.12.2 Измерение КШ с векторной калибровкой

Пример: требуется измерить коэффициент шума (NF), коэффициент передачи (S_{21}), возвратные потери (S_{11} и S_{22}), развязку (S_{12}) усилителя «LNA20/1» производства фирмы АО «НПФ «Микран». Частотный диапазон при измерении

50 МГц ... 20 ГГц, мощность зондирования – 15 дБ/мВт. Ожидаемый КУ = 33 дБ, ожидаемый КШ = 6 дБ. Технические характеристики усилителя приведены в таблице 7.2.

Для проведения калибровки КШ будем использовать генератор шума «ГШМ2-20» производства фирмы АО «НПФ «Микран».

Шаг 1. Восстановить начальные параметры (см. п. 4.9).

Шаг 2. Установить следующие параметры измерений:

- Частота: «Старт» – 50 МГц, «Стоп» – 20 ГГц (рабочий диапазон частот измеряемого усилителя), «Точек» – 501;
- Мощность зондирующего сигнала – минус 15 дБ/мВт.

! При установке мощности зондирования необходимо учитывать ожидаемый коэффициент усиления (КУ) измеряемого устройства, чтобы приёмник оставался в линейном режиме работы, и, в случае необходимости, задавать ослабление сигнала, попадающего на измерительный приёмник b2 второго порта.

- В нашем случае необходимо дополнительное ослабление зондирующего и принимаемого сигнала, для этого необходимо установить ручное управление аттенюаторами, 10 дБ аттенюатор генератора первого порта и 20 дБ аттенюатор приёмника второго порта;
- «Фильтр ПЧ» – 1 кГц.

Шаг 3. Задать параметры шумового приёмника на панели «Измерение шума» (рисунок 7.45):

- «Усиление шумового тракта» – «высокое»;
- «Фильтр разрешения» – 15 МГц;
- «Усреднение в приборе» – 1.

Шаг 4. Создать измерительную трассу для измерения КШ (рисунок 7.47).

Шаг 5. Выполнить полную двухпортовую калибровку P42 при помощи набора калибровочных мер (см. п. 6.4.4) или электронного калибратора (см. п. 6.5).

Шаг 6. Выполнить векторную калибровку КШ (см. п. 6.4.6). На третьем шаге мастера калибровки установить флажки «Векторная калибровка» и «Учёт отражения от шумового приёмника», а также загрузить характеристику ИОШТ (ENR) генератора шума из файла в таблицу.

Шаг 7. После завершения калибровок подключить исследуемое устройство

между портами P42, как показано на рисунке 7.46, и провести измерение.

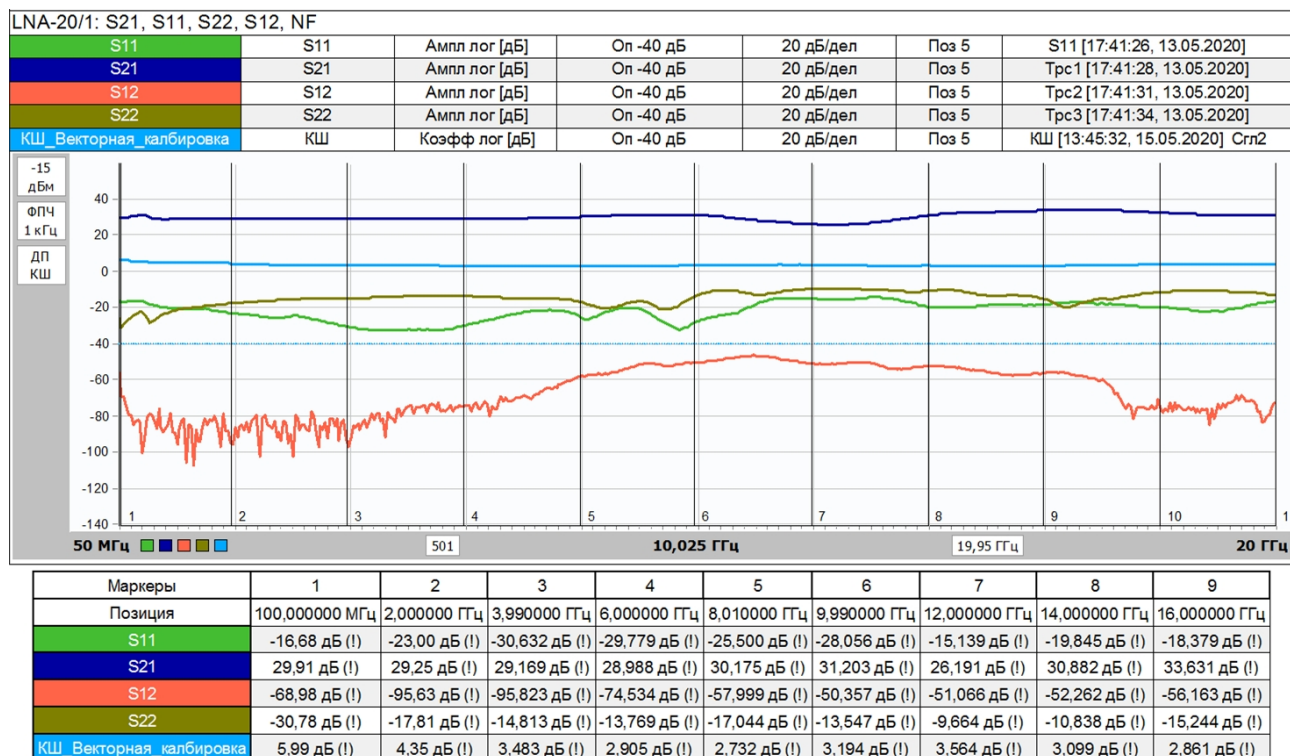


Рисунок 7.50 – Результаты измерения параметров «LNA20/1»

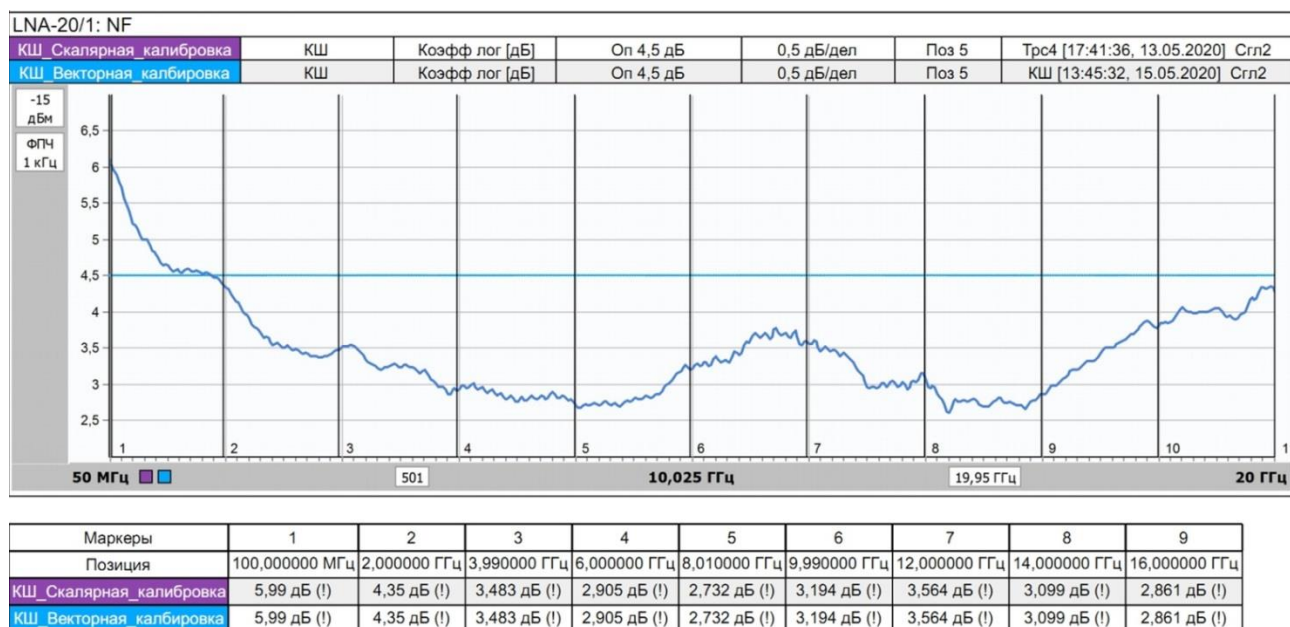


Рисунок 7.51 – Характеристика КШ «LNA20/1»

Результаты измерения (рисунки 7.50 и 7.51) также соответствуют техническим характеристикам, заявленным производителем ИУ. Характеристики КШ, полученные после скалярной и векторной калибровки P42, практически

совпадают вследствие большого КУ усилителя «LNA20/1».

8 Мастер автоматической поверки (для Р4226А)

Поверка Р4226А проводится вручную в соответствии с методикой поверки МП 113-23-013. Для пп. 10.7–10.8 методики поверки также доступен автоматический метод, подразумевающий использование специализированного мастера поверки, являющегося частью ПО *Graphit Р4М*.

Для открытия окна мастера (рисунок 8.1) требуется выбрать пункт меню «Управление > Поверка...» (рисунок 4.36).

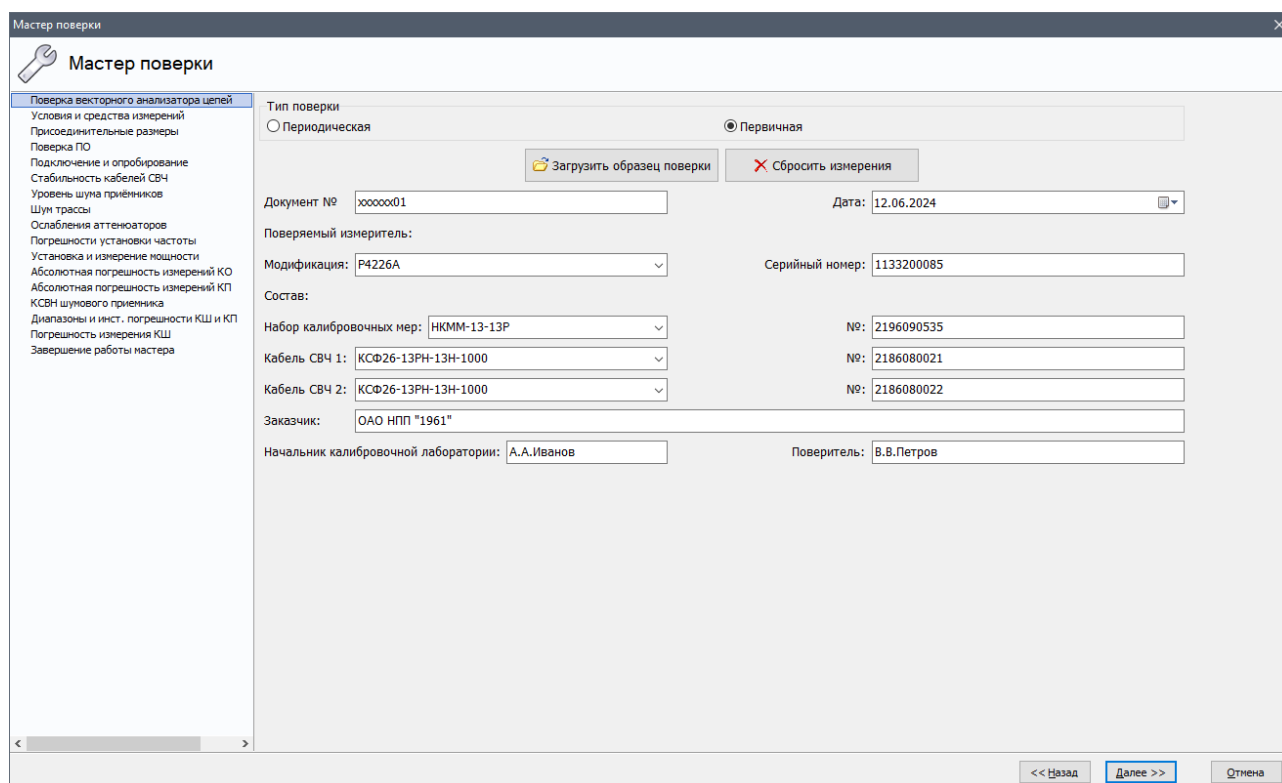


Рисунок 8.1 – Окно мастера поверки

Мастер поверки состоит из списка шагов, находящихся в левой части окна, рабочего поля выбранного шага (в центре окна) и панели навигации (в нижней части окна). Корректно пройденный шаг помечается зелёной галочкой в списке, переключение между шагами производится кнопками «Назад» и «Далее», либо непосредственно кликом мыши в списке шагов.

❗ Поверителю необходимо выполнить первые 3 шага, вручную заполнить информационные поля, а также провести требуемые измерения в шагах «Абсолютная погрешность измерений КО» и «Абсолютная погрешность измерений КП» (по пп. 10.7 и 10.8 методики поверки соответственно).

Ниже представлено краткое описание обязательных шагов поверки.

Шаг 1. Поверка векторного анализатора цепей.

На данном шаге (рисунок 8.1) необходимо указать текущую дату и номер протокола поверки, внести информацию оверяемом Р42, используемых кабелях, калибровочном наборе и ответственных лицах. Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

i При регулярном выполнении процедуры поверки для ускорения заполнения полей рекомендуется использовать готовый образец поверки, загрузив его из файла при помощи соответствующей кнопки в верхней части рабочего поля шага 1. Возможность сохранить образец поверки появится на последнем шаге мастера поверки.

Шаг 2. Условия и средства измерений.

На втором шаге поверки (рисунок 8.2), также как и на первом, требуется заполнить информационные поля – зафиксировать климатические условия в лаборатории, напряжение питания в электросети и перечислить используемые средства измерений (типы, серийные номера и даты следующей поверки). Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

Шаг 3. Присоединительные размеры.

Во время выполнения третьего шага поверки необходимо измерить и вписать в таблицу (рисунок 8.3) присоединительные размеры используемых коаксиальных соединителей. Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

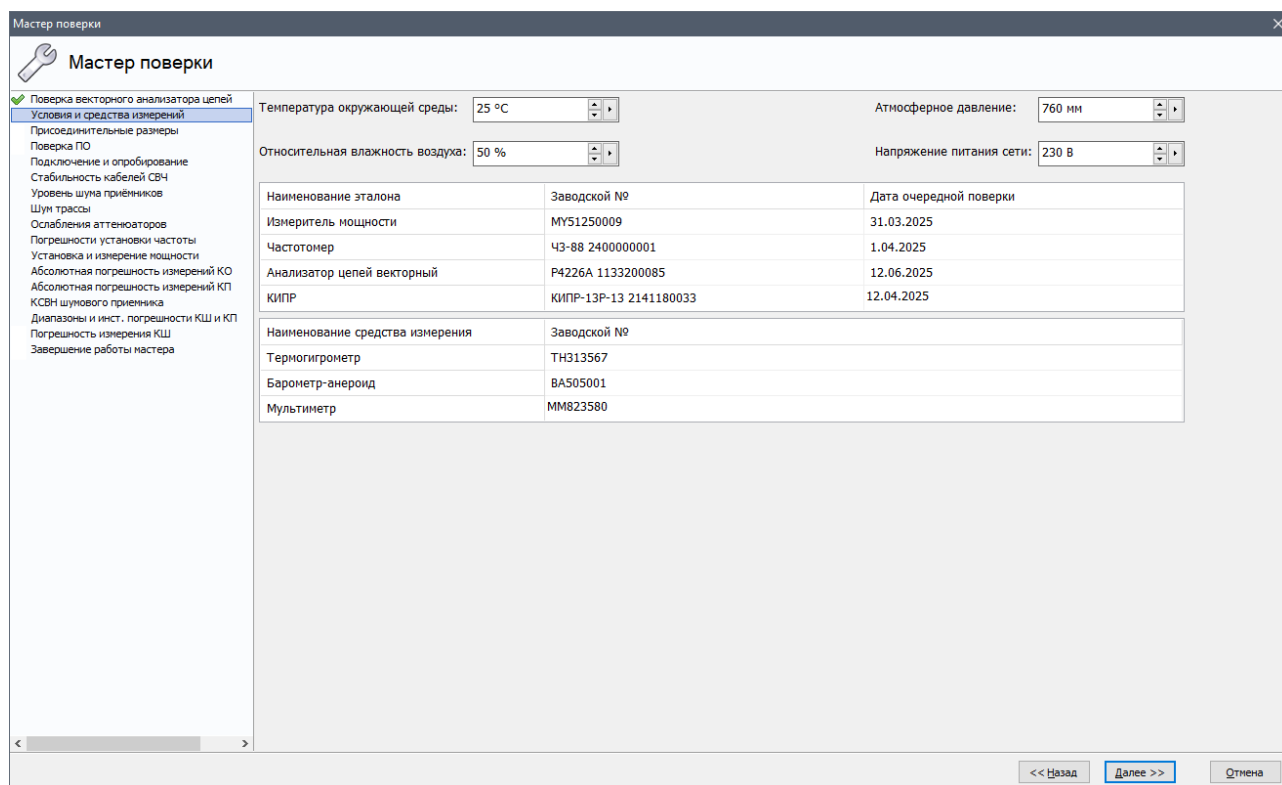
Шаг 4. Абсолютная погрешность измерений КО.

Перед началом измерений необходимо проверить корректность параметров измерений (диапазон частот, уровень мощности и фильтр ПЧ). Далее, следуя указаниям мастера в текстовом поле «Порядок действий», выполнить проверку (рисунок 8.4). Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

Шаг 5. Абсолютная погрешность измерений КП.

Аналогично Шаг 4 проверить корректность параметров измерений и выполнить проверку в соответствии с указаниями мастера (рису-

нок 8.5). После завершения проверки перейти на последний шаг «Завершение работы мастера», кликнув на соответствующую запись в списке шагов.



Наименование эталона	Заводской №	Дата очередной поверки
Измеритель мощности	MY51250009	31.03.2025
Частотомер	ЧЗ-88 2400000001	1.04.2025
Анализатор цепей векторный	P4226A 1133200085	12.06.2025
КИПР	КИПР-13Р-13 2141180033	12.04.2025

Наименование средства измерения	Заводской №
Термогигрометр	ТН313567
Барометр-анероид	BA505001
Мультиметр	MM823580

Рисунок 8.2 – Шаг 2 мастера поверки

Шаг 6. Завершение работы мастера.

На данном шаге необходимо нажать кнопку **«Создать отчёт о поверке»** для экспорта результатов поверки в файл формата *Microsoft Excel®*.

 Для ускорения последующих процедур поверки при помощи одноимённой кнопки рекомендуется сохранить результаты поверки в файл в качестве образца, который потом можно загрузить на первом шаге мастера поверки (см. Шаг 1).

Мастер поверки

Мастер поверки

- ✓ Проверка векторного анализатора цепей
- ✓ Условия и средства измерений
- ✓ Присоединительные размеры
- ✓ Проверка ПО
- Подключение и опробование
- Стабильность кабелей СВЧ
- Уровень шума приёмников
- Шум тракты
- Ослабления аттенуаторов
- Погрешности установок частоты
- Установка и измерение мощности
- Абсолютная погрешность измерений КО
- Абсолютная погрешность измерений КП
- КСВН шумового приёмника
- Диагоны и инст. погрешности КШ и КП
- Погрешность измерения КШ
- Завершение работы мастера

Элемент измерительного тракта	Тип соединителя	Измеренное значение	Допуск мин.	Допуск макс.
Разъём измерительного порта 1	III, вилка	5,25 мм	5,21	5,31
Разъём измерительного порта 2	III, вилка	5,25 мм	5,21	5,31
№:2186080021	III, вилка	5,26 мм	5,21	5,31
№:2186080021	III, вилка	5,26 мм	5,21	5,31
№:2186080022	III, вилка	5,25 мм	5,21	5,31
№:2186080022	III, вилка	5,25 мм	5,21	5,31
Доп. соединители на лицевой панели	3,5 мм, розетка	0,01 мм	-0,05 мм	0,05 мм
Перемычки для доп. соединителей	3,5 мм, вилка	-0,05 мм	-0,2 мм	0,0 мм

< Назад Далее >> Отмена

Рисунок 8.3 Шаг 3 мастера поверки

Мастер поверки

Мастер поверки

- ✓ Проверка векторного анализатора цепей
- ✓ Условия и средства измерений
- ✓ Присоединительные размеры
- ✓ Проверка ПО
- Подключение и опробование
- Стабильность кабелей СВЧ
- Уровень шума приёмников
- Шум тракты
- Ослабления аттенуаторов
- Погрешности установок частоты
- Установка и измерение мощности
- Абсолютная погрешность измерений КО
- Абсолютная погрешность измерений КП
- КСВН шумового приёмника
- Диагоны и инст. погрешности КШ и КП
- Погрешность измерения КШ
- Завершение работы мастера

Параметры калибровки:

Диапазон частот: 10 МГц Точек: 2650 Мощность: 0 дБм Файлтр ПЧ: 1 кГц

Набор калибровочных мер: НКММ-13-13P

Шаг поверки: Подключение нагрузки КСВН 1.2

Файл эталонных S-параметров нагрузки на порту 1: Выберите файл...

Файл эталонных S-параметров нагрузки на порту 2: Выберите файл...

Результаты измерений и расчетов:

F, МГц	HP3					HK3				
	S ₁₁ (1)	S ₁₁ (2)	S ₁₁ (3)	S ₁₁ (4)	S ₁₁ (5)	S ₁₁ (1)	S ₁₁ (2)	S ₁₁ (3)	S ₁₁ (4)	S ₁₁ (5)
10										
100										
500										
1000										
2000										
4000										
8000										
10000										
12000										
13500										
18000										
20000										
22000										
26500										
φ ₁₁ (1), °										
φ ₂₂ (1), °										
Результат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Порядок действий:

- Нажать кнопку "Окно калибровки" и провести двухпортовую калибровку АЦ с набором калибровочных мер, выбранным в пункте "Проверка векторного анализатора цепей".
- Подключить к портам 1 и 2 АЦ эталонные нагрузки со значением КСВН 1.2 (HP1), запомнив их положение относительно АЦ. Нажать кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.
- Отсоединить от АЦ нагрузки HP1; изменить их положение относительно положения согласно п. 2, повернув на 180 градусов вокруг продольной оси, и снова подключить к АЦ. Нажать кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.
- Выбрать файлы с эталонными S-параметрами рассогласованных нагрузок для портов 1 и 2, нажав на кнопки "Открыть файл с эталонными S-параметрами" справа от полей "Файл эталонных S-параметров нагрузки на порту 1" и "Файл эталонных S-параметров нагрузки на порту 2" соответственно. В группе "Результаты измерений и расчетов" нажав на кнопку "Модули пределов ПГ для эталонной нагрузки HP1", проверить, что модули пределов погрешности (ПГ) для эталонной нагрузки HP1 в таблице "Пределы ПГ для эталонной HP1" соответствуют значениям из её протокола поверки (сертификата калибровки). Нажать кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.
- В группе "Результаты измерений и расчетов" нажать на кнопку "Пределы ПГ для эталонной HP1" (таблица) и нажать на кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.

< Назад Далее >> Отмена

Рисунок 8.4 – Шаг проверки абсолютной погрешности измерений КО

Мастер поверки

Мастер поверки

- ✓ Проверка векторного анализатора цепей
- ✓ Условия и средства измерений
- ✓ Присоединительные размеры
- ✓ Проверка ПО
- Подключение и опробирование
- Стабильность кабелей СВЧ
- Уровень шума приемников
- Шум трассы
- Ослабления аттенуаторов
- Погрешности установки частоты
- Установка и измерение мощности
- ✓ Абсолютная погрешность измерений КП
- КСВН шумового приемника
- Диапазоны и инст. погрешности КШ и КП
- Погрешность измерения КШ
- Завершение работы мастера

Параметры калибровки:

Диапазон частот: 10 МГц 20000 МГц Точек: 2650 Мощность: 0 дБм Фильтр ПЧ: 100 Гц

Набор калибровочных мер: **НКММ-13-13Р**

Шаг поверки: Подключение аттенуатора 10 дБ

Файл эталонных S-параметров аттенуатора 10 дБ: Выберите файл...

☐ Использовать второй аттенуатор

Файл эталонных S-параметров аттенуатора:

Результаты измерений и расчетов:

F, МГц	Аттенуатор 10 дБ					Аттенуатор 50 дБ					Δ S ⁻ _{yx} , ΔS _{yx}	Δ S ⁻ _{yx} , ΔS _{yx}	Δ S ⁻ _{yx} , ΔS _{yx}
	S _{yx} (1)	S _{yx} (2)	S _{yx} ср.	S _{yx} Δ	Δ S _{yx}	S _{yx} (1)	S _{yx} (2)	S _{yx} ср.	S _{yx} Δ				
10													
100													
500													
1000													
2000													
4000													
8000													
10000													
12000													
13500													
18000													
20000													
22000													
26500													
φ21(1)°, °													
S ₁₂ (1) , дБ													
φ12(1)°, °													
Результат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Порядок действий:

1. Нажать кнопку "Окно калибровки" и провести двухпортовую калибровку АЦ с набором калибровочных мер, выбранным в пункте "Проверка векторного анализатора цепей".
2. Подключить к соединителям, в сечении которых осуществлялась калибровка, эталонный аттенуатор 10 дБ. Нажать кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.
3. Отсоединить от АЦ аттенуатор; изменить его положение от первоначального, повернув на 180 градусов вокруг продольной оси, и подключить снова к АЦ. Нажать кнопку "Измерение" и дождаться окончания измерения.
4. Выбрать файлы с эталонными S-параметрами используемого аттенуатора, нажав на кнопку "Открыть файл с эталонными S-параметрами" справа от поля "Файл эталонных S-параметров аттенуатора 10 дБ". В группе "Результаты измерений и расчетов" нажав на кнопку "Модули пределов ПГ для эталонного атт. 10 дБ", проверить, что модули пределов погрешности (ПГ) для эталонного аттенуатора в таблице "Пределы ПГ для эталонного атт. 10 дБ" соответствуют значениям из его протокола поверки (соответствия калибровки). Нажать кнопку "Измерения" и перейти к следующему измерению.

< Назад Далее >> Отмена

Рисунок 8.5 – Шаг проверки абсолютной погрешности измерений КП

Приложение А (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 Р42 набор мер.

Для создания и редактирования файлов описания калибровочных наборов служит «Редактор наборов калибровочных мер», который можно запустить, воспользовавшись ярлыком «Пуск > Все программы > Micran Graphit Р4М 2.6.x > Редактор наборов калибровочных мер», или дважды щёлкнув по названию набора в окне управления наборами калибровочных мер ПО *Graphit*. На рисунке А.1 представлено окно редактора наборов после чтения файла описания набора.

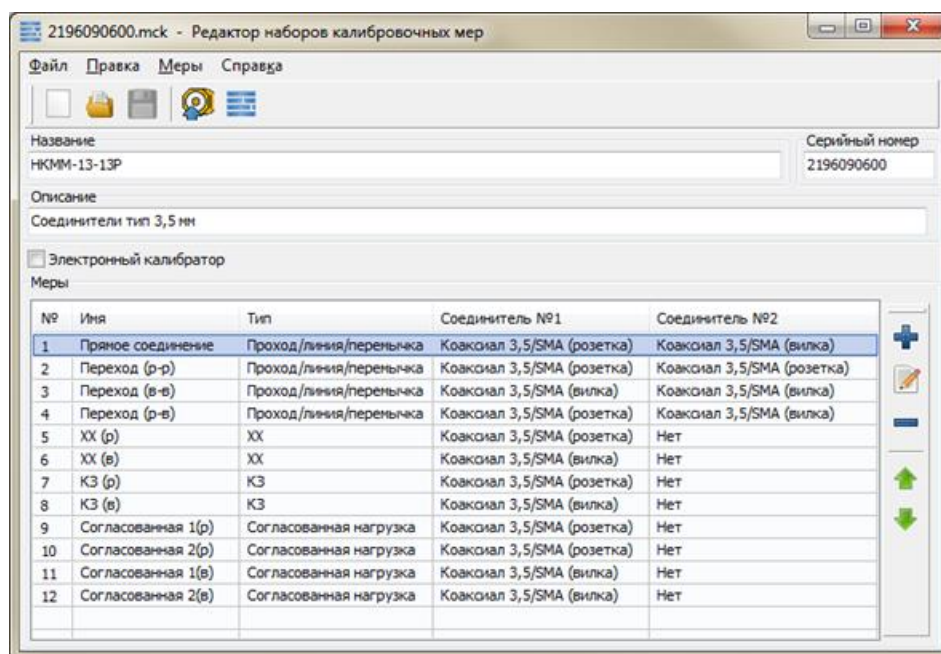


Рисунок А.1 – Окно редактора наборов калибровочных мер

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

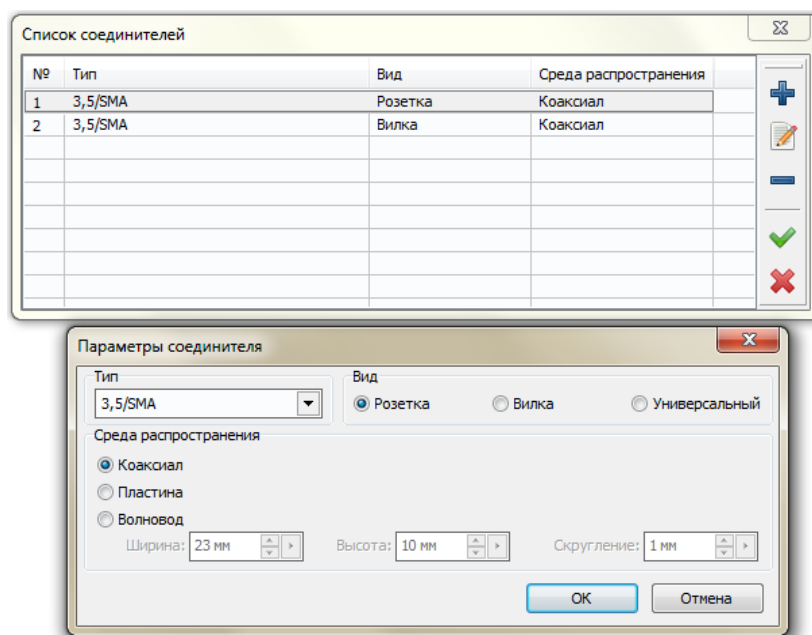


Рисунок А.2 – Управление списком используемых соединителей

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

При добавлении или изменении записи появляется диалоговое окно, изображённое в нижней части рисунка А.2. Поле ввода со списком «Тип» позволяет выбрать тип соединителя из списка – III, 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.

В главном окне программы отображается **список калибровочных мер** набора. Для калибровки Р42 могут быть использованы следующие типы мер:

а) **Меры отражения:**

- нагрузка холостого хода;
- нагрузка короткозамкнутая;
- согласованная нагрузка;
- произвольная однопортовая нагрузка;
- подвижная нагрузка.

б) **Мера передачи** – переключатель, 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 А.3.

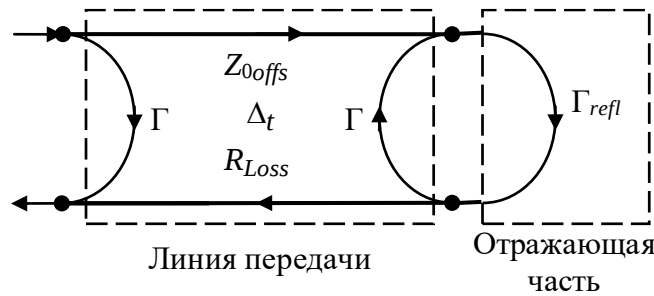


Рисунок А.3 – Модель меры отражения

Линия передачи характеризуется следующими параметрами:

- Δ_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 Z₀*);
- 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 Γ_{refl} произвольной нагрузки задаётся действительным числом. Для согласованной нагрузки $\Gamma_{refl} = 0$. Коэффициенты отражения Γ_{refl} для нагрузок ХХ и КЗ вычисляются по формулам

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

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

где f – частота, Гц;

Z_r – импеданс системы, Ом;

C – паразитная ёмкость, аппроксимируемая полиномом с коэффициентами C_0 [10^{-15} Ф], C_1 [10^{-27} Ф/Гц], C_2 [10^{-36} Ф/Гц²], C_3 [10^{-45} Ф/Гц³].

L – паразитная индуктивность, аппроксимируемая полиномом с коэффициентами L_0 [10^{-12} Гн], L_1 [10^{-24} Гн/Гц], L_2 [10^{-33} Гн/Гц²], L_3 [10^{-42} Гн/Гц³].

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

Текст из полей ввода «Название» и «Серийный номер» будет отображаться мастером калибровки на соответствующем шаге. 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 Δ_t , R_{Loss} и Z_{offs} , рассмотренные выше. Нажатие кнопки «Подвижная нагрузка...» открывает окно с таблицей описания соответствующего типа меры, представленное в виде пар значений Δ_t и R_{Loss} для каждого положения. Группа «Параметры» неактивна при установленном флажке "Табличное представление".

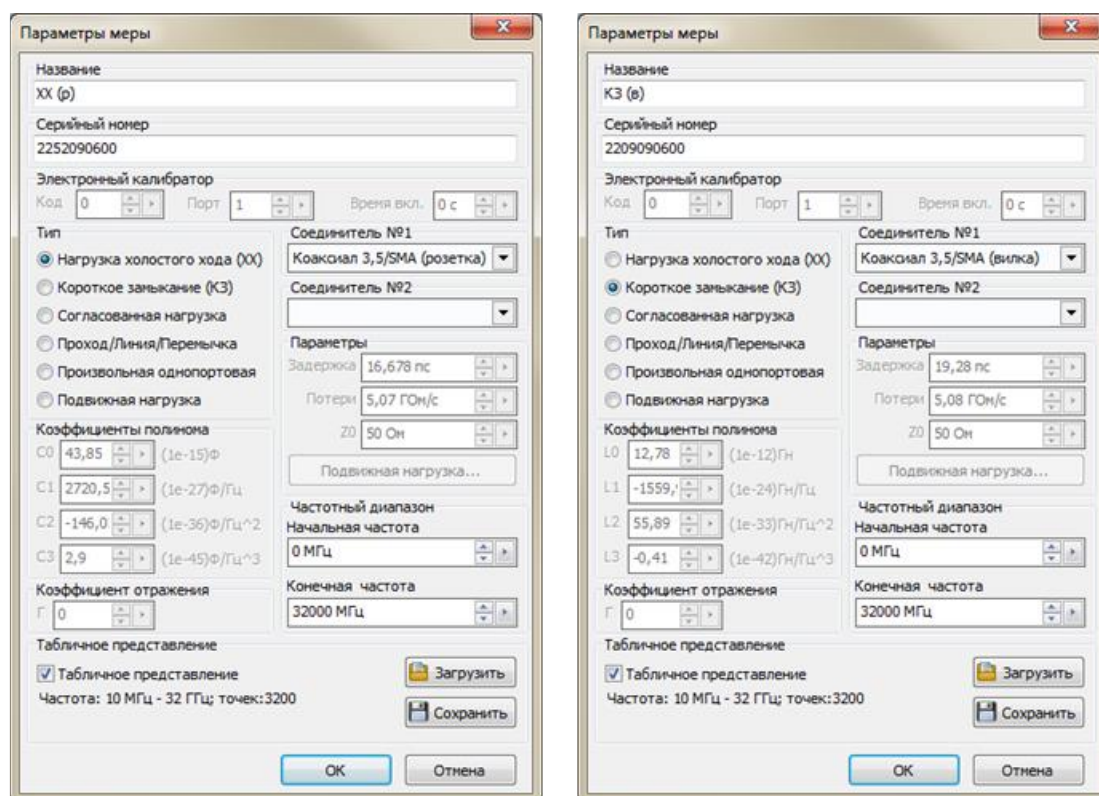


Рисунок А.4 – Параметры нагрузок ХХ и КЗ

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 $S1P$ - 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 А.5.

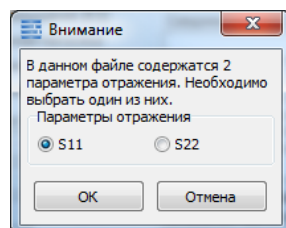


Рисунок А.5– Вариант выбора коэффициента отражения

Кнопка «Сохранить» позволяет сохранить на диск *S1P*-файл для однопортовых мер или *S2P*-файл для двухпортовых.

На рисунке А.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 А.1).

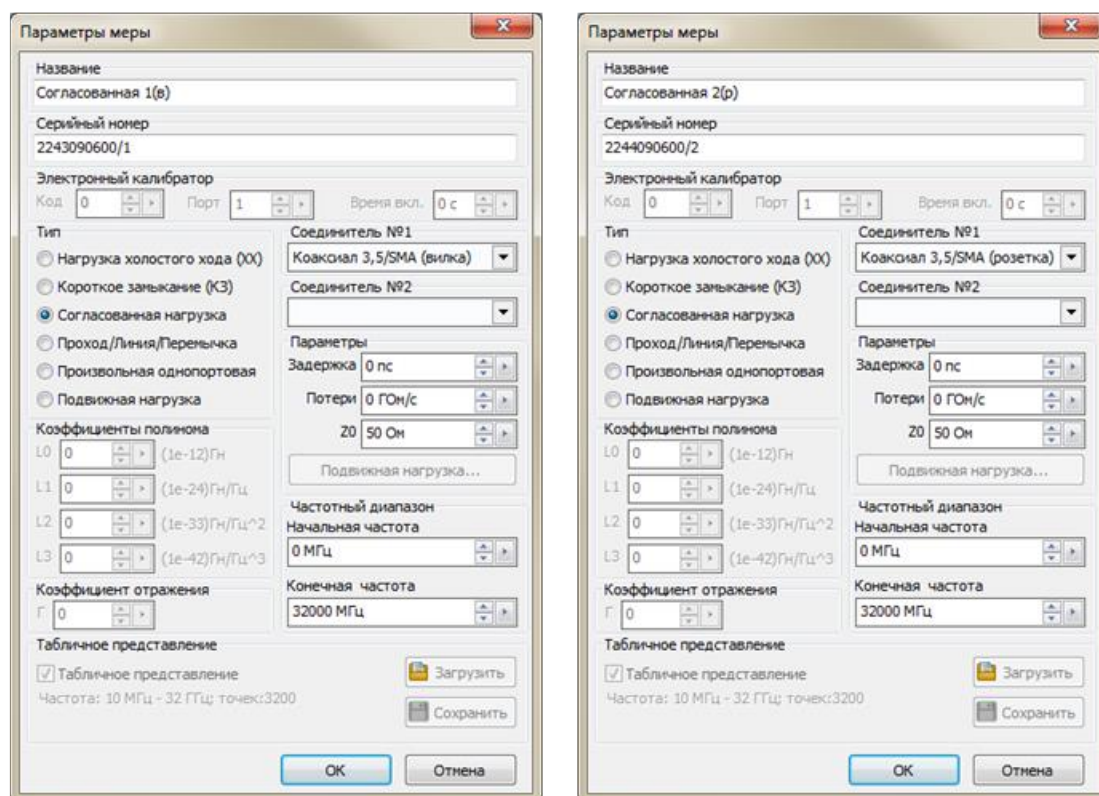


Рисунок А.6 – Описание согласованных нагрузок

Мастер калибровки выбирает из списка меры, с подходящими соединителями и диапазоном рабочих частот. Для каждой найденной в списке меры от-

ражения (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 удалить из него лишние записи (предварительно сохранив копию оригинального файла калибровочных мер) или создать новый вариант калибровки, воспользовавшись списком калибровок.

Нажатие кнопки с изображением  в главном окне программы открывает **список калибровок** (рисунок А.7).

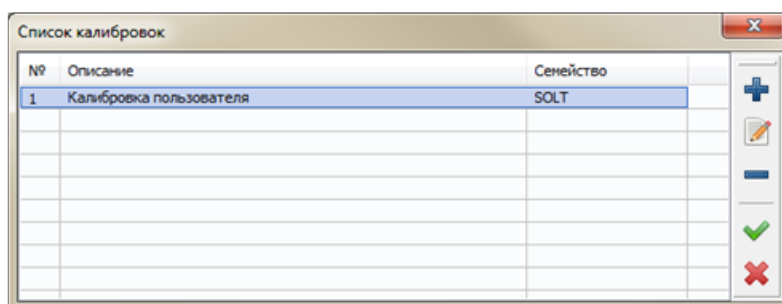


Рисунок А.7 – Список калибровок

Окно редактирования калибровки (рисунок А.8) содержит текстовое поле «Описание» (необязательный параметр), выбор семейства калибровки (*SOLT* – *Short/Open/Load/Thru*, *TRL* – *Thru/Reflection/Line* или *Response*) и список так называемых **классов калибровки**. В общем, задача конфигурации параметров калибровки сводится к выбору мер для трёх или четырёх классов отражения и класса передачи (класс «изоляция», как и соответствующее измерение, является опциональным). Если после добавления варианта калибровки в набор стало невозможным её выполнение в ПО *Graphit*, рекомендуется заново проверить её параметры, либо вернуться к сценарию калибровки по умолчанию, удалив все варианты калибровок из списка.

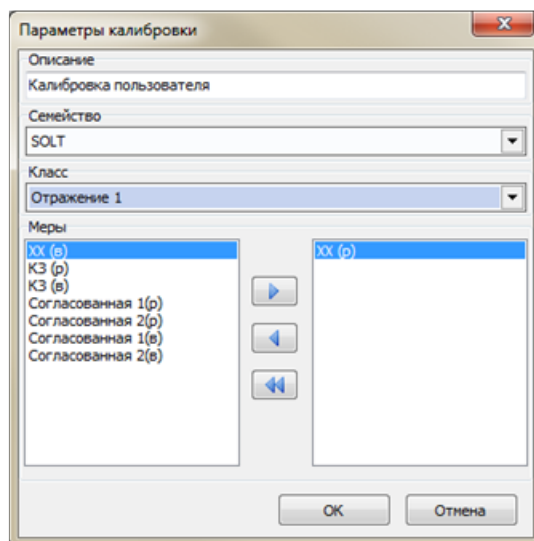


Рисунок А.8 – Окно параметров калибровки

Приложение Б (справочное) Форматы используемых файлов

Б.1 Формат *SnP*-файлов

Формат *SnP*-файлов предназначены для описания многополюсников через либо *S*-, либо *Y*-, либо *Z*-, либо *G*-, либо *H*-параметры, а также через шумовые параметры.

Файл *SnP* должен соответствовать спецификации «Touchstone® File Format Specification». Согласно указанному документу *SnP*-файл – это текстовый файл, который может быть отредактирован в стандартном текстовом редакторе, например в Блокноте MS Windows®. Данный файл может иметь, например, следующий вид:

```
!Комментарии
!...
!Комментарии
# GHz S dB R 50
0.01 -42.163 1.456 -70.744 -0.599 -69.259 -7.190 -52.176 162.923
0.02 -41.878 1.297 -68.601 -2.742 -71.071 -5.366 -52.796 147.622
22 -41.699 1.083 -69.025 -5.857 -69.414 -1.914 -52.579 137.079
!Шумовые параметры
0.01 2 0.1 -45 20
18 2.7 0.46 -33 0.40
```

где используются следующие знаки и символы:

- ! – означает знак комментария, после которого может следовать произвольный текст;
- # – символ, означающий начало строки опций; строка опций для версии 1.0 и 1.1 должна быть первой некомментирующей и непустой строкой в файле; параметры в строке опций разделяются одним или несколькими пробелами; данная строка имеет для описания двухпортового устройства следующий шаблон:

```
# [Hz|kHz|MHz|GHz] [S|Y|Z|G|H] [DB|MA|RI] [R n];
```

где [Hz|kHz|MHz|GHz] – возможные значения единиц измерения частоты;

[S|Y|Z|G|H] – тип параметров, соответственно либо *S*-, либо *Y*-, либо *Z*-, либо *G*-, либо *H*-параметры;

[DB|MA|RI] – формат, в котором указаны комплексные параметры, соответственно либо в виде модуля в дБ и фазы в градусах, либо в виде модуля в отн. ед. и фазы в градусах, либо в виде реальной и мнимой части в отн. ед.

По умолчанию в версии 1.0 порядок указания комплексных параметров таков:

$$|N11| \varphi(N11) |N21| \varphi(N21) |N12| \varphi(N12) |N22| \varphi(N22),$$

где $|N_{xx}|$ и $|N_{yx}|$ – соответственно для S -параметров модуль КО и КП;
 $\varphi(S_{xx})$ и $\varphi(S_{yx})$ – соответственно для S -параметров фаза КО и КП.

Но в версиях 2.0 и выше для двухпортового устройства требуется ключевое слово [Two-Port Data Order] с указанием аргументов либо 21_12, либо 12_21. Использование ключевого слова [Two-Port Data Order] с аргументом 12_21 позволяет обратный порядок параметров, т.е.:

$$\langle \text{значение частоты} \rangle \langle N11 \rangle \langle N12 \rangle \langle N21 \rangle \langle N22 \rangle.$$

После строки опций должны следовать данные параметров цепей, отдельные данные разделяются пробелами. Значения частоты должны появляться только в начале строки с данными после знака окончания предыдущей строки.

Помимо S -, либо Y -, либо Z -, либо G -, либо H -параметров в файл могут быть добавлены шумовые параметры, но только для файлов, описывающих двухпортовые устройства. Шумовые параметры должны задаваться после данных с S -параметрами. Для версии 2.0 и 2.1 они должны начинаться после ключевого слова [Noise Data], а также при этом должно присутствовать ключевое слово [Number of Noise Frequencies] с числовым аргументом, означающим количество частотных точек для шумовых параметров. Частота первой точки для шумовых параметров должна быть меньше или равна последней частоте из данных S -параметров. Для шумовых параметров предполагается, что порт 1 – это источник. Шаблон строки данных для шумовых параметров следующий:

$$\langle \text{значение частоты} \rangle \langle Fmin \rangle \langle Mag \rangle \langle Ang \rangle \langle rn \rangle$$

где $Fmin$ – минимальный коэффициент шума в дБ;

$\langle Mag \rangle$ – модуль КО, соответствующий $Fmin$, отн.ед.;

$\langle Mag \rangle$ – фаза КО, соответствующая $Fmin$, градусы;

$\langle rn \rangle$ – эффективное шумовое сопротивление, Ом; для версии 1.0 оно нормализовано относительно сопротивления, указанного в строке опций или 50 Ом в случае отсутствия этого сопротивления.

Б.2 Формат ENR-файлов

ENR-файлы используются для описания ИОШТ генераторов шума и представляют собой текстовый файл, который может быть отредактирован в стандартном текстовом редакторе, например в Блокноте MS Windows®. Данный файл может иметь, например, следующий вид:

```
# ENR Data File
! Created by Graphit NS (version 2.6.12) using SK4M-50/4 1117200015
# 02.02.2024 10:52:24
# Format is: Frequency (Hz), ENR (dB)
[Filetype ENR]
[Version 1.1]
[Serialnumber 3328A04705]
[Model 346C K01]
[Caldate 20240202.10:52:24]
[Calduedate 20250202]
[Temperature NAN]
[Humidity NAN]
10000000000, 20.669
200000000000, 15.101
500000000000, 6.901
```

ИЛИ

```
[Filetype ENR]
[Version 1.0]
[Serialnumber 3318A15364]
[Model 346B]
[Caldate 20000110.13:53:54]
[Temperature 24C]
[Humidity 40%]
! Frequency ENR Unc Refl. Coef. On Refl. Coef. Off
! MHz dB dB Mag Phase Deg Mag Phase Deg
10 MHz 15.281 .193 .0450 -136.0 .0330 -66.0
1000 MHz 15.118 .151 .0398 +39.6 .0107 +164.5
2000 MHz 14.999 .168 .0377 -85.7 .0266 +.9
```

где # или ! – символ комментария, за которым может следовать произвольный текст; строка комментария может появляться в любом месте файла;

[– знак начала поля заголовка; ключевые слова между знаками «[» и «]», а также необязательные параметры в строке должны разделяться пробелами; пробелы после «]» игнорируются;

[Filetype ENR] – обязательное поле заголовка, означающее тип файла;

[Version 1.1] – обязательное поле заголовка, означающее версию формата;

остальные поля заголовков – необязательны;

[Caldate ...] и [Calduedate...] – необязательные поля со временем и датой в формате YYYYMMDD[.hh:mm:ss], т.е. соответственно четыре цифры под год, и по две цифры под месяц, число, часы, минуты и секунды;

[Temperature ...] – необязательное поле температуры со значением и следующей за ней единицей измерения (C, F или K);

[Humidity ...] – необязательное поле влажности со значением и следующей за ней необязательным знаком «%».

Каждая строка должна быть не более 100 символов, включая символы переноса и окончания строки. Пустые строки (т.е. только с пробелами, табуляци-

ями) игнорируются. Каждая строка интерпретируется как строка одного из типов:

- строка комментария;
- поле заголовка;
- данные *ENR*.

Частоты должны идти в возрастающем порядке.

Строка с данными *ENR* в общем случае имеет следующий шаблон:

Freq [*Funit*] *ENR* [*Eunit*] [*Euncert* [*on_mag* *on_phase* *off_mag* *off_phase* [*Run-cert*]]].

где квадратные скобки означают необязательные поля.

Разделитель

Поля разделяются пробелами, также для этого допускается знак запятой.

Числовые значения

За исключением двух необязательных полей с единицами измерений (т.е. [*Funit*] и [*Eunit*]), все остальные поля – числовые значения; числа в общем случае имеют шаблон

[+/-][*x...x*][*y...y*][*Exxx*],

где *x* – цифра целой части числа;

y – цифра дробной части;

E или *e* – знак экспоненты.

Частоты (*Freq*)

[*Funit*] – необязательное поле единиц измерения частоты (Hz, kHz, MHz, GHz, THz), по умолчанию – Гц;

Поле *ENR*

[*Eunit*] – необязательное поле единиц измерения ИОШТ; по умолчанию – дБ (на данный момент единственная поддерживаемая единица, остальные – *K*, *C*, *F* (т.е. Фаренгейты) – резервные и не поддерживаются на данный момент).

[*Euncert*] – необязательное поле с неопределенностью измерения, может присутствовать, если имеются данные по коэффициенту отражения;

Данные КО

Данные по КО необязательны, состоят из четырех полей:

on_mag, *off_mag* – соответственно модуль КО для включенного и выключенного состояния ГШ, отн.ед.;

on_phase, *off_phase* – соответственно фаза КО для включенного и выключенного ГШ, градусы.

Если присутствуют данные хотя бы для одно из перечисленных аргументов, то должны присутствовать и остальные.

[Runcert] – необязательный параметр, указывающий неопределенность КО; если приведены эти данные, то также должны присутствовать и остальные данные для КО.

Приложение В (справочное) Перечень возможных неисправностей

Перечень возможных неисправностей, причин их возникновения, а также рекомендации по действиям при возникновении аварийных режимов приведены в таблице В.1. При возникновении ошибок и неисправностей, не описанных ниже, пожалуйста, постарайтесь зафиксировать эти неисправности (желательно при этом сохранить и экспортировать в файл текущий профиль ПО *Graphit* (см. п. 4.9), а также скопировать изображение экрана монитора при помощи клавиши «**Print Screen**») и выслать эту информацию по электронному адресу, указанному на титульном листе, с подробным описанием возникшей проблемы.

Т а б л и ц а В.1 – Возможные неисправности

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
Проблемы общего характера		
1 Р42 не включается	Р42 не включён в сеть или неисправен сетевой кабель	Включите в сеть либо замените неисправный кабель
	Сгорел плавкий предохранитель	Замените плавкий предохранитель на исправный (см. раздел с описанием текущего ремонта ч. I настоящего РЭ)
Ошибки программного обеспечения		
2 При запуске ПО <i>Graphit</i> появляется сообщение об ошибке	Сбой профиля настроек пользователя	Установить настройки по умолчанию, используя меню «Профиль > Восстановить начальные параметры», либо запустить программу <i>FlushGPR.exe</i> (см. п. 4.9), расположенную в папке установленного ПО <i>Graphit</i> , выполнив следующие действия: завершить работу ПО <i>Graphit</i> ; запустить программу <i>FlushGPR</i> ; выбрать в списке «Профили приборов» значение, содержащее «Р4М»; сохранить профиль в файл,

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
		нажав «Сохранить как...»; повторить эти действия для всех значений, содержащих «Р4М» и отправить полученные файлы по электронному адресу технической поддержки ПО pribor.soft@micran.ru (рекомендуется); удалить данные профили, нажав в <i>FlushGPR</i> кнопку «Удалить»; закрыть программу и повторить попытку запуска ПО <i>Graphit</i>
	Используется неподходящая операционная система	Установите программное обеспечение на ПК с операционной системой, соответствующей требованиям, указанным в п. 3
3 При первом запуске ПО <i>Graphit</i> и подключении к Р42 сообщение об ошибке не появляется, но программа не реагирует на действия оператора	Аппаратная несовместимость	Попробуйте повторить подключение. В случае отрицательного результата обратитесь в службу технической поддержки на предприятие-изготовитель (контактная информация указана на титульном листе)
4 В ПО <i>Graphit</i> периодически выскакивают ошибки различного рода, либо не удаётся запустить процесс измерений, либо возникают ошибки при измерениях, связанные с работой программы управления	Возможно, после сбоя и перезагрузки ПО <i>Graphit</i> , либо при его переустановке сбились настройки профиля программы управления	См. решение проблемы п. 2
5 При работе в ПО <i>Graphit</i> не удаётся остановить процесс измерений или закрыть ПО <i>Graphit</i>	Зависание ПО <i>Graphit</i>	Вызвать диспетчер задач, нажав « Alt+Ctrl+Del » и затем «Диспетчер задач»; на вкладке «Процессы» выбрать из списка процесс <i>launcher.exe</i> и далее нажать кнопку «Завершить процесс»

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
Проблемы подключения к ПК		
<i>Проблемы общего характера</i>		
6 При подключении к Р42 (см. п. 3.3) появляется сообщение об ошибке подключения	Р42 не включён	Включите Р42
	Неправильно выбраны настройки сетевого подключения либо внутренние настройки сети	См. п. 3.2, а также Приложение Г
	Кабель <i>Ethernet</i> не подключён или неисправен	Подключите/замените кабель <i>Ethernet</i>
	Р42 старого типа и используется неподходящий кабель <i>Ethernet</i>	Используйте кабель <i>Ethernet</i> с соединением типа <i>cross-over</i>
7 При подключении Р42 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Свободен» но, тем не менее, подключиться не удаётся	В Р42 были прогружены неверные параметры до подключения	Перед подключением необходимо очистить профиль ПО <i>Graphit</i> (т.е. в запущенном ПО нажать кнопку «Восстановить начальные параметры»)
	У конфигуратора включён переключатель номер 1, т.е. Р42 присвоен пользовательский IP-адрес, и ОС <i>Windows</i> не удаётся установить соединение с Р42	Не выключая Р42, переведите все переключатели конфигуратора (рисунк 3.3) кроме второго в выключенное состояние. Включите и выключите переключатель номер 6. Примерно через 40 с повторите попытку подключения
	Физическое подключение по кабелю <i>Ethernet</i> было осуществлено после включения Р42, и в работе	В командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) набрать <code>ipconfig /flushdns</code> и, примерно, через 40 с попробовать подключиться заново

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	DNS-сервера произошёл сбой	
	Произошло зависание встроенного ПО Р42	Не выключая Р42, включить и выключить 6-й переключатель конфигулятора (рисунок 3.3) и, примерно, через 40 с попробовать подключиться снова. В случае неудачи выключить Р42, примерно через 30 с включить его снова, подождать около 40 с и повторить попытку подключения
	Проблемы контроллера сети Р42	Выключить Р42, примерно через 30 с включить его снова и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
8 При подключении к ПК Р42 не обнаруживается, либо обнаруживается, но при повторном осуществлении поиска в сети он исчезает	Возможно, Р42 имеет устаревшую конфигурацию оборудования	Попытаться выяснить IP-адрес Р42 и ввести этот адрес вручную в ПО <i>Graphit</i> , создав в диалоге подключения новую запись путём нажатия кнопки «Добавить» и заполнив соответствующие поля (см. п. 3.3). Попытаться снова подключиться через созданную запись
	Сбой в ПЛИС Р42	Выключить Р42, примерно через 30 с включить его и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
	Установлено соединение по протоколу <i>FTP</i>	Закройте активное соединение по протоколу <i>FTP</i> и попробуйте подключиться снова
<i>Проблемы прямого подключения к ПК (п. 3.2.2)</i>		
9 При прямом подключении к ПК не удаётся установить соединение с Р42 (появляется сообщение об ошибке подключения)	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение Г
	Неправильные настройки конфигулятора	См. п. 3.2.2

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	Брандмауэр («файервол») <i>Windows</i> или антивирусные программы блокируют порт 8888, по которому осуществляется подключение Р42	Обратитесь к системному администратору (необходимо перенастроить перечисленные системы безопасности и попробовать подключиться снова)
	Перед прямым подключением Р42 подключался к ПК другим способом	Закрыть ПО <i>Graphit</i> , выключить Р42 и примерно через 30 с включить его снова; запустить ПО <i>Graphit</i> и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
10 При подключении Р42 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Занят», соответственно, подключиться не удаётся	Предыдущее аварийное завершение работы ПО <i>Graphit</i> не завершило соединение с Р42	Закрыть ПО <i>Graphit</i> . С помощью диспетчера задач (вызывается сочетанием клавиш « Ctrl+Shift+Esc »), на вкладке «Процессы» диспетчера проверить наличие процесса <i>launcher.exe</i> ; если процесс имеется, то его необходимо завершить; выключить и включить 6-й переключатель конфигулятора на задней панели Р42, запустить ПО <i>Graphit</i> и, подождав около 40 с, подключиться заново
<i>Проблемы подключения к ПК через локальную сеть (п. 3.2.3)</i>		
11 При подключении к ПК через локальную сеть Р42 при поиске обнаруживается под адресом по умолчанию	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение Г
	Неправильные настройки конфигулятора	См. п. 3.2.3

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	При включении Р42 он делает 10 запросов на получение <i>IP</i> -адреса от <i>DHCP</i> -сервера, в случае неудачи устанавливается адрес по умолчанию. Возможно, соединение Р42 с ПК через <i>Ethernet</i> -кабель сделано после включения прибора	Проверьте качество <i>Ethernet</i> -соединения Р42 с локальной сетью, выключите Р42 и через 30 с включите его; подождите около 40 с, повторите попытку подключения
	В памяти Р42 отсутствуют необходимые файлы сетевых настроек *.xml	Обратитесь к технической поддержке завода-изготовителя Р42 (контактная информация указана на титульном листе)
	<i>DHCP</i> -сервер работает некорректно, либо отсутствует	Использовать <i>IP</i> -адрес по умолчанию
12 При подключении Р42 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Занят», соответственно, подключиться не удаётся	К Р42 подключился другой пользователь	Обратитесь к системному администратору
	См. возможную причину и решение проблемы п. 10	—
13 При подключении Р42 к ПК через локальную сеть он обнаруживается в сети (после осуществления поиска, см. п. 3.3), но,	Возможно, клиент сервиса <i>DNS</i> запомнил предыдущее имя прибора, которое ему присваивал <i>DNS</i> -	Необходимо очистить кэш распознавателя <i>DNS</i> , выполнив в командной строке ОС Windows (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) <i>ipconfig /flushdns</i> и <i>arp -d</i> (требуют-

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
тем не менее, выдаёт ошибку подключения	сервер, в то время как имя сменилось	ся права администратора); подключиться заново. При отсутствии прав администратора (т.е. невозможности выполнить команду <i>arp -d</i>) можно отключить <i>Ethernet</i> -кабель от ПК, связывающий его с локальной сетью, на 5–10 мин и повторить попытку подключения
	Неисправный кабель <i>Ethernet</i>	Замените кабель <i>Ethernet</i>

Приложение Г (справочное)

Решение проблем при настройке сетевых параметров

Р42 используют интерфейс *Ethernet* для связи с компьютером. Протокол *Ethernet* предполагает общую среду передачи и адресацию в ней. Адреса сетевых адаптеров *Ethernet* – *MAC*-адреса, уникальны и задаются при изготовлении Р42.

Кроме физического протокола *Ethernet* Р42 поддерживается ряд сетевых протоколов: *TCP* – для приёма команд и передачи результатов измерений; *UDP* – для обнаружения Р42 в сети; *ICMP* – для диагностики; *DHCP* – для автоматической конфигурации сетевых параметров и регистрации *host*-имени Р42 в *DNS*; *FTP* – для файлового доступа к параметрам и таблицам Р42; *HTTP* – для диагностики и задания параметров Р42 через *WEB*-интерфейс.

В пакетах *Ethernet* в качестве данных передаются пакеты протокола более высокого уровня – *IP* (*Internet Protocol*). В свою очередь протокол *TCP* (*Transmission Control Protocol*) использует в качестве транспорта *IP*-протокол. На рисунке Г.1 показан стек (иерархия) используемых протоколов.

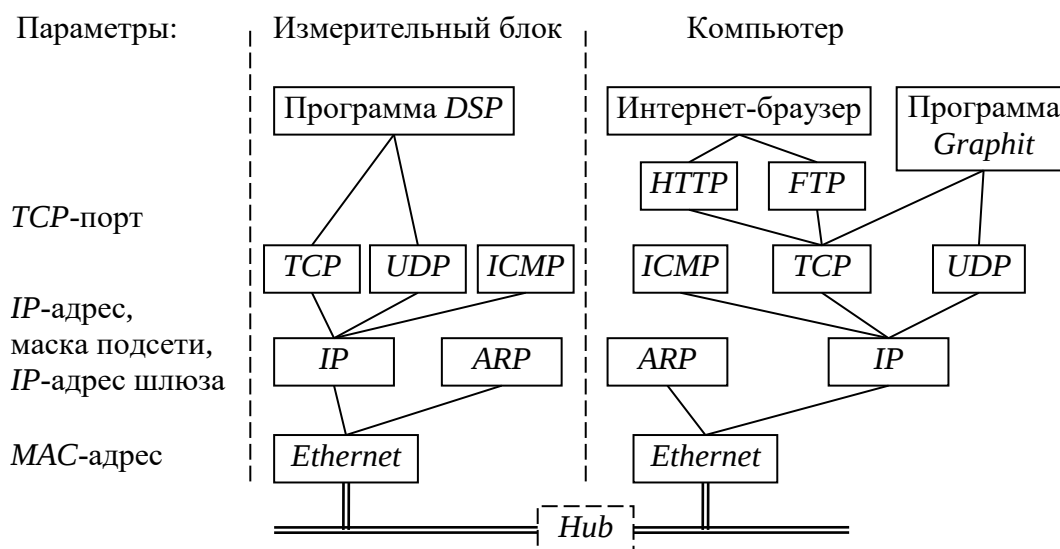


Рисунок Г.1 – Используемые протоколы

ARP (*Address Resolution Protocol*) обеспечивает перевод *IP*-адресов в *MAC*-адреса, для чего заполняет *ARP*-таблицу соответствий *IP*-адресов *MAC*-адресам. *ICMP* (*Internet Control Message Protocol*) предназначен для диагностики сети, используется утилитой *ping.exe*.

IP-адрес – это 32-разрядное целое число, которое принято записывать по-байтно, разделяя точками. Например, 127.0.0.1. Большинство *IP*-адресов уникальны и однозначно адресуют компьютер (точнее, его сетевой адаптер) в сети *Internet*. Биты, составляющие *IP*-адрес, делятся на две группы – некоторое ко-

личество старших бит означает номер подсети, а в остальных младших битах содержится номер узла. Число бит, приходящихся на номер подсети, определяет маска подсети. Биты маски подсети, равные 1, соответствуют той части *IP*-адреса, которая содержит номер подсети, а оставшиеся биты *IP*-адреса составляют номер узла, как показано на рисунке Г.2.

IP-адрес:	&	№ подсети	№ узла
Маска:		11111111111111111111	0000000000
Результат:		№ подсети	0000000000
IP-адрес:	&	№ подсети	№ узла
Инвертированная маска:		00000000000000000000	1111111111
Результат:		00000000000000000000 № узла	

Рисунок Г.2 – Выделение номеров подсети и узла

Поразрядное объединение по «И» маски подсети с *IP*-адресом даст номер подсети, а инверсия маски подсети и поразрядное объединение по «И» с *IP*-адресом даст номер узла. Существует ограничение на номер узла – он не должен состоять из всех нулей или из всех единиц. Маску подсети также принято записывать побайтно. Например, маска на рисунке Г.2 записывается как 255.255.252.0.

Компьютеры (узлы), принадлежащие одной подсети, разделяют общую среду передачи или, другими словами, включены в один коммутатор (*Hub* или *Switch*). Впрочем, коммутаторов может быть несколько – подключённых друг к другу. Подсети подключаются друг к другу через маршрутизаторы (шлюзы), которые представляют собой компьютеры с несколькими сетевыми интерфейсами или специальные устройства.

Модуль *IP* – подпрограмма на компьютере или в Р42, получив задание передать пакет, выделяет из *IP*-адреса назначения № подсети, сравнивает его с номером своей подсети. В случае совпадения пакет передаётся непосредственно получателю, иначе пакет передаётся через шлюз.

Для идентификации Р42 в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», выбираемых переключателем на задней панели Р42. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров Р42:

IP-адрес: 169.254.0.254
 Маска подсети: 255.255.0.0
TCP-порт: 8888
MAC-адрес: 00.1e.0d.01.xx.xx
IP-адрес шлюза: 0.0.0.0
 Сетевое имя: r4226-серийный номер (тип Р42 может отличаться)

Приведённые выше параметры обеспечивают прямое подключение Р42 к компьютеру без каких-либо настроек, при условии, что параметры *IP*-протокола в компьютере установлены по умолчанию. Под параметрами по умолчанию понимается использование авто-конфигурации *IP*-протокола.

Для *Windows*® 7 после щелчка по кнопке «Пуск» следует щёлкнуть «Панель управления > Сеть и Интернет > Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

В *Windows*® 8 открыть «Панель управления» при помощи меню, вызываемого комбинацией клавиш  +X, далее перейти в «Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

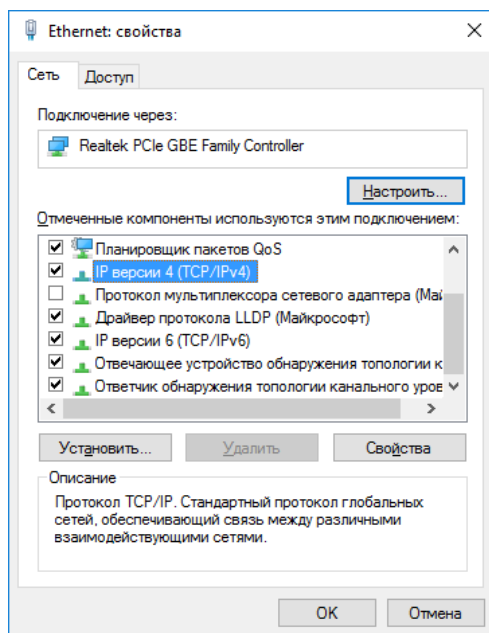
В *Windows*® 10 открыть окно «Параметры», кликнув по значку  в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся окне выбрать задачу «Настройка параметров адаптера».

В *Windows*® 11 открыть окно «Параметры», кликнув по значку в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся разделе выбрать задачу «Дополнительные сетевые параметры», далее перейти в раздел «Дополнительные параметры сетевого адаптера».

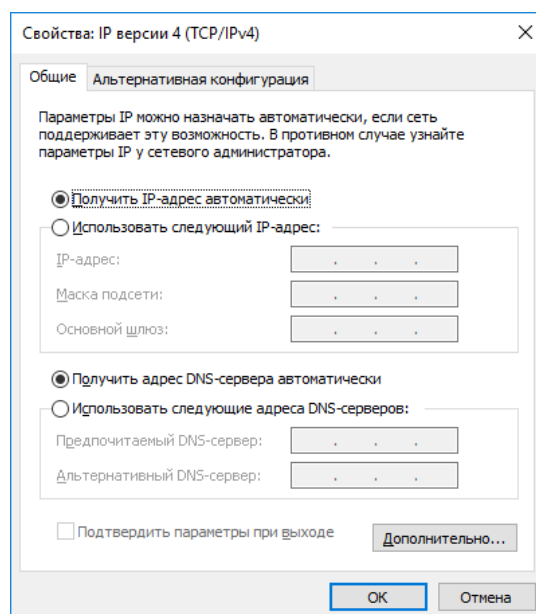
В появившемся окне «Сетевые подключения» щёлкнуть правой кнопкой мыши по пиктограмме «Подключение по локальной сети» и выбрать пункт контекстного меню «Свойства».

В открывшемся диалоге (рисунок Г.3-а) выбрать «Протокол Интернета версии 4 (*TCP/IPv4*)» (либо «*IP* версии 4») и нажать кнопку «Свойства». По умолчанию пункт «Получить *IP*-адрес автоматически» (рисунок Г.3-б) установлен, что разрешает использование протокола динамической конфигурации *DHCP* (*Dynamic Host Computer Configuration Protocol*). В локальной сети должен быть сервер *DHCP*, который выделяет рабочим станциям *IP*-адреса и сообщает им другие параметры (маску, шлюз и т.п.). Если в сети отсутствует *DHCP*-сервер, *Windows*® выбирает адрес из диапазона 169.254.0.1 ÷ 169.254.255.254. Такая ситуация возникает при прямом соединении Р42 и компьютера. Заданный в «Фабричных» сетевых параметрах *IP*-адрес Р42 принадлежит этому же диапазону. В результате компьютер и Р42 оказываются в одной подсети, что является необходимым условием для работы. Следует заметить, при отключении компьютера от локальной сети и подключении к Р42 *Windows*® требуется около минуты для переконфигурирования *IP*-протокола. Однако *Windows*® по ряду причин может не перейти на подсеть 169.254.0.0.

Описанные ниже команды вводятся в командной строке. Чтобы открыть консольное окно «Командная строка», следует выполнить команду *cmd*, введённую в окне «Запуск программы» (рисунок Г.4), появляющееся при нажатии комбинации клавиш  +R.



а) Свойства сетевого адаптера



б) Настройка протокола TCP/IPv4

Рисунок Г.3 –Параметры IP-протокола

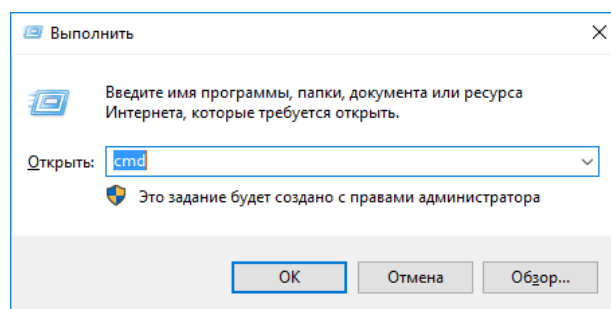


Рисунок Г.4 –Окно «Выполнить»

Решение каких-либо проблем, связанных с работой сети, начинается с проверки работы самого низкого уровня – уровня IP-протокола. Текущие настройки IP-протокола можно видеть при помощи команды *ipconfig*:

```
C:\>ipconfig
```

Настройка протокола IP для Windows

Подключение по локальной сети – Ethernet адаптер:

```
IP-адрес . . . . . : 192.168.118.21
Маска подсети. . . . . : 255.255.255.0
Основной шлюз. . . . . : 192.168.118.1
```

Расширенный вариант команды *ipconfig /all* позволит узнать, включено ли автоматическое конфигурирование – в строке «*DHCP* разрешён» должно быть «Да». Впрочем, если имеется возможность ручного задания параметров IP-протокола (права администратора), можно обойтись и без *DHCP*-сервиса.

Команда *ping* (от англ.: *Ping-Pong* – настольный теннис) позволяет по-

слать диагностический пакет на удалённую машину (в нашем случае – Р42), которая должна ответить тем же. Например:

```
С:\>ping 169.254.0.254
Обмен пакетами с 169.254.0.254 по 32 байт:
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
```

Иногда полезно добавить ключ *-t*, чтобы диагностика велась непрерывно.

Если Р42 ответил на команду *ping*, то с настройками сетевых параметров всё в порядке. В редких случаях ответ на команду *ping* может вернуть не Р42, а другое устройство в локальной сети, занявшее *IP*-адрес. Для проверки достаточно выключить Р42 и повторить команду *ping*.

Команда *arp* выводит *ARP*-таблицу, из которой видны *MAC*-адреса интерфейсов, с которыми осуществлялся обмен последние несколько минут. Например:

```
С:\>arp -a
Интерфейс: 192.168.118.21 on Interface 0x3
Адрес IP          Физический адрес      Тип
192.168.118.1      00-04-76-18-9d-b7     динамический
192.168.118.232    00-1e-0d-01-00-4f     динамический
```

MAC-адреса Р42, производимых в АО «НПФ «Микран», начинаются с чисел 00-1e-0d-01. Из приведённого выше примера видно, что *IP*-адрес 192.168.1.232 принадлежит измерительному блоку.

Часто возникает необходимость подключиться к Р42 с адресом из другой подсети. При этом нет желания или возможности изменять *IP*-адреса компьютера и Р42. Для примера рассмотрим следующую ситуацию. Р42 имеет *IP*-адрес 169.254.0.254 и в основном используется в прямом соединении с ноутбуком. Изредка Р42 подключают к локальной сети. Чтобы в этих редких случаях не менять адрес Р42, можно воспользоваться командой *route*, которая позволяет добавить маршрут до некоторой подсети. Синтаксис команды следующий:

route add подсеть mask маска_подсети IP_компьютера if номер_интерфейса,

где *подсеть* и *маска_подсети* – номер и маска подсети назначения,

IP_компьютера – *IP*-адрес компьютера, точнее адрес того интерфейса, через который будет выполняться обмен с Р42.

Номер интерфейса и *IP*-адрес компьютера можно узнать из приведённых выше листингов команд *arp* и *ipconfig*. Так для интерфейса 0x3 и *IP*-адреса компьютера 192.168.118.21 команда добавления маршрута до подсети 169.254.0.0 должна иметь вид:

route add 169.254.0.0 mask 255.255.0.0 192.168.118.21 if 0x3

Чтобы увидеть запись о добавленном маршруте, можно распечатать таблицу маршрутов командой *route* с аргументом *print* (добавленный маршрут выделен полужирным шрифтом):

```
C:\>route print
=====
Список интерфейсов
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x3 ...00 d0 b7 b1 27 7d ... Intel(R) PRO/100+ LAN Adapter
=====
Активные маршруты:
Сетевой адрес      Маска сети        Адрес шлюза        Интерфейс          Метрика
0.0.0.0             0.0.0.0           192.168.118.1      192.168.118.21    1
127.0.0.0           255.0.0.0         127.0.0.1          127.0.0.1          1
169.254.0.0         255.255.0.0       192.168.118.21     192.168.118.21    1
192.168.118.0       255.255.255.0     192.168.118.21     192.168.118.21    1
192.168.118.21      255.255.255.255   127.0.0.1          127.0.0.1          1
192.168.118.255     255.255.255.255   192.168.118.21     192.168.118.21    1
224.0.0.0           224.0.0.0         192.168.118.21     192.168.118.21    1
255.255.255.255     255.255.255.255   192.168.118.21     192.168.118.21    1
Основной шлюз: 192.168.118.1
=====
Постоянные маршруты:
Отсутствует
```

Чтобы удалить маршрут, следует выполнить команду:

route delete 169.254.0.0

Впрочем, маршрут исчезнет после перезагрузки компьютера.

Если в команду добавления маршрута добавить ключ *-p*, то маршрут станет постоянным, и не будет сбрасываться после выключения Р42 или компьютера.

Приведённое выше описание команд не претендует на полноту, оно содержит лишь необходимый минимум. При желании узнать больше об управлении сетевыми параметрами компьютера, можно воспользоваться справочной системой *Windows®* или прочитать в соответствующей литературе.

Приложение Д (справочное) Программный интерфейс управления

Д.1 Введение

Для внешнего управления измерительными приборами производства АО «НПФ «Микран» и функциями их ПО *Graphit* предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом SCPI-1999 (является дополнением спецификации *IEEE488.2*).

 *Полный список поддерживаемых команд, базовая информация по использованию SCPI и примеры программ, как правило, включены в дистрибутив соответствующего ПО, поставляемого с прибором, либо представлены на сайте www.micran.ru.*

Измерительные блоки анализаторов спектра (СК4М-18 и СК4М), скалярных анализаторов цепей (Р2М-18, -18А, -40), векторных анализаторов цепей (Р4М-18, Р4213, -26, -26А, Р44), измерителей коэффициента шума (Х5М-04, -18) и синтезаторов частот (Г7М-04, -20, -40) не поддерживают непосредственное управление SCPI командами, поэтому для них требуется соответствующее программное обеспечение (**сервер автоматизации**), роль которого выполняет либо ПО *Graphit*, или/и SCPI-драйвер (динамическая библиотека), работающий в связке с библиотекой *MiVISA* (см. таблицу Д.1).

Взаимодействие разработанного пользователем управляющего ПО (**программа-клиент**) с сервером автоматизации может осуществляться с помощью существующих готовых программных решений, например, библиотек VISA различных реализаций (*MiVISA* производства АО «НПФ «Микран», *AgVISA*, *NI-VISA* и др.). Подключение к серверу автоматизации (далее просто «подключение») может быть произведено двумя способами – непосредственно через библиотеку *MiVISA*, либо с использованием утилиты *Micran Instrument Connector* (сокращённо *MIC*, в данной инструкции описана версия *MIC 2.1*).

В случае если для управления прибором используется ПО *Graphit*, оно будет автоматически запущено в процессе подключения. Рекомендуется выбирать таймаут операции подключения (в функции *viOpen*) таким, чтобы его было достаточно для загрузки и инициализации ПО *Graphit* (например, 10 с или больше, в зависимости от производительности ПК), либо использовать функцию предзапуска ПО *Graphit* в утилите *MIC* (данная функция описана ниже).

Д.2 Подключение через библиотеку *MiVISA*

Библиотека *MiVISA* позволяет взаимодействовать с сервером автоматизации напрямую только в том случае, если программа-клиент находится на этом же ПК. Зачастую это упрощает процесс подключения – для этого в программеклиенте необходимо использовать библиотеку *MiVISA32.dll* (либо *MiVISA64.dll*, если приложение 64-х разрядное) и адрес подключения в формате:

ТСРIP::<адрес>::<порт>::SOCKET::<суффикс>,

где <адрес> – IP-адрес или сетевое имя прибора;

<порт> – номер порта для подключения (обычно 8888);

<суффикс> – определяет тип прибора и режима измерения, варианты суффиксов представлены в таблице Д.1.

Т а б л и ц а Д.1

Режим измерения	Суффикс	Поддерживаемые типы приборов	Требуемое ПО
Векторный анализатор цепей	VNA	P4M-18, P4213, -26, -26A	Graphit P4M 2.2.50 - ; Graphit P4M 2.5 -
	VNA2	P4213, -26, -26A	Graphit VNA ²⁾
	VNA4	P44	
	FACW ¹⁾	P4213, -26, -26A	MiScpiFACW.dll
Скалярный анализатор цепей	SNA	P2M-18, -18A, -40	Graphit P2M 2.3.12 -
	SNM		MiVISA.dll+ MiScpiSNM.dll
Анализатор спектра	SA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.3 -, Graphit CK4M 2.5 -
	SAM		MiVISA.dll+MiScpiNFM.dll
Измерение коэффициента шума (опция)	NFA	X5M-04, -18	Graphit X5M 2.3 -
	NFM	X5M-04, -18; CK4M-18 и CK4M	MiVISA.dll+MiScpiNFM.dll
	NFSA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.3.16 -, Graphit CK4M 2.5 -
Измерение фазового шума (опция)	PNA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.6.18 -
Синтезатор частот	GNM	Г7М-04, -20, -40; P2M-18, -18A, -40	MiVISA.dll+MiScpiGNM.dll

¹⁾Опция СИП – «Скоростные измерения».

²⁾Graphit VNA – новая линейка ПО Graphit для векторных анализаторов цепей с поддержкой многоканальных измерений.

Для режимов работы без ПО *Graphit* необходимо скопировать требуемую библиотеку (см. таблицу Д.1) в директорию программы-клиента (или в рабочую папку среды автоматизации), а также файл ключа лицензии с расширением *.lk*, если для используемого прибора режим является опциональным (более поздние версии библиотек способны обнаружить файл ключа в специализированной папке, если он был ранее добавлен в ПО *Graphit* или *Micran Instrument Connector*).

В случае, когда библиотека *MiVISA* «не смогла» обнаружить требуемую версию ПО на текущем ПК, функция *viOpen* вернёт код ошибки `VI_ERROR_LIBRARY_NFOUND (-1073807202)`.

Д.3 Доступ через *Micran Instrument Connector*

Для подключения через утилиту *MIC* необходимо настроить и активировать сессию (ожидание соединения) в следующем порядке:

а) Запустить данную утилиту из меню «Пуск»: «Все программы > *Micran Instrument Connector*», либо из соответствующего подменю «Пуск» установленной версии ПО *Graphit* (версии 2.6 и выше).

б) В появившемся окне (см. рисунок Д.1) в поле «Адрес прибора» указать IP-адрес или сетевое имя прибора; при нажатии на кнопку [...] можно выбрать прибор из открывшегося окна поиска или списка «Избранное».

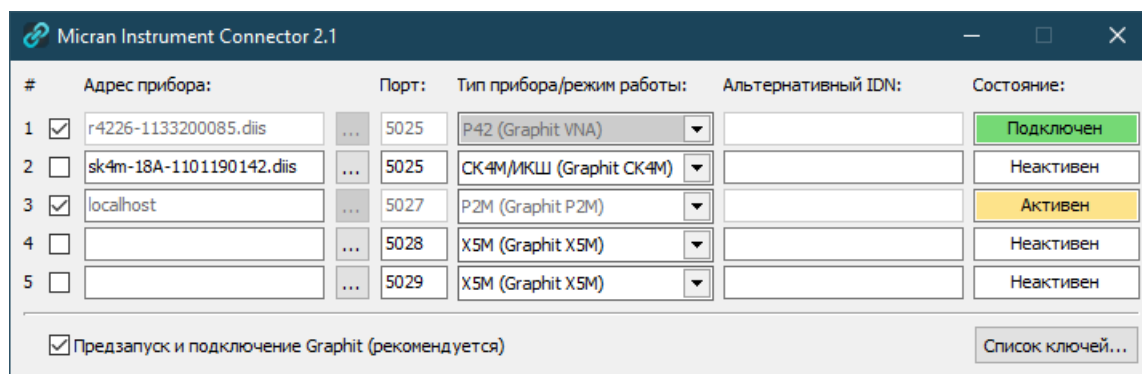


Рисунок Д.1– Главное окно программы *Micran Instrument Connector*

в) Задать порт подключения (по умолчанию 5025) в соответствующем поле; для любого последующего прибора необходимо использовать другое значение, например, увеличенное на единицу.

г) 4) Выбрать тип прибора и режим работы в соответствующем выпадающем списке.

д) В отдельном столбце «Альтернативный IDN» можно указать альтернативный идентификатор прибора, который возвращается в ответе на *SCPI*-запрос `*IDN?` вместо стандартного "Micran,<номер модели>,<заводской номер>,<версия ПО>". Он может пригодиться для обеспечения совместимости со сторонними

программными продуктами, разработанными для конкретных моделей анализаторов (например анализаторов спектра или цепей).

И В случае, когда требуется обеспечить минимальное время соединения из программы-клиента (например, значение таймаута подключения мало и недоступно для изменения), рекомендуется использовать **функцию предзапуска Graphit**. Для этого в нижней части окна МИС необходимо установить флажок «Предзапуск и подключение Graphit». Таким образом, после активации соединения (см. пункт з)) будет автоматически запущено ПО Graphit для указанного типа прибора и установлено подключение к выбранному прибору, а программа МИС перейдёт в режим ожидания подключения программы-клиента. Функция предзапуска работает не со всеми версиями ПО Graphit, более подробную информацию можно получить по адресу pribor.soft@micran.ru.

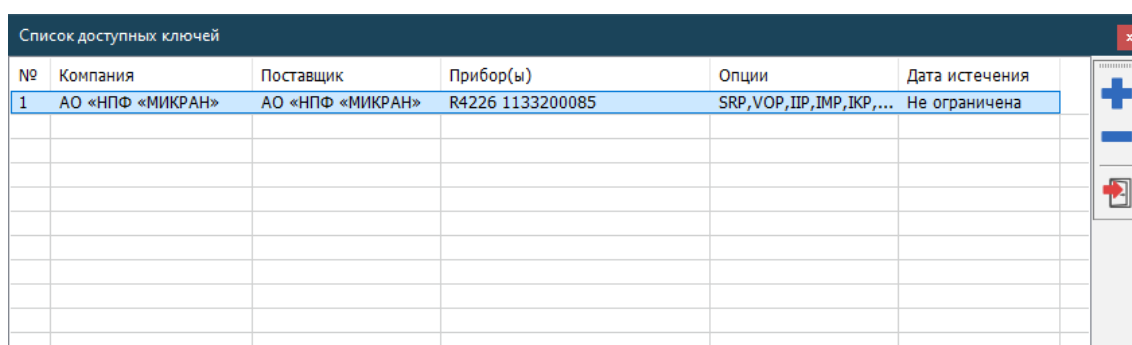
е) Установить флажок слева от строки с адресом; в поле «Состояние» отобразится сообщение «Активен» на жёлтом фоне, если:

- указанный прибор находится в сети и доступен (при отключённой функции предзапуска, либо прибор/режим её не поддерживает);
- запустилось ПО *Graphit* и осуществлено подключение к выбранному прибору (при включённой функции предзапуска).

При невозможности подключения к прибору, либо другой ошибке появится соответствующая запись.

ж) При использовании режима, являющегося программной опцией прибора (например, режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» для опции «ИКШ» СК4М) однократно добавить ключ её лицензии:

- нажать кнопку «Список ключей...» в главном окне МИС;
- нажать кнопку «+» в открывшемся окне списка ключей (см. рисунок Д.2);
- выбрать файл ключа лицензии (.lk).



№	Компания	Поставщик	Прибор(ы)	Опции	Дата истечения
1	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	R4226 1133200085	SRP,VOP,IP,IMP,IKP,...	Не ограничена

Рисунок Д.2 – Список ключей лицензий для программных опций

з) Запустить программу-клиент и установить подключение к прибору при

помощи функции *viOpen* библиотеки *VISA*, используя *IP*-адрес или сетевое имя ПК, на котором запущена утилита *MIC*, и заданный в программе для прибора номер порта:

TCP/IP::<адрес_ПК>::<порт>::SOCKET

Если программа-клиент и утилита *MIC* расположены на одном и том же ПК, то в качестве адреса подключения в функции *viOpen* необходимо указать *IP*-адрес данного компьютера.

 Для подключения из программ управления сторонних производителей необходимо использовать тип соединения «TCP/IP resource», возможно определение сессии по ответу на поисковый запрос *VXI-11*.