

АНАЛИЗАТОР ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЙ

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
(3822) 90-00-29
(3822) 41-34-03
тел/факс:(3822) 41-34-03
(3822) 42-36-15
e-mail:тел/факс:(3822) 42-36-15
pribor@micran.ru
cайт:*pribor@micran.ru*
2.0.12

© Микран, 2011–2024

МИКРАН

Содержание

Руководство по эксплуатации Часть II. Использование по назначению	5
1 Общие сведения и указания	5
1.1 Установка ПО и настройка сетевых параметров	7
1.1.1 Порядок установки программного обеспечения	7
1.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах	
подключения измерительного блока к компьютеру	8
1.2.1 Описание и выбор сетевых параметров	8
1.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного	
блока к компьютеру (рекомендуемое)	. 10
1.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к	
локальной сети	. 11
1.2.4 Изменение сетевых параметров	.12
2 Описание программного обеспечения	.14
2.1 Запуск программы и подключение к анализатору	.14
2.2 Активация программных опций	. 16
2.3 Описание элементов интерфейса пользователя	. 17
2.4 Главное меню программы	. 27
2.5 Настройка графического интерфейса	. 28
2.6 Панели управления	. 30
2.6.1 Панель «Измерение»	. 34
2.6.2 Панель «Частота»	. 34
2.6.3 Панель «Мощность»	. 35
2.6.4 Панель «Масштаб»	. 35
2.6.5 Панель «Синхронизация»	.36
2.6.6 Панель «Функции трасс»	. 37
2.6.7 Панель «Импульсные измерения»	. 37
2.6.8 Панель «Измерение шума»	. 38
2.6.9 Панель «Преобразование частоты»	. 39
2.6.10 Панель «Временная область»	. 39
2.6.11 Панель «Фильтрация»	. 40
2.6.12 Панель «Ограничение»	. 40
2.6.13 Панель «Маркеры»	41
2.6.14 Панель «Сервис»	. 41
2.7 Трассы	. 42
2.7.1 Создание и удаление трасс	.43
2.7.2 Формат отображения	.43
2.7.3 Масштабирование трасс	. 44
2.7.4 Трассы памяти	. 47
2.7.5 Накопление	. 48
2.7.6 Сглаживание	. 48
2.7.7 Усреднение	. 50

2.7.8 Ограничительные линии	50
2.7.9 Статистика	. 53
2.7.10 Математические трассы	.53
2.8 Запуск и остановка измерений	.55
2.9 Управление мошностью СВЧ	. 56
2.10 Использование профилей пользователя	. 56
2.11 Маркерные измерения	.57
2.11.1 Лобавление и улаление маркеров	.59
2.11.2 Настройка параметров маркера	. 61
2.11.3 Режимы слежения маркера	. 65
2.11.4 Связные маркеры	. 69
2.12 Сохранение результатов измерений и формирование отчётов	.73
2.13 Список «горячих» клавиш	.75
2 Кациброриа	78
3.1 Наборы калибровонных мер	.78
3.2 Выбор метода кадибровки	. 70
3.3 Выбор метода калиоровки	. 01 82
3.4 Типи калибровочных наборов и типа калибровки	. 02
3.4 1 Нормирових	. 80
3.4.2. Опнопорторая канибровка	.00
3 4 3 Прухпорторая калибровка полном направлении	.92
3.4.4 Полная прухпортовая калибровка в одном направлении	.95
3.4.5 Калиброрка для измерений настотно-преобразующих устройств	
3.4.6 Калибровка для измерении частотно-преобразующих устроиств.	103
3.5 Автоматическая калибровка	105
3.6 Калиброрка в ролнородном тракте, калиброрка TRI	1107
3.7 Калибровка в волноводном тракте, калибровка ТКЕ	113
3.7.1 Коррекция выходной мошности	114
3.7.2 Коррекция выходной мощности	117
3.7.3 Коррекция монности гетеролина	118
3.8 Сохранение, восстановление и отключение калибровонных ланных	120
5.8 Сохранение, восстановление и отключение калиоровочных данных.	120
4 Конфигурация портов	121
4.1 Преооразование опорного импеданса	121
4.2 Смещение мощности порта	122
4.3 Характеристика выходной мощности	122
4.4 Смещение плоскости калиоровки	122
4.5 Компенсация потерь	122
5 Измерения	124
5.1 Установка параметров измерения	124
5.2 Измерение коэффициента отражения	132
5.3 Измерение коэффициента передачи	133
5.4 Измерение нелинейности ФЧХ	134
5.5 Измерение компрессии	135

5.6 Векторные функции трасс
5.6.1 Функция «Фазовая задержка»
5.6.2 Функция «Временная область»
5.6.3 Функция «Фильтрация»
5.7 Встраивание и исключение цепей
5.8 Использование переходов
5.9 Система синхронизации анализатора
5.10 Измерения устройств с преобразованием частоты
5.10.1 Общие сведения
5.10.2 Измерение параметров смесителей с векторной калибровкой 158
5.10.3 Измерение параметров смесителей/умножителей со скалярной
калибровкой
5.11 Измерения в импульсном режиме
5.11.1 «Импульсный» режим
5.11.2 Режим «профиль импульса» 177
5.12 Измерение коэффициента шума
5.12.1 Измерение КШ со скалярной калибровкой
5.12.2 Измерение КШ с векторной калибровкой 185
6 Мастер автоматической поверки
6.1 Шаг №1. Поверка векторного анализатора цепей
6.2 Шаг №2. Условия и средства измерений
6.3 Шаг №3. Присоединительные размеры
6.4 Шаг №4. Абсолютная погрешность измерений КО 190
6.5 Шаг №5. Абсолютная погрешность измерений КП 191
6.6 Шаг №6. Завершение работы мастера
Приложение А (справочное) Основные формулы для коррекции S-
параметров и оценка погрешности измерений КШ 193
Приложение Б (справочное) Описание наборов калибровочных мер 203
Приложение В (справочное) Перечень возможных неисправностей 209
Приложение Г (справочное) Решение проблем при настройке сетевых
параметров
Приложение Д (справочное) Программный интерфейс управления

Руководство по эксплуатации Часть II. Использование по назначению

1 Общие сведения и указания

Анализатор цепей векторный P4213/P4226/P4226A (далее – анализатор) состоит из измерительного блока и программного обеспечения *Graphit P4M* (далее – ПО *Graphit*), находящегося на *flash*-накопителе в комплекте поставки. Для работы ПО *Graphit* необходимо, чтобы компьютер удовлетворял следующим минимальным требованиям:

МИКРАН

- операционная система Windows[®] 7/8/10/11, Astra Linux CE 2.12.45, Ubuntu LTS 22.04;
- двухъядерный процессор х86 или х64 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 P4226A – 1600 × 900);
- наличие клавиатуры и мыши, либо устройство сенсорного ввода;
- 80 МБ свободного места на жёстком диске.

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

- измерение комплексных коэффициентов отражения и передачи (S₁₁, S₂₁, S₁₂, S₂₂), комплексных сопротивлений (Z₁₁, Z₂₁, Z₁₂, Z₂₂) и проводимостей (Y₁₁, Y₂₁, Y₁₂, Y₂₂) в режимах сканирования по частоте и мощности;
- измерение коэффициента шума и эквивалентной шумовой температуры¹;
- отображение результатов измерений в различных форматах, в полярной системе координат или в виде диаграммы Вольперта-Смита;
- отображение значений мощности, поступающих на входы измерительных и опорных приёмников;
- 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;

¹Доступно только для приборов Р4226А.

- автоматическое масштабирование;
- маркерные измерения;
- создание профилей измерений и подготовка сводных отчётов.

МИКРАН

При первичной установке ПО *Graphit* следует проверить, что его версия соответствует номеру 2.6 или выше. Версия ПО отображается в окне информации (меню программы «Справка > О программе *Graphit…»*).

Подготовку анализатора к измерениям необходимо проводить согласно соответствующему подразделу ч. І.

Выключение анализатора следует проводить в следующей последовательности:

- остановить процесс измерений;
- закрыть ПО *Graphit*;
- при необходимости разобрать схему измерений;
- выключить анализатор при помощи кнопки питания U на передней панели;
- при необходимости отсоединить кабель *Ethernet* от компьютера, затем кабель сети питания и шины защитного заземления.



1.1 Установка ПО и настройка сетевых параметров

1.1.1 Порядок установки программного обеспечения

На *flash*-накопителе из комплекта поставки анализатора 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».

Для установки на компьютер ПО Graphit необходимо запустить программу install_graphit_2.6.x_R4M.exe, находящуюся в каталоге Install на flashнакопителе. В результате откроется «мастер» установки ПО Graphit, на первом шаге которого будет предложено выбрать язык программы, как показано на рисунке 1.1.

Для установки программного обеспечения пользователь компьютера должен иметь права администратора Windows®.

Выбор я	азыка Х
G	Выберите язык программы:
	Русский

Рисунок 1.1 – 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 1.2а).

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 1.2-б). В состав компонентов дополнительно включены:

- программный эмулятор приборов;
- редактор наборов калибровочных мер;
- файлы справки;
- мастер отчётов;
- драйвер электронного калибратора (необходим при наличии устройства электронной калибровки);
- руководство и примеры программирования SCPI.

G Установка — Graphit	P4M – 🗆 🗙	G Установка — Graphit P4M	- 🗆	×
z	Вас приветствует Мастер установки Graphit Р4М	Выбор компонентов Какие компоненты должны быть установлены?	(G
RA	Программа установит Micran Graphit Р4М 2.6.10 на ваш компьютер. Рекомендуется закрыть все прочие приложения перед тем, как продолжить.	Выберите компоненты, которые вы хотите установить; сник компонентов, устанавливать которые не требуется. Нажмит вы будете готовы продолжить. Полная установка	ите флажки с re «Далее», когда	
JM≓	Нажлите «Быстрая установка», чтобы установить программу с паранетрами по умолчанию (автоматически принимаются условия ЛИЦЕНЗИОННОГО СОГЛАШЕНИЯ). Нажлите «Далее», чтобы продолжить, или «Отмена», чтобы выйти из программы установки.	 Векторные анализаторы целей Р42/Р4М Редактор наборов калибровочных мер Наборы калибровочных мер Программный эмулятор приборов Файлы справки Мастер отчётов Драйвер электронного калибратора Руководство и примеры программирования SCP1 Текущий выбор требует не менее 82,7 Мб на диске. 	61,2 M6 1,3 M6 0,4 M6 1,1 M6 8,0 M6 3,9 M6 0,1 M6 5,3 M6 ¥	
Быстрая установка	Далее > Отмена	< <u>Н</u> азад	пее > Отмена	a



б) Выбор компонентов

Рисунок 1.2 – Установка ПО Graphit

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.

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

1.2.1 Описание и выбор сетевых параметров

Измерительный блок использует интерфейс *Ethernet* для подключения к компьютеру непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети. Для идентификации анализатора в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», хранящихся в текстовых файлах на встроенном в анализатор *FTP*-сервере. Пред-



приятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров анализатора:

<i>IP</i> -адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
<i>IP</i> -адрес шлюза:	0.0.0.0
Сетевое имя:	r42-13-0000001(тип и серийный анализатора мо-
	гут отличаться)

На задней панели анализатора расположена линейка из шести переключателей «Конфигуратор» (рисунок 1.3), с помощью которых выбирается набор сетевых параметров.



Рисунок 1.3 – Переключатели «Конфигуратор» на задней панели анализатора (все выключены)

Назначение переключателей «Конфигуратор» представлено в таблице 1.1.

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

Второй переключатель разрешает использование протокола автоматической 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 анализатору *IP*-адрес и маску. Если анализатор не получил ответа на *DHCP*-запрос, то устанавливаются *IP*-адрес и маска, указанные в наборе сетевых параметров.

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

Таблица1.1 – Назначение переключателей «Конфигурат	op»
--	-----

Номер переклю- чателя	Назначение	Значение «ON»	Значение «OFF»
1	Выбор набо- ра сетевых параметров	Используется набор «Пользова- теля»	Используется «Фабричный» набор

Номер переклю- чателя	Назначение	Значение «ON»	Значение «OFF»
2	Автоматиче- ская конфи- гурация	При включении питания анали- затор пытается передать <i>DHCP</i> - серверу «Сетевое имя» и в ответ получить <i>IP</i> -адрес и маску. Если анализатор не получил от- вета, то устанавливаются <i>IP</i> - адрес и маска, указанные в вы- бранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров.	Используются <i>IP</i> -адрес и мас- ка, указанные в выбранном (пе- реключате- лем 1) наборе сетевых пара- метров. «Сете- вое имя» игно- рируется
3 - 5	Не исполь- зуются	_	_
6	<i>Reset</i> (должен быть выклю- чен)	Формируется сигнал <i>Reset</i> , пре- пятствующий работе анализа- торного блока	Нормальное положение

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

При прямом подключении измерительный блок и компьютер соединяются, как показано на рисунке 1.4, кабелем витая пара 5 категории, поставляемый вместе с анализатором.



Рисунок 1.4 – Прямое подключение

Этот вариант подключения не требует каких-либо настроек¹⁾. Достаточно выполнить следующие условия:

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 30 - 40 с.

a) все переключатели «Конфигуратор» на задней панели анализатора 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» (открыть через меню «Пуск» или сочетанием клавиш 2 + 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 «Получить *IP*-адрес автоматически» и нажмите «OK».

1.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети

В варианте подключения к локальной сети (рисунок 1.5) анализатором может управлять любой компьютер локальной сети. Одним анализатором не могут управлять несколько компьютеров одновременно, но возможно управление одним компьютером несколькими анализаторами для исследования сложных СВЧ устройств. При необходимости, анализаторы могут обмениваться синхросигналами.



Рисунок 1.5 – Подключение к локальной сети

Для включения анализатора в локальную сеть необходимо или разрешить автоматическую конфигурацию – включив переключатель 2, или задать

IP-адрес каждого анализатора в наборе параметров «Пользователя» (см. п. 1.2.4). Последний вариант надёжен, хотя и не столь удобен как автоматическая конфигурация, для работы которой требуются DHCP и DNS-серверы в локальной сети.

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

1.2.4 Изменение сетевых параметров

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

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

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

- выключить анализатор;
- выполнить прямое подключение, описанное в п. 1.2.1;
- выключить все переключатели конфигуратора на задней панели анализатора;
- включить анализатор и подождать приблизительно 30 с.

б) Набрать в адресной строке интернет-браузера ІР-адрес анализатора (169.254.0.254, если используется прямое подключение) и нажать 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 рисунке 1.6.

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

микран

МИКРАН	СЕТЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ	
Информация о приборе	Данная страница отображает текущую конфигурацию пользовательских сетевых параметров прибора.	E
Сетевые параметры	IP-адрес: 169.254.0.254	
Диагностика	Маска подсети: 255.255.0.0 Сетевое имя: r4213-1132150001	
Контакты	Записать	
Описание команд SCPI	После нажатия кнопки «Записать» измененные сетевые параметры будут записаны энергонезависимую память прибора. Для применения измененных параметров необходимо перевести в положение «ОN» первый переключатель на задней панели прибора (использование пользовательских сетевых параметров), после чего перезагрузить прибор (выключить и снова включить питание прибора).	В
	Восстановить заводские сетевые параметры можно выключением первого переключателя (положение «OFF») с последующей перезагрузкой прибора.	-

Рисунок 1.6 – 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 анализатора и при включённом первом переключателе «конфигуратора» на задней панели анализатора (рисунок 1.3).



2 Описание программного обеспечения

2.1 Запуск программы и подключение к анализатору

Для запуска ПО *Graphit* следует нажать кнопку «Пуск» и выбрать пункт меню «Все программы >Micran Graphit P4M 2.6 > Graphit P4M», как показано на рисунке 2.1 (номер версии ПО может отличаться).



Рисунок 2.1 – Старт ПО Graphit

После старта ПО *Graphit* появится диалог подключения к анализатору (рисунок 2.2). Под подключением здесь понимается установка *TCP*-соединения с измерительным блоком, инициализация и установка текущих параметров.

		I	Избранное		
Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние	
Emulator	localhost	Emulator		Свободен	т дооавить
P4M-18 1102090045	r4m-18-1102090045.tetz	P4M-18	1102090045	Свободен	
					📝 Изменить
					— Удалить
					Поиск приборов

		По	 иск приборов		
Описание	Адрес прибора	По	•••• иск приборов Серийный номер	Состояние	- Durfmanner
Описание Emulator	Адрес прибора localhost	По Тип Emulator	оск приборов Серийный номер	Состояние Свободен	🕂 В избранное
Описание Emulator Р4М-18 1102160024	Адрес прибора localhost r4m-18-1102160024.tetz	По Тип Emulator P4M-18	•••• иск приборов Серийный номер 1102160024	Состояние Свободен Занят	🕂 В избранное
Описание Emulator Р4М-18 1102160024 Р4М-18 1102090044	Адрес прибора localhost r4m-18-1102160024, tetz r4m-18-1102090044, tetz	Tun Emulator P4M-18 P4M-18	иск приборов Серийный номер 1102160024 1102090044	Состояние Свободен Занят Занят	В избранное
Описание Enulator Р4М-18 1102160024 Р4М-18 1102090044 Р4М-18 1102090045	Адрес прибора localhost r4m-18-1102160024.tetz r4m-18-1102090044.tetz r4m-18-1102090045.tetz	По Тип Emulator Р4М-18 Р4М-18 Р4М-18	иск приборов Серийный номер 1102160024 1102090044 1102090045	Состояние Свободен Занят Занят Свободен	 В избранное Повторить поиск
Описание Emulator Р4М-18 1102160024 Р4М-18 1102090044 Р4М-18 1102090045	Адрес прибора localhost r4m-18-1102160024.tetz r4m-18-1102090044.tetz r4m-18-1102090045.tetz	Пол Тип Етиlator Р4М-18 Р4М-18 Р4М-18	иск приборов Серийный номер 1102160024 1102090044 1102090045	Состояние Свободен Занят Занят Свободен	 В избранное Повторить поиск
Описание Emulator Р4М-18 1102160024 Р4М-18 1102090044 Р4М-18 1102090045	Адрес прибора localhost r4m-18-1102160024.tetz r4m-18-1102090044.tetz r4m-18-1102090045.tetz	Тип Еmulator Р4М-18 Р4М-18 Р4М-18	иск приборов Серийный номер 1102160024 1102090044 1102090045	Состояние Свободен Занят Свободен Свободен	 В избранное Повторить поиск Все приборы

Рисунок 2.2 – Диалоговое окно подключения к анализатору

Диалоговое окно подключения к анализатору содержит панель «Избранное» и «Поиск приборов», в которых содержатся списки приборов с их описа-



нием, адресом, типом, серийным номером и состоянием. В правой части диалогового окна расположены кнопки управления, позволяющие добавлять, удалять и изменять элементы списка «Избранное». Команда «Повторить поиск» необходима для выполнения повторного поиска приборов в сети. Включение переключателя «Подключаться по умолчанию» приведёт к автоматическому подключению к выбранному анализатору 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 2.3) кроме команд управления списками содержит дополнительные функции: копирование адреса выделенного прибора в буфер обмена, переход в браузере на *WEB*-интерфейс прибора и создание ярлыка ПО *Graphit* на рабочем столе для быстрого запуска и подключения к выбранному анализатору.



Рисунок 2.3 – Контекстное меню списка окна подключения

После выбора анализатора из списка и нажатия кнопки «ОК» или двойного щелчка по элементу списка выполняется попытка подключения к анализатору. Если ПО не удалось установить подключение, то отобразится сообщение об ошибке (рисунок 2.4). После нажатия кнопки «ОК» диалоговое окно подключения к анализатору примет исходный вид, приведённый на рисунке 2.2. Нажатие кнопки «Отмена» закроет диалоговое окно подключения к анализатору.

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





Рисунок 2.4 – Сообщение о неудачном подключении к анализатору

Функция «Повторить поиск» позволяет повторить обнаружение доступных приборов. ПО обращается к DNS-серверу с просьбой преобразовать *IP*-адрес анализатора 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 анализатор не использовал автоматическую конфигурацию сетевых параметров (переключатель 2 на задней панели выключен, рисунок 1.3) 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* анализаторы.

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

2.2 Активация программных опций

Для активации программной опции вызовите пункт меню «Управление > Список ключей...» и в появившемся окне нажмите на кнопку **т** для выбора файла-ключа лицензии с расширением *lk* (рисунок 2.5). Файл-ключ лицензии, поставляемой вместе с анализатором, находится в директории *Licenses* на *flash*-накопителе. После добавления лицензии активация опций происходит автоматически, перезагрузка ПО *Graphit* не требуется. Список доступных про-

граммных опций ПО Graphit приведён в таблице2.1.

N₽	Компания	Поставщик	Серийный номер	Опции	Дата истечения	
1	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	R4226 1234567890	VOP,IIP	Не ограничена	

Рисунок 2.5 – Окно управления ключами лицензий

Таблица2.1 – Программные опции ПО Graphit

Обозначение	Название	Описание
ИИП (IIP)	Импульсные измерения (программно-аппаратная опция)	Измерение параметров устройств, ра- ботающих в импульсном режиме
СЧП (SCHP)	Смещение частоты при- ёмника	Управление частотой приёмника с возможностью измерения скалярного коэффициента преобразования <i>Sc21</i> (см. п. 5.10.3).
СРП (SRP)	Скрытый режим пользо- вателя	Опция предназначена для предот- вращения возможности считать из программы или измерить при помо- щи технических средств диапазона рабочих частот исследуемого устрой- ства лицами, не имеющими права до- ступа к закрытой информации.

2.3 Описание элементов интерфейса пользователя

Окно ПО *Graphit* содержит главное меню, панели инструментов, а также одну или несколько диаграмм и панели управления. На рисунке 2.6 меню и панели инструментов расположены в верхней части окна, панели управления расположены внутри соответствующей области в правой части окна.



МИКРАН

Рисунок 2.6 – Общий вид ПО Graphit P4M

Боковая **статусная панель канала** отображает амплитудные параметры канала, список которых приведён в таблице 2.2. При наведении мыши на индикатор панели появится всплывающая подсказка с расшифровкой обозначения.

Нижняя статусная панель канала отображает, в основном, параметры развёртки канала, а именно:

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

Статусная строка содержит информацию о подключённом анализаторе:

- тип и серийный номер;
- *IP*-адрес или сетевое имя анализатора;

МИКРАН _

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

Таблица 2.2 – Индикаторы боковой статусной панели канала

Наименование индикатора	Вид	Описание
Уровень выход- ной мощности	-10 дБм	Уровень выходной мощности
Межкадровое усреднение	3/3	Количество усреднённых кадров / степень межкад- рового усреднения
Полоса ФПЧ	ФПЧ 10 кГц	Полоса фильтра промежуточной частоты (ФПЧ)
	H/K	Калибровка S-параметров не выполнена, либо вы- ключена коррекция
	ДП	Полная двухпортовая калибровка
	S11 ОП	Однопортовая калибровка, порт 1
Коррекция	S21 ЧН	Калибровка частотной неравномерности на проход, порт 1
	S11 ЧН	Частотная неравномерность по отражению (нормировка), порт 1
	ДП2	Неполная двухпортовая калибровка, порт 2
	CM	Векторная калибровка для измерения смесителей
	КШ	Коэффициент шума
Встраива- ние/исключение цепи	ИЦ1 ВЦ2	Исключение цепи, порт 1 Встраивание цепи, порт 2
Коррекция вы- ходной мощности	KBM1	Включена коррекция выходной мощности порта 1
Коррекция при- ёмника	КМП 82	Включена коррекция анализаторного приёмника (b2) порта 2
Смещение мощ- ности порта 2	1 дБ	Смещение мощности порта 2 на 1 дБ
Преобразование импеданса	Z0 <->	Включено преобразование опорного импеданса
Компенсация по-	СП/КП	Включена компенсация потерь или смещение опор-



Наименование индикатора	Вид	Описание
терь и смещение		ной плоскости
плоскости		

Панели управления являются основным средством задания параметров анализатора 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. Элементы управления, используемые на панелях ПО *Graphit*, представлены в таблице2.3.

Таблица2.3 – Элементы панелей управления

Название	Вид	Описание
Кнопка	Автомасштаб трассы	Кнопка для выполнения операции.
Переключатель	Генератор шума	Переключатель (тумблер). Аналог классического флажка.
Поле со спис- ком	Тип развёртки Частота частота мощность	Предназначено для выбора одного из элементов выпадающего списка.
Поле с регули- ровкой значения	Старт 10,005 ГГц С ← Х 7 8 9 ГГц 4 5 6 МГц 1 2 3 КГц 0 ± , Гц Матц , Гц Матц , Гц Шаг (10 МГц) тип шага (Аддитивный) , 0 Гц 1 1 95 МГц 20 МГц	Элемент задания значений с воз- можностью ввода с экранной клави- атуры (ЭК), либо перелистыванием с определённым шагом при помощи колеса прокрутки мыши или клави- шами-стрелками «вверх»/«вниз». Вызов экранной клавиатуры проис- ходит по нажатию левой кнопки мыши, контекстного меню для настроек шага или выбора одного из прошлых значений – по нажатию правой кнопки мыши.

Для упрощения понимания функций тех или иных элементов интерфейса

ПО *Graphit*, необходимо рассмотреть блок-схемы обработки данных (рисунки 2.7 и 2.8).



Рисунок 2.7 – Обобщённая схема обработки данных

микран



Рисунок 2.8 – Блок-схема обработки данных в измерительном канале

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 анализатора. Здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс. Порядок обработки данных в измерительном канале представлен на рисунке 2.8.

Измерительный канал в каждой частотной точке формирует четыре комплексные амплитуды сигналов на входах приёмников – опорные a1, a2 и отражённые или прошедшие через исследуемое устройство b1, b2. Далее из комплексных амплитуд вычисляются некорректированные S-параметры:

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

Символ «*M*» (от англ.: *Measured* – измеренный) в верхнем индексе означает некорректированный. Символы «*F*» (от англ.: *forward*) и «*R*» (от англ.:

микран

reverse) в нижних индексах означают направление зондирования.

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 3.12);
- флажок в меню «Калибровка > Отключить коррекцию» не установлен.

В противном случае в диаграмму поступают некорректированные S-параметры. «Измерения» a_{1F} , $b_{1F}...b_{2R}$ служат для индикации уровней мощности в

трактах ПЧ приёмников *a1*, *a2*, *b1* и *b2* при прямом и обратном зондировании.

В ПО Graphit P4M версий 2.6.х 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 разделе 2.11, 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 установить некоторые параметры измерительного канала 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 2.9 показан пример диаграммы с контекстным меню, появившемся после клика правой кнопкой мыши по области отображения трасс.

- 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.
- 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 2.9 – 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.» указываются значения опорного уровня трассы, масштаба (ед./дел.) 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 разделе 2.7.1.

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 разделе 2.7), 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 разделе 2.7.

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, или нажав клавишу «**F12**».

Для быстрого создания сразу нескольких измерительных трасс рекомендуется использовать специальное окно «Добавить измерения» (рисунок 2.10), открыв его кнопкой 2.10 на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 2.24). 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.





Рисунок 2.10 – Окно добавления измерений

Контекстные меню (рисунок 2.11) 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.







2.4 Главное меню программы

Главное меню ПО *Graphit*, изображённое на рисунке 2.12, отображается в верхней части окна программы и состоит из следующих пунктов.

МИКРАН

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	<u>У</u> правление	Диаграмма	<u>T</u> pacca	<u>М</u> аркер	<u>П</u> рофиль	<u>В</u> ид	<u>С</u> правка
	Р	исунок	2.12 -	Глав	вное и	меню		

Файл – меню для смены режима измерения *Graphit* (в версиях ПО для ВАЦ не требуется), выхода из программы, а также содержит функции создания и отправки снимков окна программы на определённый адрес электронной почты (рисунок 2.13).

Сежим измерения Сохранить в файл F2 Онимок экрана Оправить по gmail F2 Выход Аlt+F4 Оправить по gmail Добавлять штамп времени	Режим измерения Сохранить в файл F2 Фимок экрана Аlt+F4 Отправить по gmail Отправить по gmail Имя Тип Кнл/Изм Добавлять штамп времени	<u>Ф</u> айл <u>У</u> правление <u>Д</u> иагра	мма	<u>Т</u> расса <u>М</u> аркер <u>П</u> рофиль
Снимок экрана Сохранить в файл F2 Выход Alt+F4 Сохранить в файл F2 Имя Тип Кнл/Изм Отправить по gmail Добавлять штамп времени	Снимок экрана Сохранить в файл F2 Выход Alt+F4 Сотправить по gmail Отправить по gmail Имя Тип Кнл/Изм Добавлять штамп времени	<u>Режим</u> измерения		
Выход Alt+F4 Отправить по gmail Имя Тип Кнл/Изм Добавлять штамп времени	Выход Alt+F4 Имя Тип Кнл/Изм Отправить по <u>e</u> mail Добавлять <u>ш</u> тамп времени	<u>Снимок экрана</u>	Η	Сохранить в файл F2
Имя Тип Кнл/Изм Добавлять <u>ш</u> тамп времени	Имя Тип Кнл/Изм Добавлять штамп времени	🛃 <u>В</u> ыход Alt+F4		Отправить по <u>e</u> mail
		Имя Тип Кнл/Из	м	Добавлять <u>ш</u> тамп времени

G Email	
Кому:	
От:	name@mail.ru
Сервер:	smtp.mail.ru
Текст письм Результать тестового	а: ы измерений устройства
	-
Отправи	ть Отмена

Рисунок 2.13 – Создание и отправка снимков экрана

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

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

Диаграмма – дублирует контекстное меню активной диаграммы (рисунок 2.9).

Трасса – дублирует контекстное меню выделенной(-ых) трассы(трасс), изображённое на рисунке 2.11-б и 2.11-в.

Маркер – дублирует контекстное меню управления активным маркером (рисунок 2.47).

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 разделе 2.5.

Справка – обеспечивает доступ к справочной системе и информации о



текущей версии ПО Graphit.

Существует возможность выбора пункта 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.

2.5 Настройка графического интерфейса

В меню «Вид» пользователю предоставляется возможность настройки отображения объектов ПО *Graphit* (рисунок 2.14).

Цветовая схема задаётся в меню «Вид > Темы оформления». На выбор предлагается 3 темы оформления: «Стандартная», «Графит» и «Айсберг» (рисунок 2.15).



Рисунок 2.14 – Меню «Вид»



Рисунок 2.15 – Темы оформления

Эффект «Anti-aliasing для графиков» используется для визуального сглаживания линий трасс на диаграмме (не связан с функцией «Сглаживание» для $T pacc)^{1}$.

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.

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 2.16).

G Прозрачность	
Прозрачность	
	ВКЛ
🚽 ОК	💥 Отмена

Рисунок 2.16 – Регулировка эффекта прозрачности

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

Панели инструментов, расположенные в верхней части главного окна программы, могут быть использованы для быстрого доступа к наиболее востребованным командам и функциям. 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.

Для включения тех или иных панелей управления следует установить соответствующие флажки в соответствующем подменю «Вид» (рисунок 2.17-а), либо воспользоваться контекстным меню любой из кнопок переключения панелей управления (рисунок 2.17-б). Краткое описание содержимого панелей управления представлено в п. 2.6.

¹ Некоторые настройки могут применяться только при следующем запуске программы.



Рисунок 2.17 – Настройка панелей управления

2.6 Панели управления

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

Панели управления приведены на рисунках 2.17 – 2.22.



Озмерение	f Частота	р Мощность
Межкадровое усреднение	Старт	Старт
1 Сброс	0 Гц	
Гип развёртки	Стоп	Стоп
астота 👻	20 ГГц	
ильтр ПЧ	Центр	Центр
10 кГц	10 ГГц	-10 дБи
ремя развёртки	Полоса	Полоса
АВТО 250 МС	20 ГГц	
	Точек	Точек
	501	
	Сканирование по списку	Управление аттенюаторами
	выкл Список	
		0 дБ 0 дБ
	Полный обзор	Аттенюаторы приёмников (порт 1 / 2)
	Нулевой обзор	0 дБ 0 дБ
		Внешние аттенюаторы (порт 1 / 2)
		0дБ 0дБ

а) б) в) Рисунок 2.18 – Панели управления «Измерение» (а), «Частота» (б) и «Мощность» (в)

🞗 Масштаб	Синхронизация	M	Функции трасс
Формат отображения	Синхровход	Накопл	ение
Ампл лог [дБ] 🗸 🗸	Старт развёртки	•	Выкл Минимум 🚽
Режим масштаба максимум/минимум	Инверсия синхровхода	выкл	Сброс накопления
Опорный уровень	Синхровыход	Сглажи	вание
-20	Захват ФАПЧ	~	выкл 5 %
Масштаб, ед/дел 10	Инверсия синхровыхода	-Усредн	ение 10
Позиция опорного уровня 5	Длительность импульса	10 мкс	Сброс усреднения
	Синхроген. (высокий/низкий уровен	нь)	
Автомасштаб трассы	100 нс 90	Фазова	я задержка
	Опорный генератор		
Автомасштаб диаграммы	Внешний 🚽	ОМГЦ	ическая длина 300 мм
	Дополнительно	Статист	ика

a)

B)

Рисунок 2.19 – Панели управления «Масштаб» (а), «Синхронизация» (б) и «Функции трасс» (в)



	Выкл
Шумовой приёмник Выкл	Векторная коррекция
Усиление шумового тракта Высокое	Множитель/делитель частоты Р4 1 1
Фильтр разрешения 15 МГц	Старт гетеродина 1 ГГц
Усреднение в приборе 100	Стоп гетеродина 2 ГГц
	Множитель/делитель частоты гетеродина -1 1
	Настройка гетеродина
	Смещение О Гц
	Старт/стоп ПЧ 4 ГГц 10 ГГц
	Отображать частоты Зондирования
	Словон призник Усиление шумового тракта Высокое Фильтр разрешения 15 МГц Усреднение в приборе 100

Рисунок 2.20 – Панели управления «Импульсные измерения» (а), «Измерение шума» (б) и «Преобразование частоты» (в)



Временная область	Фильтрация	Ограничение
Временная область ВКЛ	Фильтрация ВКЛ	Отображение линий Выкл
Старт -2 нс	Центр 1 нс	Тестирование
Стоп 5 нс	Полоса 2 нс	Верхняя огр.линия
Центр 1,5 нс	Тип координат окна Время	Смещение верхней линии (X/Y) О Гц О дБ
Полоса 7 нс	Диэлектрическая проницаемость 1	Нижняя огр.линия
Тип координат окна Время	Функция окна Выделение	Смещение нижней линии (X/Y) 0 Гц 0 дБ
Диэлектрическая проницаемость 1	Параметр окна 6	
Взвешивание окном Нет	ЧХ [0 Гц]	
Тип характеристики Импульсная	Экстраполяция ЧХ	
Сопротивление		
Режим сигнала Видеосигнал 🚽 Установить		
ЧХ [0 Гц] АВТО 1,16		
a)	ნ)	в)

Рисунок 2.21 – Панели управления «Временная область» (а), «Фильтрация» (б) и «Ограничение» (в)



Маркеры	Сервис
Маркер	Внешний опорный сигнал А1/А2
5 🗸 ВКЛ	Выкл
Залающее возлействие	Напряжение смещения (DC) порта 1
6,853 ГГц	📔 🗦 Выкл 🛛 О В
	Измерение тока (DC) порта 1
-> Центр диапазона	Выкл ОА
	Напряжение смещения (DC) порта 2
-> Опорный уровень	выкл ОВ
Режим маркера	Измерение тока (DC) порта 2
Своб. пол. 🚽 0	выкл 0 А
	Компенсация аттенюаторов
Все своиства	ВКЛ
Шаблоны	
Открыть Сохранить	ВКЛ
Сбросить все	
•	
``	5
a)	0)

Рисунок 2.22 – Панели управления «Маркеры» (а) и «Сервис» (б)

2.6.1 Панель «Измерение»

- «Межкадровое усреднение» коэффициент усреднения и сброс накопленных данных;
- «Тип развёртки» определяет режим сканирования анализатора (по частоте/по мощности);
- «Фильтр ПЧ» полоса фильтра промежуточной частоты;
- «Время развёртки» управление временем развёртки анализатора.

Описание данных параметров измерения приведено в п. 5.1.

2.6.2 Панель «Частота»

- «Старт» начальная частота сканирования;
- «Стоп» конечная частота сканирования;
- «Центр» центральная частота сканирования;
- «Полоса» полоса обзора;
- «Точек» количество точек;
- «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 полного диапазона сканирования;
- «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».

2.6.3 Панель «Мощность»

- «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 P4226A или при наличии опции ДМА для P4213 и P4226);
- «Аттенюатор генератора (порт 1 / 2)» состояние встроенных аттенюаторов на выходе портов 1 и 2 (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 (только для P4226A или при наличии опции ДМА для P4213 и P4226), 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; данные поля частично дублируют параметры функции «Компенсация потерь» в окне «Конфигурация портов» (см. п. 4.5).

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

2.6.4 Панель «Масштаб»

- «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»/«Максимум» задание опорного уровня трас-

сы, либо задание верхней границы левой оси трассы при включённом режиме масштаба максимум/минимум;

- «Масштаб, ед/дел»/«Минимум» задание масштаба трассы, либо задание нижней границы левой оси трассы 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 2.19-а) представлено в п. 2.7.3.

2.6.5 Панель «Синхронизация»

- «Синхровход» выбор режима входа синхронизации;
- «Инверсия синхровхода» инверсия импульсов на входе синхронизации;
- «Синхровыход» выбор режима выхода 1 синхронизации;
- «Инверсия синхровыхода» инверсия импульсов на выходе 1 синхронизации;
- «Длительность импульса» длительность импульсов на выходе 1 синхронизации;
- «Длительность высокого уровня» длительность высокого уровня внутреннего синхрогенератора;
- «Длительность низкого уровня» длительность низкого уровня внутреннего синхрогенератора;
- «Опорный генератор выбор опорного генератора и частоты внешнего опорного генератора;
- «Дополнительно...» кнопка открытия окна (рисунок 2.23) с настройками основного («Выход 1») и дополнительных выходов синхронизации 2 и 3. Выходы с включённой синхронизацией подсвечиваются в статусной строке окна.


Дополнительная синхро	онизация ×
Разъём синхронизации	1
Выход 2	•
Синхровыход	
Следующая точк	a 🗸 🗸
Инверсия синхровыхс	Выкл
Длительность импуль	са 10 мкс
Синхроген. (высокий	/низкий уровень)
100 нс	900 нс
🖌 ОК	🗱 Отмена
C+ F	ыхол 2

Рисунок 2.23 – Окно «Дополнительная синхронизация»

Использование системы цифровой синхронизации анализатора описано в пункте 5.9.

2.6.6 Панель «Функции трасс»

- «Накопление» накопление максимумов, минимумов, либо отображение межкадровой статистики в точках трассы;
- «Сглаживание» управление функцией сглаживания данных трассы с заданием размера апертуры;
- «Усреднение» настройка функции межкадрового усреднения данных трассы;
- «Статистика» включение и отключение отображения статистики трассы;
- «Фазовая задержка» управление функцией фазовой задержки с заданием её величины, отображение соответствующей электрической длины.

2.6.7 Панель «Импульсные измерения»

Используется для конфигурации импульсных режимов измерения (опция ИИП, см. п. 5.11) и содержит следующие поля:

- «Режим» выбор режима импульсных измерений;
- «Временно́е 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.

2.6.8 Панель «Измерение шума»

Используется для настройки параметров шумового приёмника и управления питанием ГШ (только для P4226A):

- «Генератор шума» ручное управление напряжением питания +28 В генератора шума;
- «Шумовой приёмник» принудительное использование шумового приёмника вместо приёмника b2 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 анализаторе 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 КУ + КШ <42 дБ;
 - низкое (аттенюаторы включены), если 42 дБ < КУ + КШ < 56 дБ;
- «Фильтр разрешения» задаёт полосу пропускания фильтра разрешения (англ.: *RBW resolution bandwidth*); некоторые модели P4226A, выпущенные до 2023 г., не имеют фильтр разрешения в этом случае поле не доступно для изменения;
- «Усреднение в приборе» усреднение в измерительном блоке; при усреднении 1 одна точка измеряется ~0,89 мс, при максимальном усреднении 100, соответственно, в 100 раз дольше.

Описание измерений КШ приведено в п. 5.12.



2.6.9 Панель «Преобразование частоты»

Содержит настройки измерения частотно-преобразующих устройств (опции СЧП и СПА для Р4213 и Р4226, см п. 5.10):

- «Преобразование» включение или отключение преобразования частоты приёмника анализатора с дополнительным измерением скалярного коэффициента преобразования;
- «Векторная коррекция» индикация векторной коррекции (калибровка смесителей);
- «Множитель/делитель частоты Р4» значения множителя и делителя частот анализатора в формуле преобразования;
- «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 5.36-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.

2.6.10 Панель «Временная область»

Содержит настройки преобразования характеристик во временную область (подробное описание в п. 5.6.2):

- «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.

2.6.11 Панель «Фильтрация»

Используется для настройки функции фильтрации во временной области (подробное описание в п. 5.6.3) 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.

2.6.12 Панель «Ограничение»

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

ней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат.

Информация по использованию ограничительных линий приведена в п. 2.7.8.

2.6.13 Панель «Маркеры»

Содержит часто употребляемые свойства и функции для работы с маркерами (полное описание приведено в п. 2.11):

- «Маркер» выбор номера конфигурируемого маркера и его состояния;
- «Задающее воздействие» горизонтальная позиция маркера на диаграмме, соответствующая значению частоты (или мощности, отсчёта времени);
- «->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.

2.6.14 Панель «Сервис»

- «Внешний опорный сигнал A1/A2» (только при наличии опции ДПА для P4213 и P4226) – отключение системы APM, а также размыкание внутренней перемычки в тракте опорной частоты (для приёмника A1 при наличии опции СПА для P4213 и P4226) при использовании внешнего опорного сигнала для соответствующего приёмника.
- «Напряжение смещения (DC) порта ...» включение адаптера питания и подача постоянного напряжения на выход соответствующего порта (только при наличии опции АПА для P4213 и P4226).
- «Измерение тока (DC) порта ...» измерение значения постоянного тока в цепи соответствующего порта (только при наличии опции

МИКРАН

АПА для Р4213 и Р4226 и программируемого источника питания).

- «Компенсация аттенюаторов» функция, позволяющая отключить коррекцию измеренных данных приёмников в соответствии с текущими значениями входных и выходных аттенюаторов.
- «Уменьшение фильтра ПЧ на НЧ» функция автоматического уменьшения анализатором полосы фильтра ПЧ на низких частотах (до 500 Гц) для снижения уровня шумов измеряемых параметров.

2.7 Трассы

В ПО *Graphit* существует 3 типа трасс:

- измерительная;
- трасса памяти;
- математическая трасса.

Измерительная трасса представляет собой графическое представление результатов измерений анализатора. Как было описано в разделе 2.3, источником данных трассы является «измерение», 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 2.24), либо подменю трассы «Измерение».

Рисунок 2.24 – Панель инструментов «Источник данных»

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 2.25) и в контекстном меню трассы для быстрого доступа.



Рисунок 2.25 – Панели инструментов «Функции трасс» и «Анализ данных»

Порядок обработки и форматирования данных трассы представлен на рисунке 2.26.



Рисунок 2.26 – Блок-схема обработки данных в трассе

2.7.1 Создание и удаление трасс

Чтобы создать измерительную или математическую трассу, следует выбрать соответствующий пункт контекстного меню диаграммы (рисунок 2.9) или использовать комбинации клавиш «Ctrl+N» или «Ctrl+M» соответственно. Способы сохранения и импорта данных в трассы памяти описаны в пункте п. 2.7.4.

Удаление трассы осуществляется с помощью команды контекстного меню удаляемой трассы (рисунки 2.11), либо выделением трассы и нажатием клавиши «Del».

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

2.7.2 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 2.11), либо на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 2.24) или панели управления «Масштаб» (рисунок 2.27).

МИКРАН

2.7.3 Масштабирование трасс

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 линий 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» (рисунок 2.27).

Переключатель «Режим масштаба максимум/минимум» (рисунок 2.27) 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», «Масштаб, ед/дел» и «Позиция опорного уровня» для удобства всегда отображаются в соответствующих столбцах списка трасс (раздел2.3).

- Пункт меню трассы «Автомасштаб» или нажатие клавиши «А» (латиница) позволят подобрать масштаб и опорный уровень выделенной трассы так, чтобы она занимала бо́льшую часть области построения трасс. Если предварительно выделить несколько трасс, то для них будет выбран одинаковый масштаб.
- (1) «Автомасштаб диаграммы» выполняет аналогичное действие для всех отображаемых трасс на диаграмме (комбинация клавиш «Ctrl+*»). Данные функции также доступны на панели инструментов «Отображение трасс» (рисунок 2.28).



Q	Масштаб
Форг	мат отображения
Амг	ил лог [дБ] 🛛 🗸 🗸
Режи	им масштаба максимум/минимум
	Выкл
Опор	оный уровень
	-20
Масш	лаб, ед/дел
	10
Пози	ция опорного уровня
	5
	Автомасштаб трассы
	Автомасштаб диаграммы

Рисунок 2.27 – Панель управления «Масштаб»



Рисунок 2.28 – Панель инструментов «Отображение трасс»

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, к которому относится «измерение» выделенной трассы. Если используется некое преобразование (например, «Временная область»), дополнительно включаются подписи нижней оси («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 Х» в меню диаграммы). «Логарифмическая шкала Y» может быть использована для более информативного просмотра графиков величин в линейных единицах измерения (например, мВт, мВ).



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 выделяемого фрагмента и переместив курсор мыши в противоположный угол, как показано на рисунке 2.29. После отжимания кнопки мыши производиться масштабирование осей по заданным (очерченным) границам.



Рисунок 2.29 – 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 2.29-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 2.29-Б). После отжимания кнопки мыши изменяется только вертикальный масштаб выделенных трасс.
- «вправо-вверх» рисуются вертикальные линии выделения по всей высоте диаграммы (рисунок 2.29-В). После отпускания кнопки мы-

микран

ши изменяется только диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.

 «влево-вверх» отменяется последнее масштабирование (рисунок 2.29-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 2.30.



Рисунок 2.30 – Смещение диапазона сканирования

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

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

2.7.4 Трассы памяти

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 2.11-б.

- 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.
- Фиобы обновить данные в трассе памяти (если трасса-источник существует), необходимо использовать пункт меню «Обновить» или комбина-

цию клавиш «Ctrl+U».

Для чтения *S2P*-файла следует выбрать пункт «Открыть данные...» в меню диаграммы. 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 анализатору или эмулятору), то никакие трассы отображаться не будут, т.к. не определена ось абсцисс. Другими словами, чтобы посмотреть *S2P*-файлы, необходимо подключение к анализатору.

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.

2.7.5 Накопление

Накопление минимальных, максимальных значений или отображение межкадровой статистики трассы включается нажатием кнопки со списком ^км - 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 средне-квадратичное 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 ^с 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 2.31), либо из контекстного меню трассы.



Рисунок 2.31 – Управление накоплением с панели «Функции трасс»

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

2.7.6 Сглаживание

Сглаживание трассы включается кнопкой 🚧 на панели инструментов «Функции трасс» (рисунок 2.25). Поле ввода с регулировкой значения 5% - зада-



ёт размер апертуры сглаживания в процентах от числа точек в трассе:

$$C$$
глаживание[%] = (N + 1) / Количество точек, (1)

где N + 1 -размер апертуры;

Количество точек задаётся в измерительном канале.

Процедура сглаживания вычисляет среднее среди соседних точек трассы:

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

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 2.32). Усреднение может выполняться в измерительном канале (см. п. 5.1), либо в трассе (см. п. 2.7.7).



Рисунок 2.32 – Сглаживание и усреднение трасс

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.

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.

2.7.7 Усреднение

Для уменьшения дисперсии отображаемого шума (рисунок 2.32) можно использовать межкадровое усреднение данных трассы. Функция включается в меню трассы, на панели инструментов при помощи кнопки \mathcal{A} , либо на панели управления «Функции трасс» (рисунок 2.33). Поле ввода «Коэффициент усреднения» задаёт число кадров усредненияK; при K > 1 вместо результатов измерений отображаются средние значения в каждой частотной точке, вычисленные по формуле:

$$S_{i}' = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot S_{i} + \frac{k-1}{k} \cdot S_{i-1}', k < K \\ \frac{1}{K} \cdot S_{i} + \frac{K-1}{K} \cdot S_{i-1}', k \ge K \end{cases},$$
(4)

где S_i – исходные значения в трассе;

*S*_{*i*}' – значения после применения функции усреднения;

- *k* количество накопленных кадров;
- К-коэффициент усреднения.

Усреднение ВКЛ	
Сброс усреднения	

Рисунок 2.33 – Управление усреднением с панели «Функции трасс»

2.7.8 Ограничительные линии

Ограничительные линии применяются при тестировании и отбраковке изготовляемых 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 2.34) или соответствующими кнопками на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 2.25).



Ограничение			
Отображение линий	выкл		
Тестирование	выкл		
Верхняя огр.линия			
Смещение верхней линии (X/Y) О Гц	<mark>0 д</mark> Б		
Нижняя огр.линия			
Смещение нижней линии (X/Y) О Гц	<mark>0</mark> дБ		

Рисунок 2.34 – Панель управления «Ограничение»

Ограничительные линии задаются отрезками в диалоговом окне (рисунок 2.35).

Верхняя огр.	Верхняя огр.линия - Trc1 🛛 🛛 🕰				
- 🔄	🔄 - 🚔 💾 🚔 💳 🗱				
Nº	Х1 [МГц]	Y1 [дБ]	Х2 [МГц]	Y2 [дБ]	~
1	0	-40	5000	-40	
2	5000	-10	9000	-10	
3	9000	-40	20000	-40	
4					
					~
	-	ОК	*	Отмена	

Рисунок 2.35 – Окно табличного задания ограничительной линии

В столбцах «Х» задаются абсциссы отрезков, в столбцах «У» – 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 Ууправление ограничительными линиями переходит в **режим графического редактирования**, в котором точки линий задаются нажатием мыши на диаграмме, при этом отображение таблицы временно блокируется (рисунок 2.36). В режиме графического редактирования кнопкой **Ф** 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 **Ф** включает режим перемещения точек, при этом предыдущий вариант ограничительной линии (табличный) на диаграмме отображается тонкой штрихованной линией, а фак-



тическая 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!





Переключатель «Тестирование» на панели управления «Ограничение» (рисунок 2.34) или кнопка на панели инструментов включают проверку на пересечение трассой ограничительных линий. Результат проверки отображается на диаграмме, как показано на рисунке 2.37. 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 анализатора, избавляя пользователя от необходимости редактирования всей таблицы ограничительной линии. Аналогичная функция также продублирована для нижней ограничительной линии.



Рисунок 2.37 – Проверка ограничительными линиями

2.7.9 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 2.38.



Рисунок 2.38 – Отображение статистики трассы

Отображение статистических данных включается и выключается кнопкой на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 2.25). Текст со статистическими данными может быть перемещён мышью в пределах области построения трасс в более удобное для пользователя положение.

2.7.10 Математические трассы

Чтобы создать математическую трассу, следует в меню диаграммы выбрать соответствующий пункт или нажать комбинацию клавиш «*Ctrl+M*». Далее, используя пункт меню «Настройка выражения...» созданной трассы (рисунок 2.11-в), открыть окно настройки операндов и математической операции над ними (рисунок 2.39).



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.

Выбор математического выражения		
Источники данных		
Tpacca A	Tpacca B	
Trc2	Trc3	• =
Сохранённые выражения		
Имя		
A + B ▼		
Математическое выражен	ие и формат	
A + B		
4	ОК	Отмена

Рисунок 2.39 – Окно «Выбор математического выражения»

В большинстве анализаторов математические трассы оперируют с отображаемыми значениями. Математические трассы векторных анализаторов цепей 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 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 (рисунок 2.40), а также удалить выражение из списка. В случае, когда источником данных является измерение с комплексным форматом данных (например, *S11*), редактирование выражений недоступно.



редактирование выражения				
Имя				
Разность А-В				
Математическое выражение				
A-B				
^				
abs() ≡				
cos() cta()				
Возвращает результат возведения числа в степень. В выражении А^В, А - это основание, В - степень.				
🖌 OK 🗱 Отмена				

Рисунок 2.40 – Редактирование математического выражения

2.8 Запуск и остановка измерений

Запуск или остановку измерений можно осуществить любым из способов, перечисленных в таблице 2.4.

			v
$1 a 6 \pi u \pi a 2 4 -$	Способы запуск	а и остановки измерени	ии
таолицаал	Chocoobi Sunger	a n oe fanobkii nomepeni	III

Элемент управ- ления	Непрерывные измерения	Одиночное измерение
Кнопка панели инструментов	► подменю «непрерывный»	► подменю «одиночный»
Пункт меню «Управление»	«Измерение»	«Измерение (x1)»
«Горячая» кла- виша	F5	Alt+F5



Рисунок 2.41 - Меню «Управление»



2.9 Управление мощностью СВЧ

Мощность СВЧ на выходе зондирующего порта анализатора по умолчанию автоматически включается при запуске измерений и выключается при их остановке (см. п. 2.8).Список всех доступных режимов управления мощностью СВЧ представлен ниже:

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

Выбор режима управления мощностью производится из подменю кнопки , либо меню «Управление > Мощность СВЧ» (рисунок 2.41).



Рисунок 2.42 – Режимы управления мощностью СВЧ

Чтобы выключить мощность, достаточно отжать кнопку , либо выбрать «ВЫКЛ» в выпадающем списке (см. рисунок 2.42), либо воспользоваться меню согласно рисунку 2.41.

2.10 Использование профилей пользователя

Процесс измерений обычно сопровождается заданием множества параметров. При завершении ПО *Graphit* текущие значения всех параметров диаграмм, трасс, маркеров и измерительных каналов, исключая калибровочные данные, сохраняются на диск. При старте ПО *Graphit* все сохранённые параметры восстанавливаются.

Существует возможность сохранения параметров в отдельный файл, называемый профилем. На рисунке 2.43 изображены панель «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 совместимые с текущим

режимом ПО пользовательские профили. 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 (Э) «Экспортировать профиль в файл...(*F*4)» позволяет сохранить файл выбранного профиля в произвольную директорию. Кнопка (*Esc*)» закрывает окно «Список профилей».

МИКРАН

- Штобы 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.
- Фиобы сохранить профиль в список или файл, следует в меню «Профиль» выбрать пункт «Сохранить…» или нажать клавишу «F4».
- Филобы восстановить настройки по умолчанию, необходимо в меню «Профиль» выбрать пункт «Восстановить начальные параметры» или нажать кнопку на панели инструментов «Профили».

			🚖 Список профилей	- C	x נ
	🖄 술 술		Профиль	Дата изменения	
			pulse	2012.09.14, 11:57:15	_
-			test	2021.12.08, 10:32:12	
Про	филь <u>В</u> ид <u>С</u> правка		Профиль 1	2022.02.10, 15:14:45	
1	<u>О</u> ткрыть	F3	Профиль 5	2020.06.08, 11:23:29	
瘤	<u>С</u> охранить	F4			
3	<u>В</u> осстановить начальные параметры				- 2
	1. Profile 1.gpr				
	<u>2</u> . Профиль 2.gpr				
	3. Profile 5.gpr				
	4. Profile 2.gpr				

Рисунок 2.43 – Элементы управления профилями

Утилита FlushGPR.exe, находящаяся в директории с установленной программой, позволяет удалять или экспортировать текущие настройки ПО Graphit (рисунок 2.44) в случае сбоя в процессе его загрузки.

Flush GPR	3
Профили приборов Р4М 🔻	
Удалить Сохранить как Выход	

Рисунок 2.44 – Окно программы Flush GPR

2.11 Маркерные измерения

Маркеры – это дополнительное средство анализа результатов измерений. Маркеры отображают в численном виде значения некоторых точек трассы. Ка-

МИКРАН

кая 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 или нескольким трассам.

Маркеры отображаются в виде треугольника с номером на нижней оси графика, вертикальной линии и окна индикации (рисунок 2.45). 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.



Рисунок 2.45 – Использование маркеров

На рисунке 2.46 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 2.46-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. 2.11.2). В частности, среднее значение считывается из второй позиции.







2.11.1 Добавление и удаление маркеров

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

- Фиобы создать маркер, необходимо взять мышью треугольник в левом нижнем углу диаграммы и переместить его в желаемую позицию.
- Фиобы 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 параметры (так называемый **шаблон маркеров**) в отдельный файл, выбрав пункт меню диаграммы «Маркеры» Сохранить...» (рисунок 2.47), а также загрузить их, используя пункт меню «Маркеры»Загрузить...».

При выборе пункта меню диаграммы «Маркеры > Компактный режим отображения» маркеры будут отображаться, как показано на рисунке 2.47, 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.



Рисунок 2.47 – Компактный режим отображения маркера

Функция «Расстановка маркеров по списку...» (рисунок 2.47) позволяет пользователю расположить маркеры на диаграмме в соответствии с заранее созданным списком частот (мощности), загрузив его из файла или создав непосредственно в таблице (рисунок 2.48). Необходимо заметить, что настройка существующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

Расстановка маркеров по списку 🛛 🛛		
N₽	Частота, МГц	
1	5740	
2	8250	-
3	4200	_
		₽
		÷
		.
		X
	Далее Отме	на

Рисунок 2.48 – Расстановка маркеров по списку частот

После нажатия кнопки «Далее» необходимо выбрать трассы, значения которых будут отображаться в маркерах (рисунок 2.50).

2.11.2 Настройка параметров маркера

На рисунке 2.49-а показано контекстное меню маркера, появляющееся после щелчка правой кнопки мыши по номеру маркера или по окну индикации маркера; на рисунке 2.49-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 2.52).

МИКРАН



а) контекстное меню

б) панель управления

Рисунок 2.49 – Контекстное меню и панель управления маркера

Из отображаемых значений в маркере можно исключить (или добавить) данные тех или иных трасс. Для этого достаточно изменить состояние флажков в соответствующем окне (рисунок 2.50), 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.



Отображаемые трассы маркера 1
Выберите трассы для отображения
Tpc1 (S11)
Tpc2 (S21)
Tpc4 (S12)
Выделить/снять все
0
Отображать новые трассы
OK 🗱 Отмена

Рисунок 2.50 – Выбор отображаемых в маркере трасс

Подменю «Связной маркер» предназначено для быстрого создания связного маркера между текущим и маркером из списка. Описание связных маркеров приведено в пункте 2.11.4.

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.



МИКРАН

Рисунок 2.51 – Контекстное меню маркера «Формат значений» диаграммы Смита

На рисунке 2.51 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 номера, могут быть использованы следующие **«горячие» клавиши**:

←/→	перемещение в дискретном и режиме автопоиска;
D	вкл./выкл. Дискретный режим;
E	вкл./выкл. Режим автопоиска экстремума;
Т	вкл./выкл. режим слежения;
U	обновление значений фиксированного маркера;
V	вкл./выкл. активный маркер;
S	вкл./выкл. статистики;
Ctr 1+ 1 ÷ 9	привязать маркер к соответствующей трассе.



Общие	Поиск	
Состояние	Режим	Трасса привязки
вы	Свооодный	
Задающее воздействие	Слежение	Трасса дельта
5,945 ГГц		u 🗌
Точность (абсцисс/ординат)	Диапазон поиска	Опорный мэркер
6 3	10 МГц 15	5 ГГЦ
Лисиратиций	 Полный диапазон	Смещение
Выкл)	л уров> 🔪 3 дВ
Статистика	Автопоиск	Уровень
Выкл	Выключен	– ОдЕ
Фиксированный маркер	Номер экстремума	Допуск
Выкл		1 10 дЕ

Рисунок 2.52 – Окно свойств маркера

Переключателем «Состояние» (рисунок 2.52) 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 доступен для редактирования только в режиме слежения «Свободный» (см. п. 2.11.3).

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. 2.53).



Рисунок 2.53 – Интерполяция при отображении значений в маркерах

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.

микран

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. 2.11.3) 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.

2.11.3 Режимы слежения маркера

В правом нижнем углу окна индикации маркера отображается значок, обозначающий режим маркера:

- • свободный (свободное положение маркера);
- 🗸 минимум (слежение за минимальным уровнем);
- А максимум (слежение за максимальным уровнем);
- 🖉 уровень (слежение за заданным уровнем);
- Х дельта-минимум (слежение за минимальной разностью уровней);
- Ф 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» 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 2.56-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 выпадающим списке «Смещение» из значений «<- уров.», «уров. ->» (для смещения по уровню) и «<- поз.», «поз. ->» (для смещения на значение отстройки).

Например, на рисунке 2.45 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.

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 диапазона или отображении трассы во временную область.

При выборе смещения маркера (рисунок 2.55, смещение равно 10 дБ) относительно найденного экстремума, может возникнуть некоторый дополнительный сдвиг, обусловленный свойством «Дискретный» (см. п. 2.11.2), 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 дельтамаркер (в соответствии с установленным типом и значением смещения). Данная функция может быть удобной при анализе АЧХ или спектра различных устройств. На рисунке 2.54 приведён пример использования двух дельтамаркеров 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.

МИКРАН



Рисунок 2.54 – Пример использования дельта-маркеров

Порядок настройки подобной конфигурации маркеров следующий:

а) установить маркер на нужную центральную частоту (опорный маркер);

б) добавить первый дельта-маркер, выбрав режим слежения «Дельтамаркер» в окне свойств (при этом качестве опорного автоматически выбирается первый включённый маркер диаграммы, при необходимости указать его вручную в соответствующем поле);

в) 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. 2.11.4) 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. 2.11.4) между дельта-маркерами для отображения разницы частот между ними (по умолчанию).

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 пере-



мещении маркера мышью на трассе появляются жёлтые треугольники, обозначающие локальные минимумы и максимумы, как показано на рисунке 2.56-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.



Рисунок 2.55 – Демонстрация особенностей работы маркера при поиске экстремума



Рисунок 2.56 – Виды маркеров

Маркер в режиме «Автопоиск» может пропускать экстремумы, отличаю-



щиеся 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».

2.11.4 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, показанная на рисунке 2.45, над которой отображается некоторое значение, которое по умолчанию соответствует разнице абсцисс связанных маркеров (шаблон «Полоса»). После щелчка правой кнопкой мыши по связному маркеру появляется контекстное меню (рисунок 2.57), позволяющее изменить свойства, скопировать значение, выполнить одну из команд или удалить связной маркер.



Рисунок 2.57 – Контекстное меню связных маркеров

Окно свойств связного маркера, приведённое на рисунке 2.58, позволяет задавать арифметическое выражение, вычисляющее отображаемое над связью значение.

Свойства связного маркера			X
Сохранённые выражения			
Имя		_ ♥	
Полоса, МГц			- -
Математическое выражение и	формат	Тоциость	
abs(a.apr-б.apr)/10^6 %зн МГц		TOUNOCID	3
	🖌 OK	💥 Отмена	

Рисунок 2.58 – Свойства связного маркера

Арифметическое выражение можно набрать в поле ввода «Математическое выражение» или выбрать из списка сохранённых формул в верхней части диалога. Кнопки справа от списка позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 2.59), или удалить выражение из списка сохранённых.

МИКРАН

Редактирование выражения	
Имя	
Полоса, МГц	
Математическое выражение	Формат отображения
abs(a.apr-6.apr)/10^6	%зн МГц
аbs() cos() ctg() In() Возвращает результат возведения числа в степень. В выражении А^В, А - это основание, В - степень.	%3H %cp %cko %MMH %Makc <i>Текущее значение выражения</i>
1	ОК 🗱 Отмена

Рисунок 2.59 – Редактирование математического выражения

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

- • 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.

Таблица 2.5 – Поддерживаемые операнды математических выражений

Операнд	Значение
abs (выражение)	Абсолютное значение (модуль числа)
sin(выражение)	Синус
<i>соѕ (выражение)</i>	Косинус
tg(выражение)	Тангенс
ctg(выражение)	Котангенс
ln(выражение)	Натуральный логарифм
log(выражение)	Десятичный логарифм
sqrt(выражение)	Вычисление квадратного корня

Операнд	Значение	
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 бо́льшим. 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 «I», 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);
- %врм 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.

<u>Пример 1</u>: а.арг-б.арг | 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 абсолют-

ное значение разности.

<u>Пример 2</u>: (а.арг+б.арг)/(2*(а.арг-б.арг)^2^0.5) | Добротность: %зн

МИКРАН

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.

<u>Пример 3</u>: (а.арг-б.арг)/(м1.арг-м2.арг) | %зн - коэф. прямоугольности

В этом примере также предполагается, что измеряется АЧХ полосового фильтра. Связанные маркеры следят за уровнем меньше максимума на 50 дБ. Маркеры «м1» и «м2» следят за уровнем меньше максимума на 3 дБ. Отношение разностей их аргументов даёт коэффициент прямоугольности фильтра.

<u>Пример 4</u>: а.Трс1-а.Пам1 | %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 связного маркера можно установить диапазон сканирования, выбрав команду «-> Диапазон» в контекстном меню связного маркера (рисунок 2.58), 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 2.60 показана исходная трасса, а на диаграмме «Б» – с использованием функции компенсации тренда.


Рисунок 2.60 – Функция компенсации тренда в связном маркере

2.12 Сохранение результатов измерений и формирование отчётов

Для сохранения результатов измерений существуют следующие возможности:

- сохранение трассы;
- сохранение данных в формате *Touchstone*®*S1P/S2P*;
- формирование и сохранение отчёта.

Чтобы сохранить трассу на диск, следует выбрать пункт «Сохранить» в меню трассы или нажать комбинацию 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.

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» (рису-



нок 2.61).

Сохранение данных				
Формат S-параметров Амплитуда лог/фаза (DB)				
Комментарий				
Комментарий к данным				
🖌 ОК	🗱 Отмена			

Рисунок 2.61 – Сохранение данных в формате Touchstone ®S1P/S2P

В отличие от сохранения трассы, в *S2P*-файл записываются значения с выходов «измерений» до обработки данных в трассе (рисунок 2.7), 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*.

Чтобы создать отчёт, следует выбрать пункт меню «Диаграмма > Отчёт», либо нажать кнопку на панели инструментов «Анализ данных» или воспользоваться комбинацией клавиш «*Ctrl+P*». В появившемся окне «Параметры отчёта» (рисунок 2.62) выбрать шаблон отчёта, настроить отображение маркеров и настроить печать. Флажок «Белый фон диаграммы» активен только для темы оформления «Графит».



Рисунок 2.62 – Создание отчёта



Мастер отчётов предложит ввести заголовок и краткое описание к отчёту и отобразит окно предварительного просмотра, приведённое на рисунке 2.63.



Рисунок 2.63 – Окно просмотра отчёта

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*.

2.13 Список «горячих» клавиш

Горячая клавиша	Функция
Клавиша «Контекст» Отобразить контекстное меню для выделенных трасс	
Главное окно программы	
F1 Вызов справки	
F3	Открыть профиль пользователя
F4	Сохранить профиль пользователя
F5	Запуск измерения/ повторить поиск приборов
F6	Запуск мастера калибровки

Таблица2.6 – Список «горячих» клавиш

МИКРАН _____

Alt+F4	Alt+F4 Выход из программы				
Alt + F5	Однократное измерение				
Alt + F6	Вызов окна информации о калибровках				
	Параметры отображения окна диаграммы				
F9	Показать/скрыть дополнительные подписи нижней оси				
F10	Вызов меню главного окна (системная функция)				
F11	Развернуть окно диаграммы				
	Диаграммы				
CTRL+P	Отчёт				
	Список трасс				
Del	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				
Маркеры					
Применяются к вы	деленному маркеру				
D	Вкл./выкл. дискретный режим				
E	Вкл./выкл. режим автопоиска экстремума				
Т	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				
	Перемещение влево к следующему экстремуму (в режиме				
Стрелка влево	автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режи-				
	ме)				
	Перемещение вправо к следующему экстремуму (в режиме				
Стрелка вправо	автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режи-				
	Me)				
Применяются ко в	сем маркерам				
Ctrl +E	Сброс всех маркеров				

Ctrl +L	Открыть профиль маркеров из файла
Ctrl +K	Сохранить профиль маркеров в файл
$Ctrl \downarrow D$	Активировать все маркеры на диаграмме (исключая при-
Cui +D	паркованные) / деактивировать все активные маркеры
F8	Вкл./выкл. компактный режим
Ctrl +H	Поиск гармоник с заданным допуском
	Ограничительные линии
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
	Список частот
Ctrl + Up	Сдвинуть строку вверх
Ctrl + Down	Сдвинуть строку вниз
Ctrl + Ins	Вставить строку
Ctrl + Del	Удалить строку

3 Калибровка

Калибровка – 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.

3.1 Наборы калибровочных мер

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

- набор калибровочных мер, содержащий меры (нагрузки) отражения и передачи, подключаемые вручную (рисунок 1.1);
- модуль автоматической калибровки (электронный калибратор), содержащий набор мер отражения и передачи, переключаемых командами компьютера (рисунок 3.2);
- меры в волноводном тракте прямоугольного сечения (короткозамыкатель, четвертьволновой отрезок и др., рисунок 3.3);
- калибровочная пластина для зондовой станции.





Рисунок 3.1 – Набор калибровочных мер



Рисунок 3.2 – Электронный калибратор серии ЭК4



Рисунок 3.3 – Набор калибровочных мер в волноводном тракте

Калибровка анализатора как измерителя мощности осуществляется ме-

МИКРАН

тодом сравнения с эталонным измерителем. Для калибровки можно использовать измерители мощности серии *PLS* производства «Микран», а также некоторые модели сторонних производителей¹⁾.

При калибровке анализатора, 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 анализатора подключаются устройства с известными параметрами – калибровочные меры отражения и передачи. Сравнивая известные и измеренные параметры калибровочных мер, ПО *Graphit* вычисляет факторы ошибок (см. Приложение А), которые будут использоваться для коррекции измерений.

В наборы калибровочных мер входят переходы с соединителями соответствующим портам анализатора 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. 3.5).

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 3.5). Открыть данный список можно используя пункт меню «Калибровка > Список калибровочных наборов...» (рисунок 3.4), либо непосредственно на втором шаге «Настройка конфигурации» в мастере калибровки.

¹⁾Уточняйте список поддерживаемых измерителей мощности у производителя.





Рисунок 3.4 – Меню калибровки

Название	Серийный номер	Семейство калибровок	Описание
фыа	080060045	-	•
HKMM-13-13P	2196080008	-	Соединители тип 3,5 мм
MAURY 8050 и HX3-20-13P	н/у	-	8050L2
HKMM-11-11P	2821090001	-	Соединители тип N
HKBMM-5,2x2,6	Waveguide5_2x2_6_TRL	•	Волновод 5,2 х 2,6 мм
HKMM-13-13P	2196090507	-	Соединители тип 3,5 мм
NKMM-11	2821110101	-	Calibration Kit. Type N
NKMM-13-13R	2196110001	-	Соединители тип 3,5 мм
HKMM-13-13P	2196090535	-	Соединители тип 3,5 мм
МИКРАН	08006004	-	-
HKBMM-23x10	WaveGuide23x10	-	Волновод 23 х 10 мм
МИКРАН	08006004	-	•
HKBMM-11x5,5	WaveGuide11x5_5	-	Волновод 11 х 5,5 мм

Рисунок 3.5 – Управление наборами калибровочных мер

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

В Приложение Б рассмотрены редактор наборов (т.е. файлов) калибровочных мер, используемые модели калибровочных мер и способы их описания.

3.2 Выбор метода калибровки

Процесс калибровки начинается с запуска мастера калибровки (меню «Калибровка», либо «горячая» клавиша «*F6*»). В результате запустится мастер калибровки и предложит выбрать метод калибровки (рисунок 3.6).

	Мастер калибровки Р4М	×
	/> Mетод калибровки	
-		
	Управляемая (по сценарию)	
	О Пользовательская (в произвольном порядке)	
•	○ Автоматическая (с электронным калибратором)	
-	<< <u>Н</u> азад Далее >> Отме	на

Рисунок 3.6 – 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. 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.

3.3 Выбор калибровочных наборов и типа калибровки

После выбора метода калибровки «Управляемая» либо «Пользовательская» осуществляется переход к шагу «Настройка конфигурации» (рисунок 3.7). Описание данного шага для автоматической калибровки с использованием ЭК представлено в п. 3.5.



Калибруе	емые параметры					
🖲 S (пор	оты 1-2)	○ 511	(порт 1)	S22 (порт 2)	О шум (порт 2)	
Конфигу	рация портов исслед	уемого у	стройства			
	Соединитель:		Калибровочный	і набор:	Описание набора:	
Порт 1:	3,5/SMA розетка	-	Соединители т	ип IX вариант 3 №08006004	✓ HKMM-03-03P	
Торт 2:	3,5/SMA розетка	-	Соединители т	ип IX вариант 3 №08006004	- HKMM-03-03P	
			Список к	калибровочных наборов		

Рисунок 3.7 – Настройка конфигурации

Радио-кнопки в группе «Используемые порты» задают используемые при калибровке и измерении порты анализатора. 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 радиокнопка «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 P4226A, см. п. 2.6.8).

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 описания 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 3.7) 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 3.5).

После задания конфигурации калибровки и нажатия кнопки «Далее» отобразится окно с настройками параметров калибровки (рисунок 3.8). Описание вариантов и типов калибровок, а также их параметров, представлены в разделе 3.4.



Управляемая (по сценарию)				×
🖉 Параметры	калибровки (порты 1-2)			
~				
Вариант калибровки:	Векторная калибровка SOLT			•
Тип калибровки:	Двухпортовая (порт 1-2)			-
Измерение на изоляцию				
Неизвестный адаптер				
	•	<< <u>Н</u> азад	<u>Д</u> алее >>	<u>О</u> тмена

Рисунок 3.8 – Выбор типа калибровки

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 3.9).

Управляемая (по сценарию)	×	Изменение диапазона ча	стот
🏸 Параметры	ı калибровки (порты 1-2)	Старт	0 Гц
Вариант калибровки: Тип калибровки:	Векторная калибровка SOLT	Стоп	20 ГГц
		Точек	501
	Изменить частотный диапазон	Шаг	40 МГц
Внимание! Невозможно в диапазоне частот!	ыполнить калибровку для выбранного калибровочного набора в текущем	ОК	Отмена
		<u>[</u> []	
	<< <u>Н</u> азад Далее >> <u>О</u> тмена		

Рисунок 3.9 – Ситуация с необходимостью изменения частотного диапазона

После нажатия кнопки «Далее» происходит переход непосредственно к процессу калибровки, состоящему из одного или нескольких шагов (рисунок 3.10 или 3.11). Пользователю необходимо следовать инструкциям мастера калибровки.

Управляемая (по	сценарию)	×
🌈 Шаг	2 из 7	
Порт 1	Производятся следующие измерения: порт 1 - короткозамкнутая нагрузка (КЗ). Пожалуйста, дождитесь завершения операции	Гіпстій Мера отражения
	53%	Прервать
		<< <u>Н</u> азад Далее >> Отмена

Рисунок 3.10 – Шаги «Управляемой» калибровки

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

Пользовательская (в произвольном порядке) Х						
🖉 Двухг	юртовая (порт 1-2)					
Порт 1 - 💞 XX	Меры:	Диапазон частот:				
– 🖋 K3 – PCH	VSWR 10/1(f) Nº08006004/1	0 Гц 100 ГГц	·			
Порт 2 – XX – K3 – PCH Порты 1,2	VSWR10/2(f) №08006004/2	0 Гц 100 ГГц	 			
Изоляция Проход			i] accur			
	Выберите необходимую меру для её изм	ерения.	Мера отражения			
		<< <u>Н</u> азад	<u>Д</u> алее >> <u>О</u> тмена			

Рисунок 3.11 – Шаги «Пользовательской» калибровки

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

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-

микран

ной «галочкой») процесс калибровки можно завершить.

Для расчёта и применения калибровочных данных следует нажать кнопку «Готово». При необходимости можно воспользоваться функцией сохранения калибровочных данных (см. п. 3.8). Статус калибровки отображается в окне «Калибровка > Информация о калибровках», рисунок 3.12.

1нфор	мация о ка	либровках			×
Вкл	Тип	C	Описание калибровки		
	дп	Дв	ухпортовая (порт 1-2)		_
	ДП1	Фабри	ічная калибровка (порт 1)		-
	ДП2	Фабри	ічная калибровка (порт 2)		
					Þ
Часто	тный диап	азон:	10 МГц - 20 ГГц, 501 точек		
Мощн	ость:		-10 дБм		
Калиб	ір. набор/у	стройство:	HKMM-13-13P Nº2196090535		
Дата/время калибровки:		юровки:	14.02.2020 14:09:13		
Коррекция:			Включена		
Тип к	оррекции:		Порты 1-2 (по умолчанию)	-	

Рисунок 3.12 – 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.

3.4 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 А).

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.

МИКРАН

Однопортовая векторная калибровка применяется перед измерением отражения от устройств. При измерении устройств, подключённых к обоим портам анализатора, 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).

Анализаторы цепей «Панорама» содержат 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 3.12).

Полная двухпортовая векторная калибровка (SOLT калибровка) в обоих направлениях компенсирует 10 факторов ошибок (исключая изоляцию) или все 12 (погрешности измерений и факторы ошибок описаны в Приложение А). 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.

3.4.1 Нормировка

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

МИКРАН

Нормировке коэффициента передачи должна предшествовать калибровка на проход (рисунок 3.13), в ходе которой измеренные значения запоминаются в качестве калибровочных данных. Дополнительно может быть измерена изоляция между портами.



Рисунок 3.13 – Калибровка на проход

Последовательность калибровки для нормировки коэффициента передачи:

- Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами анализатора указано в разделе 5).
- 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 3.7) 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 3.14. Номер порта 1 соответствует зондированию в прямом направлении, 2 – в обратном.

микран

Управляемая (по сценарию)
🖉 Параметр	ы калибровки (порты 1-2)
Вариант калибровки: Тип калибровки: Измерение на изоляцию Произвольное соединен	Калибровка частотной неравномерности Частотная неравномерность на проход (порт 1) ие
	<< <u>Н</u> азад Далее >> <u>О</u> тмена

Рисунок 3.14 – Параметры нормировки на проход

При сброшенном флажке «Произвольное соединение» мастер калибровки в последующих шагах предложит подключить меру на проход из набора калибровочных мер, а при коррекции результатов измерений будут учтены параметры меры на проход. При установленном флажке «Произвольное соединение» в качестве меры на проход будет использоваться произвольное устройство, соединяющее порты анализатора. 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.

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровок. Мастер калибровок предложит соединить измерительные порты, как показано на рисунке 3.13, 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 3.20. 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 3.12). 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 (XX), короткозамкнутой (K3) или произвольной (с неизвестными параметрами). Кроме того нормировка может выполняться на среднее (точнее полуразность) величин отражений от нагрузки XX и K3. Дополнительно может быть измерено отражение от согласованной нагрузки для оценки направленности измерительного порта. Схема калибровки приведена на рисунке 3.15.

МИКРАН



Рисунок 3.15 – Калибровка на XX и КЗ

<u>Последовательность калибровки для нормировки коэффициента отражения:</u>

- Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами анализатора указано в разделе 5).
- 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 3.7) 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 3.16.



/правляемая (по сценарию)		×
🏸 Параметры	калибровки (порт 1)	
Вариант калибровки:	Калибровка частотной неравномерности	-
Тип калибровки:	Частотная неравномерность по отражению (порт 1)	•
📝 Нагрузка XX		
🔽 Нагрузка КЗ		
Произвольная нагрузка		
Согласованная нагрузка		
		_
	<< Назад Далее >> <u>О</u> тмена	

Рисунок 3.16 – Параметры нормировки на отражение

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

В зависимости от выбранных нагрузок мастер калибровки в последующих шагах предложит подключить те или иные меры. Если используются нагрузки XX и/или K3, 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.

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 проведённой калибровке и её типе (рисунок 3.12). Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к

отключению или включению коррекции измеряемых параметров от выбранной калибровки.

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

3.4.2 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 3.18.

Последовательность однопортовой калибровки:

- Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами анализатора указано в разделе 5).
- 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 3.7) 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 3.17.

Управляемая (по сценари	ю)	×
🌈 Параметр	зы калибровки (порт 1)	
Вариант калибровки:	Векторная калибровка SOLT	•
Тип калибровки:	Однопортовая (порт 1)	-
	<< <u>Н</u> азад <u>Д</u> алее з	>> <u>О</u> тмена

Рисунок 3.17 – Выбор однопортовой калибровки

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки. Мастер калибровки предложит подключить к измерительному порту нагрузки XX, КЗ (рисунок 3.18), а также согласованную или рассогласованную нагрузку в зависимости от того, какая из них имеется в наборе микран

калибровочных мер.



Рисунок 3.18 – Однопортовая калибровка

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

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. 5.7).

3.4.3 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 воспользо-

МИКРАН

ваться 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 анализатора указано в разделе 5).
- 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 3.7) 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 3.19.

Управляемая (по сценарин	o) X
🌽 Параметр	ы калибровки (порты 1-2)
Вариант калибровки:	Векторная калибровка SOLT
Тип калибровки:	Двухпортовая (порт 1)
Измерение на изоляцик Коррекция для взаимнь) их устройств
	<< Назад Далее >> Отмена

Рисунок 3.19 – Выбор двухпортовой калибровки в одном направлении

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 на процесс калибровки и используется только во время измерений.

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровок. Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту нагрузки XX, K3 (рисунок 3.18), 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 рассо-

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

гласованные нагрузки к обоим измерительным портам, как показано на рисунке 3.20.

МИКРАН

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



Рисунок 3.20 – Измерение изоляции между портами

По окончанию 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 3.12. 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 3.21 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 3.21 – Результат компенсации отражения от полосового фильтра

При сохранении калибровочных данных (см. п. 3.8) 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 3.12), выбрав из выпадающего списка «Тип коррекции» соответствующее значение.

3.4.4 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 анализатора указано в разделе 5).
- 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 3.7) 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 3.22.



правляемая (по сценарию)	×
🏸 Параметры	а калибровки (порты 1-2)	
Вариант калибровки:	Векторная калибровка SOLT	•
Тип калибровки:	Двухпортовая (порт 1-2)	•
☐ Измерение на изоляцию ☐ Неизвестный адаптер		

Рисунок 3.22 – Выбор полной двухпортовой калибровки

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 калибровок. Мастер калибровок предложит подключить к измерительным портам нагрузки XX, K3, 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 3.20. На последнем этапе калибровки будет предложено соединить измерительные порты на проход непосредственно (если соединить измеритот), 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 приравниваются к нулю. В окне «Информация о калибровках» (рисунок 3.12) 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.

3.4.5 Калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств¹

микран

Калибровка анализатора для измерений параметров частотнопреобразующих устройств (или просто векторная калибровка смесителей) включает:

- полную двухпортовую калибровку на частотах первого f₁ и второго f₂ 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 также фильтр ПЧ. При необходимости установите значения аттенюаторов и смещение мощности порта 2 в окне «Конфигурация портов» (см. рисунок 4.1).
- 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 3.7) 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 3.23, задайте параметры преобразования частоты.

¹ Для Р4213 и Р4226 требуется опция СПА.

микран



Рисунок 3.23 – Параметры калибровки с преобразованием 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 «Fr» и «Pr» 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 $f_{2:}$

$$f_2 = \frac{a}{b} \times f_1 + \frac{c}{d} \times f_{\Gamma} + f_{CM}, \qquad (3)$$

где *а* – множитель частоты первого порта такая-то величина;

b – делитель частоты первого порта;

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

с – множитель частоты гетеродина;

d – делитель частоты гетеродина;

*f*_{*см*} – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

*f*₁ – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;

*f*₂ – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта.

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). Параметры преобразования дополнительно отображаются на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 2.20-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 Р4213 и Р4226, описанного в п. 5.10.3 «Измерение параметров смесителей/умножителей со скалярной калибровкой»).

микран

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 анализатора 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 анализаторе 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 3.24).



Рисунок 3.24 – Этапы калибровки с преобразованием частоты

Первые 6 шагов калибровки производятся без «калибровочного» смесителя с использованием наборов калибровочных мер (рисунок 3.25) или электронного калибратора (рисунок 3.26).



Рисунок 3.25 – Схема подключения при калибровке с набором калибровочных мер (шаги 1-6)



Рисунок 3.26 – Схема подключения при калибровке с электронным калибратором (шаги 1-6)

Шаг 7. Подключить к первому порту «калибровочный» смеситель, как показано на рисунке 3.27 или рисунке 3.29 (в случае использования электронного калибратора).



Рисунок 3.27 – Схема измерения параметров отражения «калибровочного» смесителя (шаги 7-9)



Рисунок 3.28 – Схема измерения параметров передачи «калибровочного» смесителя (шаг 10)



Рисунок 3.29 – Схема измерения «калибровочного» смесителя с электронным калибратором (шаги 7-10)

На этапе измерения параметров отражения калибровочного смесителя должны использоваться те же самые меры, что и при калибровке первого порта (рисунок 3.25). В данном случае может потребоваться переход, если пара «калибровочный» смеситель/фильтр имеют внешние соединители одного вида – «вилка-вилка» или «розетка-розетка».

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках» появится информация о проведённой калибровке и её типе (рисунок 3.12). Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к

МИКРАН

отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

3.4.6 Калибровка коэффициента шума (для Р4226А)

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

Скалярная калибровка. Для проведения скалярной калибровки измерений коэффициента шума достаточно, чтобы флажок «Векторная калибровка КШ» в мастере калибровки был снят (см. рисунок 3.31). Во время скалярной калибровки производится измерение уровня собственного шума и коэффициента передачи тракта анализатора.

Векторная калибровка. В процессе векторной калибровки производится измерение шумовых параметров анализатора, 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 3.31). Эти дополнительные настройки калибровки/измерения КШ, описанные далее, могут улучшить её качество, но требуют проведения дополнительных измерений и/или наличия калибровочных данных *S*-параметров анализатора.

«Учёт отражения от ГШ» при наличии коррекции КО порта 2 (т.е. коррекции параметра *S22*) позволяет измерить и учесть коэффициент отражения от ГШ во время калибровки. Калибровку *S22* можно выполнить как в составе полной двухпортовой калибровки (см. п. 3.4.4) в случае необходимости измерения полного набора *S*-параметров ИУ, так и в виде упрощённой однопортовой калибровкой порта 2 (см. п. 3.4.2).

«Учёт отражения от шумового приёмника ВАЦ» при наличии коррекции КО порта 1 (т.е. коррекции параметра *S11*) и проведением дополнительного измерения «на проход» позволяет вычислить и учесть коэффициент отражения от шумового приёмника. Калибровку *S11* можно выполнить как в составе полной двухпортовой калибровки (см. п. 3.4.2) в случае необходимости измерения Калибровка

микран –

полного набора *S*-параметров ИУ, так и в виде упрощённой однопортовой калибровкой порта 1 (см. п. 3.4.2).

«Измерение на зондовой станции» позволяет осуществить перенос плоскости калибровки из сечения коаксиального тракта, используемого для калибровки ГШ, в сечение зондов, в котором производится калибровка *S*-параметров (при помощи нагрузок на пластинах) и дальнейшие измерения.

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 3.30), а на боковой панели будет отображён особый статус значка (

Внимание!		×
<u> </u>	Чеобходимо выполнить калибровку параметра S22. Нажмите "Да", чтобы выполнить измерение ГШ и применить коррекцию после калибровки S-параметро Нажмите "Отмена", чтобы изменить параметры калибровки. Да Нет	οв.

Рисунок 3.30 – 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 находятся шумовые параметры анализатора 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 Р4226А;
- 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 анализатора указано в разделе 5).
- Шаг 2. На панели управления «Измерение шума» (рисунок 2.20-б) установите параметры шумового приёмника усиление шумового тракта, фильтр разрешения и усреднение в приборе в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 5.12.

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).

микран

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 3.7) 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 3.31).

Управляемая (по сценарию	o)	×
🏸 Параметры	ы калибровки шумового приёмника	
Вариант калибровки:	Калибровка шумового приёмника	•
Тип калибровки:	Калибровка коэффициента шума (порт 2)	•
Учёт отражения от ПШ Учёт отражения от шум Векторная калибровка Н Измерение на зондовой	иового приёмника ВАЦ КШ I станции	пш (иошт)
	<< <u>Н</u> азад Далее >>	<u>О</u> тмена

Рисунок 3.31 – Настройка калибровки КШ

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 калибровок. Мастер калибровок предложит подключить к измерительному порту ГШ для измерения его шума во включённом и выключенном состояниях (рисунок 3.32).



Рисунок 3.32 – Процесс скалярной калибровки КШ без дополнительных функций (без установки флажков в окне калибровки)

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

Для векторной калибровки мастер калибровки предложит подключить ко второму порту анализатора пять произвольных мер (рисунок 3.33). 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 анализатора через аттенюатор небольшого номинала (3...10 дБ).



Рисунок 3.33 – Процесс векторной калибровки КШ с учётом отражения от шумового приёмника

После успешного завершения калибровки в окне «Информация о калибровках» появится информация о проведённой калибровке и её типе,

МИКРАН

рисунок 3.12. Флажок может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции измеряемых параметров.

<u>Последовательность калибровки КШ в режиме «Измерение на зондовой</u> <u>станции»</u> 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 ХХ, КЗ и СН (РСН); для векторного варианта калибровки общее число мер также будет увеличено до 5 (рисунок 3.34), четвёртой и пятой мерой послужат ХХ и КЗ, соединённые с портом анализатора через аттенюатор небольшого номинала (3...10 дБ).



Рисунок 3.34 – Процесс векторной калибровки КШ с функцией измерения на зондовой станции

3.5 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 анализатора.

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 ка-

либратора.

После выбора метода калибровки «Автоматическая» (рисунок 3.6) и нажатия кнопки «Далее» появится окно подключения к электронному калибратору (такое же, как и при подключении к анализатору).

МИКРАН

				Избра	нное			
Описание	Адрес пр	ибора	Тип	Серийный	номер Состояние	e	<u> </u>	
COM4	COM4							Дооавить
COM1	COM1							
COM2	COM2							2
COM3	COM3						= 2	изменить
COM5	COM5							
COM6	COM6							
COM7	COM7							Удалить
COM8	COM8							
COM9	COM9							
COM10	COM10						~	Поиск приборов
COM11	COM11						T	
Описание		Адрес прибора СОМ1		Тип	Тип Серийный номер Состоян			Визбрациоо
						Свободен		в изоранное
R4M-EC4-20-13R-13	2628090002	COM15		R4M-EC4-2 2628090002		Свободен		
								Повторить поиск
							Bce	е приборы

Рисунок 3.35 – Окно подключения к электронному калибратору

После подключения к калибратору и автоматического чтения файла описания калибровочных мер из его встроенной памяти следует шаг настройки конфигурации (рисунок 3.36). 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 3.36) 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 анализатора 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.


Автоматич	еская (с электронным Настройка ко	калибратором) нфигурации			X
Использу	емые порты I 1, 2	Порт 1	0) порт 2	
-Конфигу;	оация портов исследуен Соединитель:	ого устройства Калибровочный набор:		Описание набора:	
Порт 1:	3,5/SMA розетка •	 P4M-∋K4-20-13P-13 №2626094321 P4M-∋K4-20-13P-13 №2626094321 	- 	Соединители тип 3,5 мм	
<u>И</u> спол	ьзовать файл описания				
Определ	ение портов ЭК:	Автоматическое			
		< </th <th><u>Н</u>азад</th> <th>Далее >></th> <th>тмена</th>	<u>Н</u> азад	Далее >>	тмена

Рисунок 3.36 – Конфигурация калибровки с использованием электронного калибратора

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 3.37), а также приведёнными в п. 5.8.

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 3.37 – Варианты соответствия видов соединителей ЭК и ИУ

микран

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 тск (рисунок 3.36) 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 3.37).

Дальнейшие действия мастер выполнит в автоматическом режиме. Пример окна в процессе калибровки показан на рисунке 3.38.

Автоматическая (с электронным	і калибратором)	×
🌽 Шаг 3 из 14		
Подготовка калибратора		
Порт 1		
PCH		<u></u>
- K3		$1 \longrightarrow 1$
- СН	Производятся следующие измерения:	
– PCH	порт 1 - короткозамкнутая нагрузка (КЗ).	
– PCH		
	Пожалуйста, дождитесь завершения операции	
Порт 2		
- PCH	Подключение электронного калибратора:	
– <mark>K</mark> 3	обратное.	
– CH		
– PCH		Электронный калибратор
– PCH		· · · ·
Порты 1,2		
Проход	9%]
	<< <u>Н</u> азад	Далее >> <u>О</u> тмена

Рисунок 3.38 – Процесс калибровки с использованием ЭК

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

3.6 Калибровка в волноводном тракте, калибровка TRL

Семейство калибровок TRL в большинстве случаев обеспечивает лучшую

микран

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 анализатора в волноводном тракте выполняется через коаксиально-волноводные переходы, как показано на рисунке 3.39.



Коаксиально-волноводные переходы

Рисунок 3.39 – Измерения в волноводном тракте

<u>Последовательность TRL калибровки:</u>

Шаг 1. Задайте частотный диапазон, количество точек и мощность зондирования (об управлении параметрами анализатора указано в разделе 5).

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 3.40) выберите радио-кнопку «S (порты 1-2)».

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



ß	Настройка	конфі	игурации				
Калибру	емые параметры						
🖲 S (пор	оты 1-2)	○S11	(порт 1)	S22 (порт 2)		🔾 шум (порт 2)	
Конфигу	рация портов иссле	цуемого у	стройства				
	Соединитель:		Калибровочный	набор:		Описание набора:	
Порт 1:	Волновод 23х10	-	НКМВ-У-23x10		-	Волновод 23 х 10 мм	
Порт 2:	Волновод 23х10	•	НКМВ-У-23x10		•	Волновод 23 х 10 мм	
	L		Список к	алибровочных наборов.			

Рисунок 3.40 – Конфигурация калибровки для TRL калибровки

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 3.41.

равляемая (по сценари	1ю)			
🏸 Параметр	зы калибровки (по	рты 1-2)		
Зариант калибровки:	Векторная калибровка TR	L		
їип калибровки:	Двухпортовая TRL (порт 1	1-2)		•
Одновременное измер	ение на портах 1-2			

Рисунок 3.41 – Выбор TRL калибровки

Шаг 4. Нажмите кнопку «Далее» и следуйте инструкциям мастера калибровки. Мастер калибровки предложит подключить к измерительным портам нагрузки XX, K3, 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 рисунке 3.42.

Статус калибровки отображается в окне «Калибровка > Информация о

калибровках», рисунок 3.12.

Калибровка

Управляемая <mark>(</mark> по	сценарию)		×
🌽 Шаг	1 из 4		
Порт 1 КЗ Порт 2 КЗ Порты 1,2 Порты 1,2 Линия	Подключите нагрузку «КЗ» на порт 1.		Мера отражения
		<< <u>Н</u> азад	<u>Д</u> алее >> <u>О</u> тмена

МИКРАН

Рисунок 3.42 – Процесс калибровки TRL

3.7 Калибровка источников и приёмников

При изготовлении анализаторов 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 3.43.



Рисунок 3.43 – Подменю «Калибровка мощности»

Коррекция выходной мощности выполняется при помощи эталонного измерителя мощности, удовлетворяющий Вашим требованиям по частотному и динамическому диапазону. В результате выходная мощность анализатора 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

МИКРАН

(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 *a1*, *a2*, *b1*, *b2*.

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

3.7.1 Коррекция выходной мощности

Калибровка выходной мощности анализатора 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 3.44).



PPerdin ppiroduo	имощности		
Мощность (п	орт 1)	-Мощность (порт	2)
Значение на вых	оде	Значение на выходе	
	-10 дБм		-10 дБм
Максимальный у	ровень	Максимальный урове	нь
	5 дБм		10 дБм
Смещение		Смещение	
	0 дБ		0 дБ
Коррекция		Коррекция	
	Выкл		Выкл
Кали	ібровка	Калибро	овка
Измеритель м Статус: Информация:	10ЩНОСТИ не подключён -		
Диапазон:			
	-		
Под	ключить	Усреднение	10

Рисунок 3.44 – Окно «Коррекция выходной мощности»

Далее необходимо выбрать измеритель мощности и нажать «Подключиться» (рисунок 3.45). При частом использовании устройства можно добавить его в список «Избранное» окна подключения.

			Избранное		
Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние	- Лоборити
Адрес по умолчанию	169.254.0.254				Т Дооавить
					Изменить
					— Удалить
					Поиск приборов
		Пс	•••		
Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние	
PLS06 1109100111	USB0::0x2b70::0x0020::11	PLS06	1109100111	Свободен	в изоранное
					🔁 Повторить поиск
					Все приборы

МИКРАН

Рисунок 3.45 – Подключение к измерителю мощности

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 3.46).

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.



Рисунок 3.46 – Калибровка выходной мощности

Шаг 4. После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках» (рисунок 3.12).

МИКРАН

3.7.2 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 анализатора указано в разделе 5).
- Шаг 2. Выберите пункт меню «Калибровка > Калибровка мощности > Коррекция приёмников». В появившемся окне требуется выбрать калибруемый приёмник (рисунок 3.47)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.

Коррекция Калибровка Калибровка с ИМ Калибровка с ИМ Калибровка с ИМ Вкл Измеритель мощности Статус: подключён Информация: Micran, PLS06, 1109170024, В.3.6	О ДБМ	-10 д	Значение на вхо	-			Приёмник B2
Калибровка С ИМ Измеритель мощности Статус: подключён Информация: Micran, PLS06, 1109170024, В.3.6	0 дЕ	0	Смещение	ыкл	В	Ā	Коррекция
Измеритель мощности Статус: подключён Информация: Містап, PLS06, 1109170024, В.3.6	и (м вкл	Калибровка с ИІ		вка	Калибро	I
диапазон: 50 мі цо і і ц			09170024, B.3.6	н 506, 110 Гц	одключён cran, PLS) МГц6 ГГ	ция: :	Статус: Информац Диапазон:
Отключить	10		Усреднение		ИТЬ	Отклю	

Рисунок 3.47 – Окно «Коррекция приёмников»

микран

Шаг 3. После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках» (рисунок 3.12).

Результат применения коррекции приёмника В2 при зондировании с порта 1 через кабельную сборку, представлен на рисунке 3.48.



Рисунок 3.48 – Результат применения коррекции приёмника В2 при зондировании с порта 1

Таким образом, удалось скорректировать потери в кабельной сборке.

3.7.3 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 точностью1 дБ в заданном диапазоне частот.

Последовательность калибровки:

- Шаг 1. (необязательный) Настройте параметры преобразования на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 5.36-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.

Салибровка		al.			ЖНК	СЮ.468166.032
			ИКРАН			
			Коррекция мощности	и гетеродина		×
			Полоса частот			
Параметры гетеролина		×		3,6 ГГц		19,1 ГГц
Гетеродин внешний управляемый	Синхровыхо	I I	Коррекция	Выкл		Выполнить
Уровень мощности О дБм	Внешний OI	0	 Измеритель мо Статус: Информация: 	ОЩНОСТИ не подключён -		
Отклюцить	к	алибровка	Диапазон:	-		
			Подкл	ючить	Усреднение	9
 ✓ 	ОК	💥 Отмена				10
g7m-20-1000840.diis	Под	цключён				
				-	OK	💥 Отмена

а) Окно «Параметры гетеродина»

б) Окно «Коррекция мощности гетеродина»

Рисунок 3.49 – Параметры и коррекция мощности гетеродина

- Шаг 2. Нажмите «Настройка гетеродина...» на панели управления «Преобразование частоты» (рисунок 5.36-а).
- Шаг 3. В открывшемся окне «Параметры гетеродина» (рисунок 3.49-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.
- Шаг 4. После подключения к синтезатору частот нажмите кнопку «Калибровка...» (рисунок 3.49-а).
- Шаг 5. В окне «Коррекция мощности гетеродина» (рисунок 3.49-б) при необходимости скорректируйте диапазон частот и подключите измеритель мощности, нажав кнопку «Подключить». Далее необходимо выбрать измеритель мощности и нажать «Подключиться» (рисунок 3.45). При частом использовании устройства можно добавить его в список «Избранное» окна подключения.
- Окно калибровки (рисунок 3.49-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 3.49-б) и следуйте инструкции. После успешного проведения калибровки автоматически устанавливается переключатель «Коррекция». Статус калибровки дополнительно отображается в окне «Информация о калибровках» (рисунок 3.12).

3.8 Сохранение, восстановление и отключение калибровочных данных

МИКРАН

Чтобы сохранить результаты калибровки, следует выбрать пункт меню «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!

4 Конфигурация портов

При работе с анализатором есть возможность вносить корректировки в конфигурацию измерительных портов, тем самым вносить изменения в процесс измерений с учётом возможностей при работе с анализатором. Выберите пункт меню «Калибровка >Конфигурация портов» (рисунок 4.1).

МИКРАН

Конфигурация портов							
Функция	Порт 1			Порт 2			
	Преобразование опорного импе			еданса			
исходный	50 Om			50 OM			
текущий	50 OM		* +	50 OM			\xrightarrow{A} \rightarrow
включить							
Смещение мощности порта							
смещение	_			0 дБ			÷ >
	Характеристика выходной мощности						
наклон	0 дБ/ГГц		*	0 дБ/ГГц			÷ >
	Смещение г	плоскости к	алибр	овки			
задержка	0 c		*	0 c			-
	Комп	енсация по	терь				
потери	0 дБ 🌲	на F = 0 М	1Гц	0 дБ	*	на F = 0	МГц
	0 дБ 🌲	0 Гц	*	0 дБ	* +	0 Гц	÷ >
	0 дБ 🍦 🕨	0 Гц	×	0 дБ	×	0 Гц	-
По умолчанию		ОК		Отмена		Примен	ить

Рисунок 4.1 – Меню «Конфигурация портов»

4.1 Преобразование опорного импеданса

В случаях, когда волновое сопротивление исследуемого устройства (Z_0) отличное от импеданса анализатора ($Z_0 \neq Z_{ref}$), 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 $Z'_{ref} = Z_0$.

4.2 Смещение мощности порта

Заданный уровень выходной мощности в анализаторе 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.

4.3 Характеристика выходной мощности

Анализатор 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 анализатора корректировать выходную мощность для каждой частотной точки с учётом величины потерь по линейному закону, измеряемой в дБ/Гц.

4.4 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. 5.7).

4.5 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 $L_{F0} < L_{F1} < L_{F2}$.

МИКРАН

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 2.18-в) для быстрого доступа к ним.

5 Измерения

5.1 Установка параметров измерения

Задание параметров измерений осуществляется через панели управления (см. п. 2.6).

микран

Установка параметров зондирования осуществляется в панелях управления «Частота» и «Мощность».

- Шаг 1. Задайте частотный диапазон зондирования. 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 требуемое количество частотных точек. Минимальное значение - 1, максимальное – 8001. При сканировании по списку количество частотных точек определяется размером списка.
- Шаг 3. Установите требуемую выходную мощность (более подробно об управлении мощностью см. п. 2.9). Для Р4226А или при наличии опции ДМА для Р4213 и Р4226 (встроенные аттенюаторы) можно дополнительно задать параметры аттенюаторов источников зондирующего сигнала (генераторов) и аттенюаторов приёмников.
- Не превышайте максимальную входную мощность, допустимую для исследуемого устройства. Это может вывести его из строя. Также следует иметь в виду, что входная мощность анализатора, при которой его измерительные приёмники ещё находятся в линейном режиме, не должна превышать максимальной входной рабочей мощности (см. ч. I, подраздел с техническими характеристиками).

		АП	
Гписо	ок частот		×
N₽	Частота, МГц	· ·	-
1	100		
2	200		Р
3	300		_
4	400		
5	500		L
6	600		•
7	700		╋
8	800		
9	900		
10	1000		.
11	2000		*
12	3000		×
13	4000	-	
14	5000		₽
15	6000		
16	7000	Ŧ	
ſ	ОК	тмена	

Рисунок 5.1 – Задание списка частот

Параметры измерений задаются на панели управления «Измерение».

Шаг 1. Установите значение фильтра ПЧ. Предустановленные значения от 10 Гц до 30 кГц в соответствии с рядом чисел 10, 30, 100 и т.д. Также можно задать произвольное значение фильтра вручную, которое будет приведено анализатором к ближайшему возможному значению.

Фактически данный параметр задаёт время измерения одной точки $T_{\mu_{3M}}$, мс, обратно пропорциональное полосе фильтра ПЧ $\Delta f_{\Pi^{4}}$, кГц, согласно формуле

$$T_{\rm H3M} = 0.89 / \Delta f_{\Pi \rm H},$$
 (4)

В некоторых случаях пользователю может потребоваться вручную задать время развёртки анализатора. 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 анализатор обеспечивает минимально возможное для текущих настроек время развёртки. Текущее время развёртки отображается в статусной строке программы.

Шаг 2. Установите желаемое межкадровое усреднение. Если нет необходимости, рекомендуем оставить значение по умолчанию (*K*=1)

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:

$$\overline{v}_{k} = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot v_{k} + \frac{k-1}{k} \cdot \overline{v}_{k-1} & \text{при} \quad k < K \\ \frac{1}{K} \cdot v_{k} + \frac{K-1}{K} \cdot \overline{v}_{k-1} & \text{при} \quad k \ge K \end{cases},$$
(5)

где *k* – номер кадра,

*v*_k – измеренная комплексная величина,

*v*_{*k*} – усреднённая комплексная величина.

В левой части диаграммы отображаются счётчик усреднённых кадров *k* и коэффициент усреднения *K*, как показано на рисунке 5.2.

МИКРАН



Рисунок 5.2 – 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», 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 5.2 приведена амплитудно-частотная характеристика (далее – АЧХ) полосового фильтра, снятая с различными усреднениями и полосами ПЧ. Трассы сглажены, чтобы лучше видеть изменения уровня шумов вне полосы пропускания фильтра.

Установка параметров отображения измерительных трасс. Управление диаграммами и трассами изложено в разделе 2.3.

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 (рисунок 5.3).

МИКРАН



Рисунок 5.3 – Диаграммы

Измерительная трасса отображает данные одного из «измерений». Выбор «измерения» выделенной трассы осуществляется на панели инструментов (рисунок 5.4-а) или в меню трассы (рисунок 5.4-б).

		s11 🗸 😫 🔍 💐	R	Автомасштаб	А	-80 ,	αБ	6 дБ	5	A
 =ſ			-			-80 ,	αБ	6 дБ	5	A
1	٠	<u>S</u> 11	10	<u>З</u> апомнить	Ctrl+R	-80 ,	цБ	6 дБ	5	A
L		S <u>2</u> 1	4	<u>С</u> охранить	Ctrl+F	-80 ,	αБ	6 дБ	5	A
¢		S <u>1</u> 2	6	<u>У</u> далить	Del		ſ			
1		S22		<u>И</u> змерение	•		<u>S</u> 11			
1		Приёмники 🕨 🗖		Формат	•	•	S <u>2</u> 1			
4		Сопротивление	A	Усреднение	•		S <u>1</u> 2			
		Проводимость	100	Фазовая задерж	кка		S22			
		Преобразование 🕨	H	Филитрация			При	ÖMUNARA		-
		Измерение шума 🔸	10	Фильтрация	,		при	емники		ſ
	_		10	Временная обла	сть		Соп	ротивле	ние	
			₩	Сглаживание			Про	водимос	ть	۲
			fff	Накопление	•		Пре	образова	ание	•
			\wedge	Ограничение	•		Изм	ерение ц	шума	•
				Статистика						

а) на панели инструментов б) в контекстном меню трассы

Рисунок 5.4 – Выбор «измерения»

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 C₂₁, скалярный коэффициент преобразования SC₂₁, амплитуда измерительного приёмника b_{2C} при работе с частотно-преобразующими исследуемыми устройствами.

МИКРАН

• Коэффициент шума NF и спектральная плотность мощности шума ENR.

Комплексные сопротивления Z₁₁ и Z₂₂, обусловившие отражения от цепи, вычисляются по формулам

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

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

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

Комплексные сопротивления цепи на передачу Z₂₁ и Z₂₁,вычисляются по формулам

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

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

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 5.5) или в меню трассы. Трасса отображается в декартовых координатах в виде ломанной кривой, соединяющей пары точек с координатами (x_n, y_n) , вычисленными из измеренной комплексной величины v_n для каждой частотной точки f_n , МГц.

						-90	-5	6	E	Δ.
	Ампл лог [дБ] 🛛 👻	· · · · ·	\mathcal{S}	<u>А</u> втомасштаб	Α	-80	лБ	6 дБ	5	Ar
1	Ампл лин [раз]	1 1	ía	Запомнить	Ctrl+R	-80	дБ	6 дБ	5	A
	Ампл лог [дБ]		4	-	Ctrl+F	-80	дБ	6 дБ	5	A
	КСВН		1	<u>о</u> олранить Улалить	Del		1			
	Фаза [°]		14.5	Измерение			<u> </u>			
	Мним	Г		<u>м</u> оперение		-			-1	
	Действ	l i		Φύρμαι	r		AMID	глин гра	3]	_
	Развёрн. фаза [°]		A	Усреднение	+	•	Ампл	і лог [дБ]	
1	Смит [раз]		Bap	Фазовая задер	жка		KCBH	ł		
	Полярн. [раз]		₼	Фильтрация	+		Фаза	• [°]		
	ГВЗ [нс]		~	Временная обл	асть		Мни	4		
		• .	Art.	Сглаживание			Дейс	тв		
			fiff	Накопление	•		Разв	ёрн. фаз	a [º]	
			$\overline{\wedge}$	Ограничение	•		Смит	[раз]		
				Статистика			Поля	ірн. [раз]	
							FB3	[нс]		

а) на панели инструментов б) в контекстном меню трассы
 Рисунок 5.5 – Выбор формата отображения

<u>Трасса в формате «Ампл лин (раз)»</u> отображает величины:

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

$$x_n = f_n, \tag{11}$$

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

<u>Трасса в формате «Ампл лог (дБ)»</u> отображает величины:

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

$$x_n = f_n, \tag{13}$$

<u>Трасса в формате «КСВН»</u> отображает величины:

$$y_n = \frac{1 + |v_n|}{1 - |v_n|},\tag{14}$$

$$x_n = f_n, \tag{15}$$

Измерения

<u>Трасса в формате «Фаза (°)»</u> отображает величины:

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

$$x_n = f_n, \tag{17}$$

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

(в интервале $\pm \pi$).

<u>Трасса в формате «Развёрн. фаза (°)» (развёрнутая фаза),</u> в отличие от формата «Фаза», не имеет разрывов вблизи ±180° и отображает величины:

$$x_n = f_n, \tag{18}$$

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

$$y_1 = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \varphi_1, \tag{20}$$

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

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

где $|\Delta|_{+\pi}$ -оператор взятия по модулю $\pm \pi$,

[x] – оператор вычисления целой части x; i = 2...N.

Другими словами, очередной отсчёт развёрнутой фазы равен сумме предыдущего с приращением, взятым по модулю±180°.

<u>Трасса в формате «ГВЗ (нс)»</u> отображает групповую задержку в наносекундах:

$$x_n = f_n, \tag{23}$$

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

МИКРАН

$$y_{1} = \frac{|\varphi_{1} - \varphi_{2}|_{\pm\pi}}{x_{2} - x_{1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} [\text{Hc}], \qquad (25)$$

$$y_{N} = \frac{|\varphi_{N-1} - \varphi_{N}|_{\pm \pi}}{x_{N} - x_{N-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} [\text{Hc}], \qquad (26)$$

$$y_{i} = \frac{\left|\varphi_{i-1} - \varphi_{i+1}\right|_{\pm\pi}}{x_{i+1} - x_{i-1}} \cdot \frac{1000}{2 \cdot \pi} [\text{Hc}], \qquad (27)$$

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

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 ±π. Решение проблемы очевидно – следует уменьшить шаг по частоте, увеличив число точек или уменьшив диапазон частот.

МИКРАН

<u>Трасса в формате «Мним»</u> отображает величины:

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

$$x_n = f_n, \tag{29}$$

<u>Трасса в формате «Действ»</u> отображает величины:

$$\mathbf{y}_n = \operatorname{Re}(\mathbf{v}_n)\,,\tag{30}$$

$$x_n = f_n, \tag{31}$$

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

$$y_n = \operatorname{Im}(v_n), \qquad (32)$$

$$x_n = \operatorname{Re}(v_n), \qquad (33)$$

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 2.51). 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 Измерение коэффициента отражения

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

<u>Варианты подключения</u> для измерения отражения от устройств с одним или двумя портами приведены на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 – Варианты подключения исследуемого устройства

Варианты калибровок:

а) Нормировка на отражение от известных нагрузок – холостого хода (XX) и/или короткозамкнутой (КЗ). Последовательность калибровки приведена в п. 3.4.1. 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.

б) Нормировка на отражение от произвольной нагрузки (с неизвестными параметрами). Последовательность калибровки приведена в п. 3.4.1. 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. 3.4.2. Это вариант обеспечивает наибольшую точность измерения отражения однопортовых устройств (рисунок 5.6-а).

г) Двухпортовая калибровка в одном направлении. Последовательность калибровки приведена в п. 3.4.3. Однопортовая калибровка и двухпортовая калибровка в одном направлении дают одинаковые результаты измерений отражения.

д) Полная двухпортовая калибровка. Последовательность калибровки приведена в п. 3.4.4. Полная двухпортовая калибровка обеспечивает максимальную точность измерений в варианте подключения исследуемого устройства, приведённом на рисунке 5.6-в. В других вариантах подключения (рису-

нок 5.6-а и 5.6-б) точность измерений сравнима с однопортовой калибровкой, а время измерения вдвое больше.

МИКРАН

Погрешности измерений отражения уменьшатся, если в варианте подключения, приведённом на рисунке 5.6-в, между выходом исследуемого устройства и портом анализатора 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*₁₁или *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.

5.3 Измерение коэффициента передачи

Коэффициент передачи исследуемого устройства в прямом и обратном направлении характеризуют параметры рассеяния S₂₁и S₁₂.

<u>Вариант подключения</u> для измерения коэффициента передачи приведён на рисунке 5.6-в.

Варианты калибровок:

а) Нормировка частотной неравномерности тракта передачи. Последовательность калибровки приведена в п. 3.4.1. 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. 3.4.3. 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. 3.4.4. Полная двухпортовая калибровка обеспечивает максимальную точность измерений. Единственный недостаток – уменьшение произ-

водительности, обусловленное необходимостью поочерёдного зондирования в обоих направлениях.

МИКРАН

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*₂₁или *S*₁₂ и задать требуемый формат отображения трассы.

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

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.

5.4 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 5.7).

Свойства							
Копировать значение							
Управление 🕨	Установить диапазон сканирования						
Удалить связной маркер	Компенсация тренда (вкл/выкл)						
	Обновить данные тренда						

Рисунок 5.7 – Меню связного маркера

В результате произойдёт компенсация тренда между двумя маркерами на трассе. Таким образом, можно оценить нелинейность ФЧХ. Пример компенса-

ции тренда показан на рисунке 5.8.



МИКРАН

Рисунок 5.8 – Пример компенсации тренда ФЧХ

5.5 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 5.9.

Для измерения сжатия динамическую характеристику представляют в двойном логарифмическом масштабе, где линейный участок $P_{6btx}(P_{6x})$ выглядит как прямая линия с наклоном 45° (идеальная динамическая характеристика линейна). Рассмотренный вид нелинейности цепи характеризуется точкой сжатия – уровнем выходной мощности P_{6btx}^n или входной мощности P_{6tx}^n , при которой динамическая характеристика отклонилась вниз на заданное число *n* децибел от идеальной (линейной) динамической характеристики. Дополнительно рассматривается компрессия коэффициента усиления (КУ) устройства, характеризуемая значениями входной P_{6tx}^n и выходной P_{6btx}^n мощности, при которой КУ аналогично уменьшается на заданное число *n* децибел.

🗓 Результаты определения точек сжатия по характеристике КУ и динами-

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

ческой характеристике могут незначительно отличаться вследствие использования разных алгоритмов коррекции измеряемой мощности и параметра S₂₁.

МИКРАН



Рисунок 5.9 – 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 «Микран», обладающий следующими параметрами:

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

Выполним следующие действия:

Шаг 1. Проведём векторную калибровку анализатора в диапазоне частот, включающем в себя частоту точки анализа компрессии (см. раздел 3.4), 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 анализатора соответственно (см. раздел 3.7).

Шаг 2. Установим тип развёртки «мощность» на панели управления «Измерение» (рисунок 2.18).

Шаг 3. Зададим диапазон мощности и количество точек для динамических измерений на панели «Мощность» (рисунок 2.18). При установке диапазона выходной мощности анализатора учитывайте максимально допустимый уровень входной мощности исследуемого устройства, а также его коэффициент усиления (для активных устройств), чтобы не вывести из строя элементы измерительного тракта анализатора. Также следует иметь в виду, что при измерении компрессии ИУ входная мощность анализатора, при которой его измерительные приёмники ещё находятся в линейном режиме, не должна превышать максимальной входной и выходной мощности (см. ч. I). Для дополнительной регулировки входной и выходной мощности рекомендуется использовать либо встроенные аттенюаторы (для P4213 и P4226 – только при наличии опции ДМА), либо внешние.

микран

- Шаг 4. Для определения точки компрессии коэффициента усиления создадим измерительную трассу амплитуды *S21* (коэффициент передачи ИУ, красная трасса на рисунке 5.10) и фазы *S21* в первом окне диаграмме, добавив маркер №1, привязанный к трассе амплитуды *S21* 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_{ax}^{I}) усилителя и равна примерно -20,5 дБ/мВт. Точка компрессии по выходу P_{ax}^{I} рассчитывается прибавлением соответствующего значение 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->2)* во втором окне диаграммы (оранжевая и синяя трассы на рисунке 5.10). 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 2.60) 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^l_{вх}* 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^l_{вых}* и оценивается приблизительно в 13,8 дБ/мВт.



микран



Рисунок 5.10 – Измерение параметров компрессии по коэффициенту усиления (верхняя диаграмма) и динамической характеристике (нижняя диаграмма)

5.6 Векторные функции трасс

В разделе 2.7 настоящего руководства были частично рассмотрены функции трасс. Ниже будут представлены специфические для анализатора функции, применяемые к измеренным *S*-параметрам.

5.6.1 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 5.11. микран



Рисунок 5.11 – Компенсация задержки фазы

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.

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

$$v'_n = v_n \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot f_n} , \qquad (34)$$

где *v* – корректируемая комплексная величина;

 Δ – компенсируемая задержка, нс;

 f_n – частота, ГГц;

n = 1...N.

Выбрать величину компенсируемой задержки можно на основании группового времени запаздывания, как это сделано на рисунке 5.11, или подобрать вручную, установив курсор в поле ввода и вращая колесо мыши.

5.6.2 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.

МИКРАН

На рисунке 5.12 приведён пример преобразования коэффициента отражения от кабельной сборки, нагруженной на короткозамкнутую нагрузку.



Рисунок 5.12 – 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 2.21.

Тумблер ВКЛ/ВЫКЛ управляет состоянием преобразования.

Тип координат окна имеет два состояние: «Время» и «Дистанция». При

Измерения

установленном значении «Дистанция» время пересчитывается в расстояние, пройденное сигналом:

при преобразовании коэффициента передачи

$$L = t \cdot \frac{C}{\sqrt{\varepsilon}},\tag{35}$$

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

$$L = \frac{t}{2} \cdot \frac{C}{\sqrt{\varepsilon}}, \qquad (36)$$

где *t* – время распространения сигнала;

є – 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

$$t_{\min} = -\frac{N-1}{2} \cdot \frac{1}{f_N - f_1},$$
(37)

$$t_{\max} = -t_{\min}, \qquad (38)$$

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 5.13 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».

<u>Преобразование «bandpass»</u> выполняется при установленном значении «Радиосигнал» в произвольной полосе частот, как показано на рисунке 5.14.



Рисунок 5.14 – Преобразование «bandpass»

В результате сдвига частотной характеристики и обратного преобразования 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)».

<u>Преобразование «lowpass»</u> выполняется при установленном значении «Видеосигнал» (рисунок 2.21) только для частот f_n , являющихся гармониками начальной частоты f_1

$$f_n = f_1 \cdot n, \tag{39}$$

где n = 1...N.

Такой ряд частот называется гармоническим. Перед вычислением обратного

микран

преобразования Фурье частотная характеристика расширяется комплексносопряжёнными значениями в области отрицательных частот $S(-f_n) = S^*(f_n)$. Недостающее значение частотной характеристики в 0 Гц, которое нельзя измерить анализатором, задаётся пользователем в поле ввода в группе «ЧХ [0 Гц]» при тумблере, включённом в положение «РУЧН» (рисунок 2.21). В положении тумблера «АВТО» выполняется аппроксимация частотной характеристики в 0 Гц.

Вследствие симметрии расширенной частотной характеристики (рисунок 5.15) мнимая часть результата обратного преобразования Фурье равна нулю. Поэтому для отображения трассы следует выбирать форматы «Действ» или «Ампл лог (дБ)».



Рисунок 5.15 – 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 2.21), 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 5.16 приведены импульсные и переходные характеристики, вычисленные из коэффициента отражения от некоего стандарта, представляющего собой линию передачи с 25-Омным участком в середине.



Рисунок 5.16 – Импульсная и переходная характеристики стандарта *Beatty*

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 какойто 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»

$$\Delta t = \frac{1}{f_N - f_1} \cdot k_w, \tag{40}$$

для преобразования «lowpass»

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_N} \cdot k_w, \tag{41}$$
- 📔 МИКРАН

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.

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 5.16 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 5.17.



Рисунок 5.17 – Пример измерения расстояния до обрыва

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.

5.6.3 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.

МИКРАН

Выделение или подавление во временной области выполняется взвешиванием окном Кайзера, задаваемого тремя параметрами: центром, шириной по уровню 0,5 и параметром формы β (рисунок 5.18).



Рисунок 5.18 – Окно Кайзера

На рисунке приведена искажённая паразитными откликами частотная характеристика и её эквивалент во временной области («Tpc1»). После задания параметров окна Кайзера на вкладке «Фильтрация» (рисунок 2.21) и установкой тумблера «Включено» произойдёт подавление мешающих откликов и их влияние на частотную характеристику, что иллюстрируют трассы «Tpc2».



микран



Рисунок 5.19 – 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 *є*.

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. 5.6.2 при описании «*lowpass*» преобразования.

Параметр «Функция окна» задаёт способ применения окна w(t): при выделении

$$g'(t) = g(t) \cdot w(t), \tag{42}$$

при подавлении

$$g'(t) = g(t) \cdot (1 - w(t)),$$
 (43)

5.7 Встраивание и исключение цепей

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 5.20).

Функция «встраивание цепи», наоборот, вносит влияние несуществующей при измерениях цепи (рисунок 5.20). Это может быть полезно при настройке устройства, которое будет включено в блок, содержащий некоторые корректирующие цепи или нагрузки.

Таким образом, 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».



Рисунок 5.20 – Встраивание и исключение цепей

Параметры встраивание или исключение цепей задаются в окне, вызываемом из меню «Калибровка > Встраивание/исключение цепей...» (рисунок 5.20).

1 Исклюцение 520	
1 /////////////////////////////////////	откл

Рисунок 5.21 – Окно управления встраиванием и исключением 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.

Порядок работы с функцией встраивания или исключения цепей следующий:

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

оздание новой цепи	I
Общие Тип цепи Файл S2P	Параметры Загрузить файл
Порт Порт 1	Имя файла
Действие Исключение	
Инверсия Выкл	
√	ОК 🔀 Отмена

Рисунок 5.22 – Настройка цепи типа «Файл S2P»

Шаг 2. В открывшемся окне (рисунок 5.22)при необходимости изменить тип цепи:

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

б) «Параметрическая» – параметрическое описание цепи согласно выбранной модели (рисунок 5.23);

в) «Линия» – модель линии передачи с известными параметрами (рисунок 5.24).

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. Закрыть окно создания цепи нажатием кнопки «ОК» и применить настройки изменения нажатием кнопки 🖌 в окне управления (рисунок 5.20).



Создание новой цепи			x
Общие	Параметры		
Тип цепи Параметрическая	^{Модель} Посл. С, шунт С	C1	7 πΦ
Порт Порт 1	Схема	R1	15 МОм
Действие Исключение		C2	23 нФ
Инверсия		R2	12 кОм
		ОК	💥 Отмена



Создание новой цепи	x
Общие	Параметры
Тип цепи Линия	Задержка 5 нс
Порт Порт 1	Хар. сопротивление 20 мОм
Действие Исключение	Потери 0,01 ГОм/с
Инверсия	Ослабление 0,1 дБ/ГГц
v	ОК 🗱 Отмена

Рисунок 5.24 – 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 5.25 приведена диаграмма с исходными (искажёнными) характеристиками S_{11} и S_{21} . В верхней части рисунка – результат исключения цепи.



Рисунок 5.25 – 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).

5.8 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

Измерения

МИКРАН

учитывать. Ниже рассмотрены способы компенсации влияния переходов.

Метод эквивалентных переходов – самый простой способ компенсации влияния переходов. Используется метод при измерении невставляемых устройств, когда порты анализатора 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 5.26.



Рисунок 5.26 – 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 Б). Схема этапа калибровки на проход приведена на рисунке 5.26-а, а при измерении исследуемого устройства подключается непосредственно к портам без каких-либо переходов.

Коррекция фазовой задержки – это функция над трассой, описанная в п. 5.6.1, 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. 5.7.

5.9 Система синхронизации анализатора

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

МИКРАН

- «С→СИНХР» выходы (3 шт.) сигналов синхронизации;
- «С-СИНХР» вход сигнала синхронизации;
- «С→ОГ» выход опорного генератора частотой 10 МГц;
- «С-ОГ» вход опорного генератора частотой 10 МГц.

Структурная схема системы синхронизации приведена на рисунке 5.27.



Рисунок 5.27 – Структурная схема системы 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.

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.

Параметры системы синхронизации задаются на панели управления

«Синхронизация», представленной на рисунке 2.19.

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

МИКРАН

- «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 2.49-а).

Перечисленные выше сигналы могут инвертироваться с помощью тумблера «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 5.28 приведены эпюры напряжений на выходе синхронизации, формируемых в зависимости от режима синхронизации и выполняемой измерительным блоком операции.



Рисунок 5.28 – Режимы работы выхода синхронизации

Вход синхронизации. По фронту поступившего на вход синхроимпульса фиксируется «Событие по входу синхронизации» (рисунок 5.27). 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. 5.11).

На рисунке 5.29 показано изменение этапов работы измерительного блока в зависимости от режима синхронизации и поступления входных синхроим-пульсов.



Рисунок 5.29 – Режимы работы входа синхронизации

Рассмотрим пример синхронной работы анализатора и синтезатора частот Г7М (или Р2М в режиме генератора). 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 5.30).



Рисунок 5.30 – Измерение «горячего» S_{22}

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 анализаторе (см. «Фильтр ПЧ» в разделе 5).

Превышение максимальной допустимой рабочей мощности 10 дБ/мВт или максимальной допустимой входной мощности 27 дБ/мВт на измерительном порту анализатора может вывести его из строя! При необходимости подключите аттенюатор к измерительному порту анализатора и выполните калибровку, подключая калибровочные меры через аттенюатор. Измерения

МИКРАН

Для измерения «горячего» S₂₂ в диапазоне частот требуется синхронная перестройка частот f₁и f₂. Необходимо соединить вход «С СИНХР» на задней панели анализатора с выходом «С СИНХР» на задней панели Г7М и наоборот – выход анализатора с входом Г7М.

Подключать и отключать входы и выходы синхронизации следует только при выключенных измерительных приборах.

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). Для выхода синхронизации установить режим «след. точка», для входа – «начало измерения».

Существует возможность пропуска первого синхроимпульса – когда один измерительный прибор стартовал и уже сформировал синхроимпульс, а второй ещё не начал работу. Поэтому первым следует запускать измерительный прибор, ожидающий первый синхроимпульс, в рассматриваемом примере это Г7М.

В результате анализатор и Г7М будут работать следующим образом:

a) с началом перестройки на следующую частоту анализатор формирует синхроимпульс;

б) Г7М по фронту синхроимпульса также начинает перестройку частоты;

в) Г7М, закончив перестройку частоты, формирует синхроимпульс;

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

5.10 Измерения устройств с преобразованием частоты

5.10.1 Общие сведения

Для измерения устройств с преобразованием частоты для P4213 и P4226 предусмотрены следующие опции:

- Опция СЧП смещение частоты приёмника, позволяет проводить измерение скалярного коэффициента преобразования Sc₂₁, мощность на частотах, отличных от частоты зондирования b_{2C}(1->2) и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств. Возможность раздельного 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 измере-

ния комплексного коэффициента преобразования C_{21} , и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств.

5.10.2 Измерение параметров смесителей с векторной калибровкой

МИКРАН

Измерение устройств с преобразованием частоты и векторной калибровкой на P4213 и P4226 возможно при наличии опций ДПА (прямой доступ к приёмникам) и СПА (переключатель опорного канала). Типовая схема измерения приведена на рисунке 5.31.



Рисунок 5.31 – 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 ($f_{\rm RF}$)) в опорный сигнал другой частоты (второго порта – f_2 ($f_{\rm IF}$)), равной частоте сигнала в измерительном канале (см. рисунок 5.31). Равенство частот сигналов в опорном и измерительном каналах позволяет измерить комплексный коэффициент преобразования частотно-преобразующего устройства.

Переключатель в опорном канале (для P4213 и P4226 – опция СПА) коммутирует сигнал либо на «опорный» смеситель с целью преобразования опорного сигнал 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. 3.4.5).

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;

МИКРАН

- набор калибровочных мер или электронный калибратор;
- внешний генератор (P2M, Г7M, PLG, либо другие в неуправляемом режиме), используемый в качестве источника сигнала гетеродина.

Анализатор 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. раздел «Система синхронизации анализатора»).

> 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 $f_{\rm RF}$ ($|S_{21}|$ на частоте f_1) была не хуже минус 20 дБ

Для обеспечения режима работы смесителей, возможно, потребуется 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. 3.7.3).
 - Аттенюатор (3-10 дБ) для улучшения согласования порта 1; аттенюатор уменьшает влияние сигналов на частотах f_2 и f_{Γ} , неучитываемых калибровкой;
 - Фильтр, пропускающий преобразованный сигнал промежуточной частоты f₂ и подавляющий паразитные проникновения сигналов на частотах f₁ и f_г. Настоятельно рекомендуется использовать фильтр при калибровке.

① Фильтр добавляет задержку к ГВЗ и не позволяет измерять изоляцию S_{21} (на частоте f_1).

Анализатор измеряет следующие параметры частотно-преобразующих устройств:

• комплексный коэффициент преобразования (C₂₁);

микран

- групповое время запаздывания (ГВЗ);
- комплексные коэффициенты отражения (S₁₁, S₂₂);
- изоляцию на частоте $f_{\rm RF}$ ($|S_{21}|$ на частоте f_1).

Перед выполнением измерений необходимо выполнить векторную калибровку смесителей (см. п. 3.4.5).

Измерения выполняются автоматически за 3 этапа зондирования:

а) Измерение некорректированного коэффициента преобразования $C^{M_{21}}$. 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 $S^{M_{22}}$. Выполняется зондирование частотой f_2 в обратном направлении с «перемычкой» в опорном канале. Приёмники настраиваются на частоту f_2 .

в) Измерение некорректированного коэффициента отражения $S^{M_{11}}$. 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.

При отображении в формате ГВЗ рекомендуется в трассе использовать функцию сглаживания.

<u>Пример</u>: проведём измерение комплексного коэффициента преобразования C_{21} смесителя «MD621» производства компании «Микран». Характеристики исследуемого устройства приведены в таблице 5.1. Частотный диапазон входного сигнала (f_1) = 4,5...20 ГГц, сигнала гетеродина (f_{Γ}) = 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;

Диапазон частот, ГГц	36	610	1017	1726
Потери преобразования, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, Р1,	10	12	12	13
дБ/мВт				
Интермодуляция третьего порядка,	20	16	20	22
IIРЗ , дБ/мВт				
Возвратные потери по входу RF,	5	6	6	5
RLRF, дБ				
Возвратные потери по входу LO,	5	6	5	5
RLLO, дБ				
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Таблица 5.	1 — Технические ха	рактеристики сме	есителя «MD616».
------------	--------------------	------------------	------------------

Для проверки данных характеристик соберём схему измерений согласно рисунку 5.31; 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 5.32).



Рисунок 5.32 – 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 2.18);
- Мощность: «Центр» минус 4 дБ/мВт (с учётом согласующего аттенюатора 6 дБ мощность на СВЧ входе смесителя составит минус 10 дБ/мВт) (рисунок 2.18);
- «Фильтр ПЧ» -1 кГц (рисунок 2.18).

Настроить параметры преобразования частоты в мастере калибровки п. 3.4.5. Следуя указаниям мастера калибровки провести первые семь пунктов калибровки, рисунок 5.33. **Первые семь пунктов проводятся без использова**ния «калибровочного» смесителя с помощью набора калибровочных мер или электронного калибратора.

Управляемая (по сцена	оию)	×
🌽 Шаг 1 из	11	
Порт 1		
– XX – K3 – CH Порт 2 – XX – K3 – CH Порты 1,2 – Проход Порт 1 (смесит.)	Без смесителя Подключите нагрузку «XX (р)» (№2252090535) на порт 1.	
— XX — K3 — CH Порты 1,2 (смесит.)	С калибровочным смесителем	Мера отражения
— Проход — — — — — — — — — — — — — — — — — — —	<< <u>Н</u> азад	<u>Д</u> алее >> <u>О</u> тмена

Рисунок 5.33 – Этапы калибровки с преобразованием частоты

При измерении коэффициента отражения S_{11} смесителя выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с «перемычкой» в опорном канале. Приёмники анализатора настраиваются на частоту f_1 . Измерение S_{22} выполняется зондированием частотой f_2 в обратном направлении. Приёмники анализатора настраиваются на частоту f_2 .

В приведённом примере преобразование осуществляется на фиксированную частоту f₂ = 900 МГц. Для того чтобы измерить коэффициент S₂₂ при изменении f₂, необходимо выполнить калибровку анализатора с соответствующими коэффициентами преобразования и частотами f_г.

При измерении коэффициента преобразования C_{21} выполняется зондирование частотой f_1 в прямом направлении с включённым в опорный канал смесителем. Приёмники анализатора настраиваются на частоту f_2 . Результат измерения коэффициента преобразования представлен на рисунке 5.34.



Измерения

Рисунок 5.34 – Результат измерения С21

5.10.3 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 разделе 2.2). Варианты измерительных схем с измеряемыми параметрами показаны на рисунке 5.35.





в) Измерение на произвольной выходной частоте

Рисунок 5.35 – Измерение с преобразованием частоты со скалярной калибровкой

В схемах с преобразованием частоты исследуемое устройство должно подключаться выходом ко второму порту анализатора. Второй порт анализатора осуществляет измерение на частотах f_1 и f_2 . Ниже приведён список измеряемых параметров:

- $S_{II}(f_1)$ комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f_1 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- $S_{2l}(f_1)$ комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования f_1 при зондировании портом 1 на частоте f_1 ;
- *S*₁₂(*f*₁₂) комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования *f*₂ 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 b_2 , 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 .

<u>Калибровку для измерения устройств с преобразованием частоты можно</u> разбить на два шага:

Шаг 1. Калибровка мощности/коррекция приёмников. Подробное описание представлено в п. 3.7.1 и 3.7.2. 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 включать в себя частоты f_1 и f_2 .

МИКРАН

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. 3.4.3. Особенностью является то, что потребуется выполнить две калибровки:
 - двухпортовая (порт 1) для частот f_l , предварительно установив диапазон зондирования f_l 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 5.36-а).

🛇 Преобразование частоты	
Преобразование	ВКЛ
Векторная коррекция	выкл
-Множитель/делитель 2	частоты Р4 1
Старт гетеродина	1 ГГц
Стоп гетеродина	1 ГГц
-Множитель/делитель -1	частоты гетеродина
Настройка г	етеродина
Смещение	100 МГц
Старт/стоп ПЧ 1,1 ГГц	3,1 ГГц
Отображать частоты Приёмника	•

Параметры гетеродина	×
Гетеродин внешний управляемый 🚽	Синхровыход
Уровень мощности О дБм	Внешний ОГ
Отключить	Калибровка
1	ОК 🗱 Отмена
g7m-20-1000840.diis	Подключён

а) Панель управления «Преобразование частоты»

б) Окно настройки параметров гете	;-
родина	

Рисунок 5.36 – Конфигурация измерения исследуемого устройства с преобразованием частоты со скалярной калибровкой



Выражение для измерения устройств с преобразованием частоты выглядит следующим образом

$$f_2 = \frac{a}{b} \times f_1 + \frac{c}{d} \times f_{\Gamma} + f_{CM}, \qquad (44)$$

где *а* – множитель частоты зондирования анализатора;

b –делитель частоты зондирования анализатора;

 f_{Γ} – частота гетеродина при наличии внешнего гетеродина в измерительной схеме. Если такой необходимости нет, то множитель *c* задаётся равным нулю (*c*=0);

с – множитель частоты гетеродина;

d – делитель частоты гетеродина;

 $f_{\rm CM}$ – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

 f_l – частота зондирующего сигнала анализатора;

 f_2 – частота приёмника анализатора, соответствующая частотам измерительного приёмника.

В строке «Старт/стоп ПЧ» отображается результат вычисления частотного диапазона f_2 .

- Шаг 2. При использовании внешнего гетеродина в окне «Параметры гетеродина» (рисунок 5.36-б) выберите его тип:
 - «внешний управляемый» (только для устройств Г7М, Р2М или *PLG*) для автоматического задания частоты, мощности, ОГ, режима синхронизации гетеродина и анализатора программным способом;
 - «внешний неуправляемый» для устройств, настраиваемых любым другим ПО и имеющих систему синхронизации (только при необходимости перестройки гетеродина по частоте);
 - «встроенный генератор» для анализаторов, 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. 3.7.3).

Шаг 3. Создайте измерительную трассу, для неё выберите «измерение» типа *S*_{C21} (рисунок 5.37).



Рисунок 5.37 – 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 5.38: входные частоты от 3 до 6,75 ГГц, выходные частоты от 6 до 13,5 ГГц.





- S_{21} показывает нам преобразование на основной частоте,
- S_{22} комплексный коэффициент отражения на частоте f_2 выхода умножителя)

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».

5.11 Измерения в импульсном режиме

Для измерения устройств в импульсном режиме при помощи анализатора требуется наличие программной опции ИИП (подробно про активацию опций описано в разделе 2.2).

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.

Анализатор зондирует схему измерения *непрерывным* гармоническим сигналом, который при необходимости может быть модулирован внешним импульсным модулятором¹. Для управления модулятором или исследуемым устройством в составе анализатора 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.

Минимальная длительность импульса синхрогенератора определяется внутренней тактовой частотой анализатора и равна 10 нс. Минимальный период, соответственно, в 2 раза больше минимальной длительности импульса и равен 20 нс.

На рисунках 5.39 – 5.42 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 анализатора (рисунок 5.39), или к измерительному порту (рисунок 5.40). Также предусмотрен вариант измерения с внешним источником модулирующего воздействия (рисунок 5.41). В варианте без модулятора (рисунок 5.42) переключения выполняются внутри исследуемого устройства, например, включается и выключается питание.

¹⁾ Импульсный модулятор не входит в комплект поставки анализатора.



Рисунок 5.39 – Схема измерения с модуляцией зондирующего сигнала на примере Р4226 с опцией ДПА



Рисунок 5.40 – Схема с модуляцией зондирующего сигнала





Рисунок 5.41 – Схема с внешним источником модулирующего воздействия



Рисунок 5.42 – Схема с коммутацией в исследуемом устройстве

В анализаторе 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 5.43);



время измерений определяется значением фильтра ПЧ:

микран

$$T_{\rm H3M} = 0.89 / f_{\Pi 4}, \qquad (5.45)$$

где $f_{\Pi Y}$ – значение полосы пропускания фильтра ПЧ, Гц.

• измерение в режиме «Профиля импульса» путём изменения задержки в импульсном режиме с заданным шагом (рисунок 5.44).



Рисунок 5.44 – Измерение профиля импульса с изменением задержки

5.11.1 «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 5.46) с заданной задержкой от фронта импульсного сигнала («Старт обзора»). Эпюры времени представлены на рисунке 5.45.



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.

МИКРАН

<u>Калибровка</u> выполняется в непрерывном режиме (см. раздел 3). В случае использования внешнего модулятора калибровка осуществляется совместно с ним (рисунок 5.41), при этом модулятор находится в режиме «постоянно включён».

Если модулятор переходит в режим «включён» с помощью высокого уровня управляющего напряжения, то обеспечить его можно инвертированием сигнала выхода синхронизации (рисунок 2.19) в режиме «не используется».

Импульсные измерения		
^{Режим} Импульсный	•	
Временное зануление каналов	вкл	
Длительность окна	8 мкс	
Старт обзора	1 мкс	
Стоп обзора	500 нс	
Шаг	10 нс	
Точек измерения	49	
Авто ПЧ		

Рисунок 5.46 – Конфигурация режима «Импульсный»

<u>Установка параметров измерений</u>. 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 2.19) 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 5.46). В «импульсном» режиме необходимо задать следующие значения:

• «Временное зануление каналов» – включение/выключение зануле-

- ния сигнала;
- «Длительность окна» интервал времени, в течение которого сигнал не зануляется (далее – окно «незануления»); значения округляются до величины, кратной периоду сигнала ПЧ.

$$\tau_{\rm HE3AH} = 50 \, \mu c \dots 650 \, \mu \kappa c^{-1}$$
.

 «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.

$$\Delta_{\rm H3M} = \pm 160 \, \text{mkc}$$

 «Авто ПЧ» – автоматический выбор фильтра промежуточной частоты для импульсных измерений. Приравнивает время измерений к периоду повторения синхроимпульсов (длительность высокого плюс низкого уровня импульсов синхрогенератора).

<u>Пример</u>: требуется измерить *S*-параметры широкополосного усилителя в импульсном режиме.

Для измерения усилителей в импульсном режиме наряду с опцией импульсных измерений (опция ИИП) рекомендуется оснастить анализатор набором встроенных аттенюаторов (для P4213 и P4226 – опция ДМА) для обеспечения линейного режима работы, как исследуемого усилителя, так и приёмников анализатора. При отсутствии для P4213 и P4226 опции ДМА следует пользоваться внешними аттенюаторами.

В качестве исследуемого устройства будет использован широкополосный усилитель МАНW001040-2 производства фирмы «Микран»:

- диапазон частот от 0,03 до 4,00 ГГц;
- коэффициент усиления 30 дБ;
- коэффициент шума 2,0 дБ (+25°С);
- *Р*_{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 5.39 и установим следующие параметры измерений (рисунок 2.18):
 - Частота: «Старт»²⁾ 100 МГц, «Стоп» 4 ГГц (рабочий диапазон частот измеряемого усилителя), «Точек» – 391 (шаг по частоте 10 МГц);

¹ Для анализаторов Р4226(А).

²⁾Минимальная частота для анализаторов Р4226(А) в режиме импульсных измерений – 100 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*_{изм}=89 мкс).
- Шаг 2. Переведём импульсный модулятор в режим «постоянно включён».
- Шаг 3. Выполним полную двухпортовую калибровку согласно п. 3.4.4.
- Шаг 4. Подключим измеряемый усилитель входом к первому порту анализатора, а выходом ко второму. Запустим измерения в режиме «непрерывный» (рисунок 5.46) 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 2.19):
 - 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 5.46):
 - 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 5.47). Как видно, результаты измерений достаточно точно совпадают; при этом, чем меньше длительность низкого уровня синхросигнала, тем точнее S_{11} .

микран



Рисунок 5.47 – Результаты измерений в «непрерывном» и «импульсном» режимах

5.11.2 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 5.44).

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!

<u>Калибровка</u> выполняется в непрерывном режиме (см. раздел 3). В случае использования внешнего модулятора калибровка осуществляется совместно с ним (рисунок 5.41), при этом модулятор находится в режиме «постоянно включён».

Если модулятор переходит в режим «включён» с помощью высокого уровня управляющего напряжения, то обеспечить его можно инвертированием сигнала выхода синхронизации (рисунок 2.19) в режиме «не используется».

МИКРАН

Несмотря на то, что профиль импульса измеряется на одной частоте, калиброваться можно в диапазоне частот, это позволит измерить профиль на других частотах.

<u>Установка параметров измерений</u> имеет сходства с конфигурацией «импульсного» режима. На рисунке 5.48 представлена панель управления «Импульсные измерения» в режиме «Профиля импульса».

Импульсные изме	ерения
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	

Рисунок 5.48 – 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»).

<u>Пример</u>. На рисунке 5.49 приведён пример измерения профиля импульса. Заметно, что профиль импульса строится только в пределах периода синхросигнала. В оставшееся время сигнал занулён.



микран

Рисунок 5.49 – Результат измерения в режиме «профиль импульса»

5.12 Измерение коэффициента шума

Анализаторы P4226A позволяют проводить измерение коэффициента шума (КШ).

Существует два основных метода измерения коэффициента шума: метод прямого измерения шума (холодного источника) и метод У-фактора (холодного и горячего источника).

Метод Ү-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 СК4M-18A, СК4M-50.

В векторном анализаторе цепей 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 *S21*-параметра ИУ. Как описывалось в п. 3.4.6, возможны разные варианты пользовательской калибровки: скалярная и векторная. Векторная коррекция (компенсации рассогласований между исследуемым устройством и измерителем) поз-

воляет повысить точность измерения коэффициента шума методом холодного источника, переносить плоскость калибровки и выполнять несколько измерений за одно подключение к анализатору.

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 анализатора) при подключённой согласованной нагрузке на входе ИУ, Вт; N_0 – мощность теплового шума от согласованной нагрузки (т.е. холодного (290° K) источника) в полосе приёмника анализатора, 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 анализатора;
- для достижения максимальной точности и стабильности измерения коэффициента шума, между выходом ИУ и портом 2 анализатора должно быть наименьшее количество элементов, вызывающих дополнительные потери;
- выход питания ГШ +28 В расположен на задней панели анализатора;
- 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 анализатора, 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.

<u>Усиление шумового тракта приёмника</u>. В анализаторах Р4226А предусмотрена возможность управления усилением тракта шумового приёмника за счёт включения/выключения встроенных аттенюаторов с суммарным ослаблением 14 дБ. Выбор режима усиления (рисунок 5.50) осуществляется исходя из суммы значений ожидаемого коэффициента усиления (КУ) и ожидаемого коэффициента шума (КШ):

- высокое (аттенюаторы выключены), если КУ [дБ] + КШ [дБ] < <40 дБ;
- низкое (аттенюаторы включены), если 40 дБ < КУ [дБ] + КШ [дБ] < < 54 дБ.





Рисунок 5.50 – Панель управления «Измерение шума»

Реализация измерительного блока Р4226А представлена на рисунке 5.51.



Рисунок 5.51 – Реализация измерительного блока анализатора Р4226А для измерения коэффициента шума

Для проведения измерения коэффициента шума потребуются:

- анализатор Р4226А;
- генератор шума;
- набор калибровочных мер или электронный калибратор;
- набор кабельных сборок.

5.12.1 Измерение КШ со скалярной калибровкой

<u>Пример</u>: требуется измерить коэффициент шума (*NF*), коэффициент передачи (*S21*), возвратные потери (*S11* и *S22*), развязку (*S12*) усилителя «*LNA20/1*» производства фирмы «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 5.2.

МИКРАН

Диапазон рабочих частот, ГГц		0,01	20	
	0,01 2	2 6	6 14	14 20
Усиление (<i>S</i> ₂₁), дБ	\geq 30	≥ 27	\geq 30	≥ 33
Коэффициент шума (NF), дБ	6	4	3	6
Выходная мощность, при сжатии	14	13	12	12
на 1 дБ (Р1дБ), дБ/мВт				
Возвратные потери (S11), дБ		≤-	-14	
Возвратные потери (S22), дБ		≤-	-12	

Таблица 5.2 – Технические характеристики усилителя «LNA20/1»

Для проведения калибровки КШ будем использовать генератор шума «ГШМ2-20» производства фирмы «Микран».

Шаг 1. Восстановить начальные параметры (см. п. 2.10).

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 5.50):
 - «Усиление шумового тракта» «высокое»;

- «Фильтр разрешения» 15 МГц;
- «Усреднение в приборе» 1.

Шаг 4. Создать измерительную трассу для измерения КШ (рисунок 5.52).



Рисунок 5.52 – Создание трассы измерения КШ

- Шаг 5. Выполнить полную двухпортовую калибровку анализатора при помощи набора калибровочных мер (см. п. 3.4.4) или электронного калибратора (см. п. 3.5).
- Шаг 6. Выполнить скалярную калибровку КШ (см. п. 3.4.6) 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 анализатора, как показано на рисунке 5.51, и провести измерение (результаты измерений приведены на рисунках 5.53 и 5.54).

МИКРАН



Рисунок 5.53 – Результаты измерения параметров «LNA20/1»



Рисунок 5.54 – Характеристика КШ «LNA20/1»

Из рисунков 5.53, 5.54 и табличных данных видно, что результаты измерения соответствуют техническим характеристикам, заявленным производителем ИУ.

5.12.2 Измерение КШ с векторной калибровкой

<u>Пример</u>: требуется измерить коэффициент шума (NF), коэффициент пе-

микран

редачи (S21), возвратные потери (S11 и S22), развязку (S12) усилителя «LNA20/1» производства фирмы «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 5.2.

Для проведения калибровки КШ будем использовать генератор шума «ГШМ2-20» производства фирмы «Микран».

Шаг 1. Восстановить начальные параметры (см. п. 2.10).

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 5.50):
 - «Усиление шумового тракта» «высокое»;
 - «Фильтр разрешения» 15 МГц;
 - «Усреднение в приборе» 1.
- Шаг 4. Создать измерительную трассу для измерения КШ (рисунок 5.52).
- Шаг 5. Выполнить полную двухпортовую калибровку анализатора при помощи набора калибровочных мер (см. п. 3.4.4) или электронного калибратора (см. п. 3.5).
- Шаг 6. Выполнить векторную калибровку КШ (см. п. 3.4.6). 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 анализатора, как показано на рисунке 5.51, и провести измерение.



микран

Рисунок 5.55- Результаты измерения параметров «LNA20/1»



103/14/17	0000 MI 42,00000 II	13,99000011Ц	6,00000011ц	8,010000114	9,99000011ц	12,000000 П ц	14,000000 П ц	16,000000111
Скалярная_калибровка 5,99	9 дБ (!) 4,35 дБ (!)	3,483 дБ (!)	2,905 дБ (!)	2,732 дБ (!)	3,194 дБ (!)	3,564 дБ (!)	3,099 дБ (!)	2,861 дБ (!)
Векторная_калбировка 5,9	9 дБ (!) 4,35 дБ (!)	3,483 дБ (!)	2,905 дБ (!)	2,732 дБ (!)	3,194 дБ (!)	3,564 дБ (!)	3,099 дБ (!)	2,861 дБ (!)

Рисунок 5.56- Характеристика КШ «LNA20/1»

Результаты измерения (рисунки 5.55 и 5.56) также соответствуют техническим характеристикам, заявленным производителем ИУ. Характеристики КШ, полученные после скалярной и векторной калибровки анализатора, практически совпадают вследствие большого КУ усилителя «LNA20/1».

кш_ кш

6 Мастер автоматической поверки¹

Поверка анализаторов P4226A проводится вручную в соответствии с методикой поверки МП-191-RA.RU.310556-2023. Для п. 7.11 и п. 7.12 методики поверки также доступен автоматический метод, подразумевающий использование специализированного мастера поверки, являющегося частью ПО *Graphit P4M*.

МИКРАН

Для открытия окна мастера (рисунок 6.1) требуется выбрать пункт меню «Управление > Поверка...» (рисунок 2.41).

Мастер поверки									×
🏸 Мастер поверки									
Поверка векторного анализатора цепей Условия и средства измерений	Тип поверки			_					
Присоединительные размеры	О Периодическ	ая		🖲 Перв	ичная				
Поверка ПО Подключение и опробирование Стабильность кабелей СВЧ		[🕝 Загрузить образец по	оверки 🗙	Сбросить измере	ния			
Уровень шума приёмников Шум трассы	Документ №	x00000x01			Дата:	12.06.2024			
Ослаоления аттенюаторов Погрешности установки частоты	Поверяемый изн	еритель:							
Установка и измерение мощности Абсолютная погрешность измерений КО	Модификация:	P4226A	~	C	Серийный номер:	1133200085			
Абсолютная погрешность измерений КП КСВН шумового приемника	Состав:								
Диапазоны и инст. погрешности КШ и КП Погрешность измерения КШ	Набор калибров	очных мер: НКММ-13-13Р	~		Nº:	2196090535			
Завершение работы мастера	Кабель СВЧ 1:	КСФ26-13РН-13Н-1000	~		Nº:	2186080021			
	Кабель СВЧ 2:	КСФ26-13РН-13Н-1000	~		Nº:	2186080022			
	Заказчик:	ОАО НПП "1961"							
	Начальник кали	бровочной лаборатории: А.А	.Иванов		Поверитель:	В.В.Петров			
							<< <u>Н</u> азад	<u>∏</u> anee >>	<u>О</u> тмена

Рисунок 6.1 – 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 пройдённый 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 заполнив информационные поля, а также провести требуемые измерения в шагах «Абсолютная погрешность измерений КО» и «Абсолютная погрешность измерений КП» (по пп. 7.11 и 7.12 методики поверки соответственно).

¹ Только для анализаторов Р4226А.

Ниже представлено краткое описание обязательных шагов поверки.

МИКРАН

6.1 Шаг №1. Поверка векторного анализатора цепей

На данном шаге (рисунок 6.1) необходимо указать текущую дату и номер протокола поверки, внести информацию о поверяемом анализаторе, используемых кабелях, калибровочном наборе и ответственных лицах. Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

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.

6.2 Шаг №2. Условия и средства измерений

На втором шаге поверки (рисунок 6.2), 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.

Мастер поверки					×
🖉 Мастер поверки					
Поверка векторного анализатора цепей Условия и средства измерений	Температура окружающей среды: 25 °C		Атмосферное давление:	760 мм	
присоединительные размеры Поверка ПО Подключение и опробирование Стабильность кабелей СВЧ	Относительная влажность воздуха: 50 %	<u>↑</u> ▶	Напряжение питания сети:	230 B	
Уровень шума приёмников	Наименование эталона	Заводской №	Дата очередной поверки		
Ослабления аттенюаторов	Измеритель мощности	MY51250009	31.03.2025		
Погрешности установки частоты	Частотомер	43-88 2400000001	1.04.2025		
Абсолютная погрешность измерений КО	Анализатор цепей векторный	P4226A 1133200085	12.06.2025		
Абсолютная погрешность измерений КП КСВН шумового приемника	кипр	КИПР-13Р-13 2141180033	12.04.2025		
Диапазоны и инст. погрешности КШ и КП Погрешность измерения КШ	Наименование средства измерения	Заводской №			
завершение работы мастера	Термогигрометр	TH313567			
	Барометр-анероид	BA505001			
	Мультиметр	MM823580			
< >>					
			•	<< <u>Н</u> азад Далее >>	Отмена

Рисунок 6.2 – Шаг №2 мастера поверки

6.3 Шаг №3. Присоединительные размеры

Во время выполнения третьего шага поверки необходимо измерить и вписать в таблицу (рисунок 6.3) присоединительные размеры используемых коаксиальных соединителей. Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

МИКРАН

Мастер поверки						>
🖉 Мастер поверки						
 Поверка векторного анализатора цепей Условия и средства измерений 	Элемент измерительного тракта	Тип соединителя	Измеренное значение	Допуск мин.	Допуск макс.	
Присоединительные размеры	Разъём измерительного порта 1	Ш, вилка 🗸	5,25 мм 🐥	5,21	5,31	
Подключение и опробирование	Разъём измерительного порта 2	Ш, вилка	5,25 мм 🗘 🗘	5,21	5,31	
Стабильность кабелей СВЧ Уровень шума приёмников	Nº:2186080021	Ш, вилка 🗸	5,26 мм 📫	5,21	5,31	
Шум трасы	Nº:2186080021	Ш, вилка 🗸	5,26 мм 🗘 🗘	5,21	5,31	
Ослабления аттенюаторов Погрешности установки частоты	№:2186080022	Ш, вилка 🗸	5,25 мм 📫 🖡	5,21	5,31	
Установка и измерение мощности	Nº:2186080022	Ш, вилка 🗸	5,25 мм 🗘 🖡	5,21	5,31	
Абсолютная погрешность измерений КО	Доп. соединители на лицевой панели	3,5 мм, розетка	0,01 мм	-0,05 мм	0,05 мм	
КСВН шумового приемника Диапазоны и инст. погрешности КШ и КП	Перемычки для доп. соединителей	3,5 мм, вилка	-0,05 мм 🗘 🗘	-0,2 мм	0,0 мм	
Погрешность измерения КШ						
завершение расоты мастера						
< >>						
				<<	<u>Н</u> азад <u>Д</u> алее >>	<u>О</u> тмена

Рисунок 6.3 – Шаг №3 мастера поверки

6.4 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 6.4). Нажать «Далее» для перехода на следующий шаг.

микран

ерка векторного анализатора цепей овия и средства измерений	Параметры калибро	овки:												🕨 Окно	о калибро	вки
соединительные размеры	Диапазон частот:					То	чек:			Мощность:			Фильтр	ПЧ:		
ерка по ключение и опробирование	10 МГц	*	• 20000) МГц		÷ • 26	50		÷►	0 дБм		÷ •	1 кГц			4
бильность кабелей СВЧ	Набор калибровочн	ых мер: НК	MM-13-13	3P						🗌 Pa	здельное и	измерение г	юртов			
атрассы	Шаг поверки: Подк	лючение наг	рузки КСВІ	H 1.2			-						[р 🌗	Ізмерениє	
абления аттенюаторов решности установки частоты	Файл эталонных S-	параметров	нагрузки н	на порту 1:			Выберите	файл					L			٦
ановка и измерение мощности	.	<u> </u>					0.6	4-8-								╡
олютная погрешность измерений КП	Фаил эталонных S-	параметров	нагрузки н	на порту 2:			выверите	фаил								
Н шумового приемника	Результаты измер	ении и расч	етов:		UD2					цир						
пазоны и инст. погрешности кш и кн решность измерения КШ	ISyri(1) ISyri(2)	Syxlen, ISyxla	AIS' yyl	ΙΔ5ΣχχΙ	ISyxl(1)	ISyyl(2)	ISyxim, ISyx	a AlS`xxl	Ι. ΙΔ5ΣχχΙ) Syx((2)	ISyxIm, ISy	AIS	νχί, ΙΔ5Σχχί		
ершение работы мастера	level(c) level(c)	levideb) levide			in lowel(s)	low (c)	levelet) leve		() [LOCKAT			low (cp) (cs		AND INCENT		0
	F,МГц	10	100	500	1000	2000	4000	8000	10000	12000	13500	18000	20000	22000	26500	
	S11 (1)i, отн.ед.															
	φ11(1)i, °															
	S22 (1)i, отн.ед.															
	φ22(1)i, °															
	Результат	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Порядок действий: 1. Нажать кнопку' цепей". 2. Подключить к п окончания измере! 3. Отсоединить от к АЦ, Нажать кноп 4. Выбрать файлы полей "Файл зтало расчетов:" нажав "Пределы ПГ для з измерения.	"Окно калибр ортам 1 и 2 / ния. АЦ нагрузки ку "Измерен. с эталонныл с эталонных S-пара на кнопку "М талонной НК	оовки" и пу 4Ц эталони и НР1; изми ив" и дожд ии S-паран аметров на Модули пре Р1" соотве	ровести дв ные нагруз енить их по даться окол агрузки на агрузки на гствуют зн	ухпортовую жи со значе оложение от нчания изме псогласова порту 1 ″ и ^п для эталонн гачениям из	калибров нием КСВі тноситель ерения. чных нагр Файл этал ой нагруз её протоі	ку АЦ с набо Ч 1.2 (НР1), з но положени узок для пор тонных S-пар ки НР1", проц кола поверки	ром калибр аапомнив и ия согласно тов 1 и 2, и ааметров и верить, что (сертифик	ровочных их положен о п. 2, пов нажав на агрузки на о модули п ката калиб	мер, выбра чие относит ернув на 18 кнопки "Отк а порту 2" со пределов по бровки). Нах	нным в пун ельно АЦ. 0 градусов рыть файл рответстве грешности кать кнопк	икте "Повери Нажать кно вокруг про, п с эталонны нно. В групи (ПГ) для эт (ПГ) для эт	ка вектор пку "Изме дольной о пми S-пар пе "Резул. галонной пе" и дож,	ного анализ эрение" и до эси, и снова чаметрами" ьтаты измер нагрузки НР даться окон	атора эждаться подключ справа от рений и 21 в табли ччания	V. -

Рисунок 6.4 – Шаг проверки абсолютной погрешности измерений КО

6.5 Шаг №5. Абсолютная погрешность измерений КП

Аналогично п. 6.4 проверить корректность параметров измерений и выполнить проверку в соответствии с указаниями мастера (рисунок 6.5). После завершения проверки перейти на последний шаг «Завершение работы мастера», кликнув на соответствующую запись в списке шагов.



Поверка векторного анализатора цепей															•		
Условия и средства измерений	Параметры калибр	овки:													┣ Окн	о калибро	овки
Присоединительные размеры Поверка ПО	Диапазон частот:					T	Гочек:				Мощность:			Фильтр	ПЧ:		
Подключение и опробирование	10 МГц	÷	• 2000	0 МГц		÷	2650				0 дБм		÷.	100 Гц			÷
Стабильность кабелей СВЧ Уровень шума приёмников	Набор калибровоч	ных мер: нк	MM-13-1	L3P													
Шум трассы	Шаг поверки: Под	ключение атт	генюатора	а 10 дБ			•								🕨 🕨	Ізмерение	e
Ослаоления аттенюаторов Погрешности установки частоты Установка и измерение мошности	Файл эталонных S	-параметров	аттенюат	тора 10 дБ:			B	ыберите фа	айл					L			6
Абсолютная погрешность измерений КО	Использовать в	торой аттенк	ратор														
Абсолютная погрешность измерений КП КСВН шумового приемника	Файл эталонных S	-параметров	аттенюат	тора:													õ
Диапазоны и инст. погрешности КШ и КП	Результаты изме	рений и расч	етов:														
Погрешность измерения КШ Завершение работы мастера	Аттенюатор 10 дБ				Аттеню	атор 50	дБ										
	Syx (1) Syx (2)	Syx cp, Syx	o Δ S`yx	: , ΔSΣyx	Syx (1)	Syx (2) Sys	k∣cp, Syx ∋	Δ S`yx , ΔS	Σyx						⊠ B ,	дБ
	E.MEu	10	100	500	1000	2000	40	000 80	00 100	000	12000	13500	18000	20000	22000	26500	^
	IS211(1)i, лБ																_
	φ21(1)i, °																
	IS12I(1)і, дБ																
	(012(1)i. °																
	Результат	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	
	respierer																*
	Порядок действий 1. Нажать кнопку цепей". 2. Подключить к с измерения. 3. Отсоединить о кнопку "Измерени 4. Выбрать файль эталонных S-пара что модули преде	: "Окно калибр соединителям т АЦ аттенюа н с эталонным метров аттен лов погреши	ровки" и і п, в сечен птор; изме ся оконча ми S-пара нюатора ости (ПГ)	провести дв, ими которых енить его по ания измере аметрами ис 10 дб". В гру для эталони	ихпортовую осуществля пожение от ния. пользуемог ппе "Резул. ного аттенк "Измарация	калибр алась ка первон о аттенн ътаты и ратора в	овку А алибров началы юатора змерен в табли	Ц с наборої вка, эталон. ного, повер а, нажав на имі и расчез да споштания а споштания	м калиброво ный аттенко онув на 180 г кнопку "Отк тов:" нажав и ПГ для это а камарация	чных атор граду рыть на к алон	к мер, выбрал 10 дБ. Нажа исов вокруг п файл с этал нопку "Модул ного атт. 10,	нным в пун ть кнопку продольной понными S пи предела дБ" соотве	кте "Повері "Измерение і оси, и поді -параметра ов ПГ для эт атствуют зна	ка векторі " и дожда ключить с ми" справ алонного ачениям и	ного анали. тъся оконч нова к АЦ. а от поля ' атт. 10 дБ із его прото	затора ания Нажать Файл ", провері окола	₩ТЪ, ↓

Рисунок 6.5 – Шаг проверки абсолютной погрешности измерений КП

6.6 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. п. 6.1).

Приложение А (справочное) Основные формулы для коррекции S-параметров и оценка погрешности измерений КШ

Общие сведения о погрешностях измерений S-параметров

Погрешности анализатора по закономерностям проявления можно разделить на следующие группы:

а) Погрешности, обусловленные температурным дрейфом – *неустранимы*б) Случайные погрешности:

- погрешности соединений и переключений неустранимы
- влияние шумов уменьшается с увеличением времени измерения

в) Систематические погрешности:

- Инструментальные (в основном устраняются векторной калибровкой);
- Методические.

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

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

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

Под инструментальными составляющими погрешности здесь понимаются погрешности, связанные с неопределенностью параметров самого анализатора (коэффициентов отражения от его портов, изоляции между портами и т.п.). Для исключения этих составляющих необходима пользовательская калибровка и ее применение к результатам измерений (коррекция). Тем не менее, даже после коррекции, остаются неисключенные систематические составляющие погрешности. Итоговую погрешность измерений S-параметров после коррекции можно оценить по формулам, приводимым в разделе технических характеристик ч. I настоящего РЭ. Эти же формулы будут справедливы и при измерениях S-

МИКРАН

параметров устройств с преобразованием частоты (если не учитывать составляющие погрешности, связанные с точностью переноса частоты и дополнительных потерь, вносимых схемой преобразования).

Систематические погрешности измерений S-параметров и их исключение (коррекция)

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

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



Рисунок А.1 – Функциональная схема прямого зондирования

Функциональная схема на рисунке А.1 соответствует случаю **прямого** зондирования – от первого порта ко второму. На измерительный вход a_1 поступает ответвлённый зондирующий сигнал. На вход b_1 ответвляется отражённый сигнал, а на вход b_2 прошедший через исследуемое устройство. При обратном зондировании функциональная схема аналогична, приведённой выше. Набор из шести факторов ошибок, представленных в таблице А.1, характерен как для прямого, так и обратного зондирования, т.е. общее количество факторов ошибок равно 12.

ТаблицаА.1 – Факторы ошибок	
-----------------------------	--

Наименование	Обозначение	Источник
Направленность (Directivity)	E_D	Паразитные
Изоляция (Crosstalk or Isolation)	E_X	проникновения
Согласование источника сигнала (Source im- pedance mismatches)	E_S	Паразитные
Согласование нагрузки (Load impedance mis- matches)	E_L	отражения

Приложение А

Наименование	Обозначение	Источник
Частотная неравномерность тракта отражённо- го сигнала (<i>Frequency response reflection track-</i> <i>ing</i>)	E_R	Частотные не-
Частотная неравномерность тракта передавае- мого из порта в порт сигнала (<i>Frequency re-</i> <i>sponse transmission tracking</i>)	E_T	равномерности

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

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

где *a*, *b* – комплексные значения сигналов, цифра в индексе означает номер порта, а буква означает направление зондирования: *F* – прямое (от англ.: *forward*), *R* – обратное (от англ.: *reverse*);

S – параметры рассеяния, верхний индекс *M* (от англ.: *measured*) означает измеряемый (некорректированный) *S*-параметр.

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



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



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

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

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



МИКРАН

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

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

$$S_{11}^{M} = f_{3err}(E_{D}, E_{R}, E_{S}, S_{11}), \qquad (A.2)$$

$$S_{11} = f_{3err}^{-1}(E_D, E_R, E_S, S_{11}^M),$$
(A.3)

для модели с 3 факторами ошибок;

Приложение А

$$\begin{bmatrix} S_{11}^{M} & S_{12}^{M} \\ S_{21}^{M} & S_{22}^{M} \end{bmatrix} = f_{12err} \left(\{E\}, \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \right),$$
(A.4)

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = f_{12err}^{-1} \left\{ \{E\}, \begin{bmatrix} S_{11}^{M} & S_{12}^{M} \\ S_{21}^{M} & S_{22}^{M} \end{bmatrix} \right\},$$
(A.5)

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

Целью калибровки является определение параметров модели – набора факторов ошибок $\{E\}$. Для этого выполняется ряд измерений устройств с известными параметрами. Измеренные значения $\{S^M\}$ подставляются в приведённые выше уравнения. Получается система уравнений, которая решается относительно искомых параметров $\{E\}$. Все факторы ошибок $\{E\}$ являются частотно-зависимыми. Поэтому они оцениваются для каждой частотной точки в заданном пользователем диапазоне.

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

<u>Нормировка коэффициента передачи</u> использует запомненные в процессе калибровки коэффициенты передачи меры на проход S^{M}_{21Thru} или S^{M}_{12Thru} . Дополнительно может быть измерена изоляция между портами E_{XF} или E_{XR} .

Коррекция коэффициента передачи осуществляется в соответствии с выражением



$$S_{21}^{*} = (S_{21}^{M} - E_{xF}^{*}) \cdot \frac{S_{21Thru}}{S_{21Thru}^{M}}, \qquad (A.6)$$

$$S_{12}^{*} = (S_{12}^{M} - E_{xr}^{*}) \cdot \frac{S_{12Thru}}{S_{12Thru}^{M}},$$
(A.7)

 S_{21}^* и S_{12}^* – оценки коэффициента передачи (здесь и далее символ '*' в где верхнем индексе означает оценку параметра);

*S*_{21*Thru} и <i>S*_{12*Thru*} – известные коэффициенты передачи меры на проход.</sub>

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

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

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

$$S_{11}^{*} = \frac{S_{11}^{M} - E_{DF}^{*}}{S_{11Open}^{M} - E_{DF}^{*}} \cdot \Gamma_{Open} \text{ или } S_{11}^{*} = \frac{S_{11}^{M} - E_{DF}^{*}}{S_{11Short}^{M} - E_{DF}^{*}} \cdot \Gamma_{Short},$$
(A.8)

при использовании одной нагрузки XX или КЗ;

$$S_{11}^{*} = \frac{S_{11}^{M} - E_{DF}^{*}}{\frac{S_{11Open}^{M} - E_{DF}^{*}}{\Gamma_{Open}} + \frac{S_{11Short}^{M} - E_{DF}^{*}}{\Gamma_{Short}} \cdot 2,$$
(A.9)

при использовании двух нагрузок ХХ и КЗ;

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Ka_{J}u\delta}^M - E_{DF}^*},$$
(A.10)

при калибровке на произвольную нагрузку.

 S_{11}^{*} – оценки коэффициента отражения; гле

 Γ_{Open} и Γ_{Short} – известные коэффициенты отражения нагрузок XX и K3; S^{M}_{11Open} и $S^{M}_{11Short}$ – измеренные при калибровке коэффициенты отражения от нагрузок ХХ и КЗ;

 $S^{M}_{11Kanu\delta}$ – измеренные при калибровке коэффициент отражения от произ-

вольной нагрузки.

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

МИКРАН

Если калибровка выполнялась на произвольную нагрузку (с неизвестными коэффициентами отражения), оценка S_{11}^* будут представлять собой отличие коэффициентов отражения исследуемого устройства от коэффициента отражения нагрузки, на которую выполнялась калибровка, что может применяться при настройке по образцу.

Аналогичные выражения можно записать для S₂₂ и зондирования в обратном направлении.

<u>Однопортовая векторная калибровка</u> оценивает и корректирует факторы ошибок E_D , E_R и E_S .

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

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

Для однопортовой и полной двухпортовой калибровки нормируются пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения, указанные в характеристиках анализатора.

Оценка погрешности измерения КШ (для Р4226А)

Для оценки действительной погрешности измерения коэффициента шума можно воспользоваться файлом «Расчет_ПГ_КШ_Р42х_v1.7.х», при его наличие на поставляемом цифровом носителе из комплекта поставки анализатора. Ниже приводится вариант расчёта погрешности, представляющей собой доверительные границы неисключённой систематической ПГ (для вероятности 0,95), рассчитанные согласно МИ 2083-90.

Исходными данными для расчёта являются:

- коэффициент шума (КШ) исследуемого устройства (ИУ) *F*_{ИУ};
- коэффициент передачи (КП) ИУ *G*_{ИУ} ;
- модули коэффициентов отражения (КО) входа и выхода ИУ соответственно |S^{ИУ}₁₁|, |S^{UY}₂₂|;
- модуль S_{11} входа порта 2 $|S_{11}^{P4}|$, рассчитывается согласно формуле:

$$\left|S_{11}^{P4}\right| = (KCBH_{P4} - 1)/(KCBH_{P4} + 1), \tag{A.11}$$

где КСВН_{Р4} – значение КСВН порта 2 анализатора при включённом

МИКРАН

шумовом приёмнике (методика измерения описана в методике поверки, также результаты измерений данной величины можно взять из протоколов приёмо-сдаточных испытаний Р4226А);

- погрешность измерения отношения Y из-за нелинейности амплитудной характеристики (AX) анализатора ΔY_{нел}(методика измерения описана в методике поверки, также результаты измерений данной величины можно взять из протоколов приёмо-сдаточных испытаний P4226A);
- ИОШТ используемого ГШ ENR;
- действительная погрешность ИОШТ используемого ГШ (ΔENR) (берётся из протоколов его поверки);
- температура, при которой проводились измерения T, K;
- сумма погрешности термометра и отличия температуры окружающей среды от стандартной температуры ΔT, К;
- ПГ измерения КП ИУ $|\Delta S_{21}^{UY}|$, рассчитываемой, дБ, по формулам из раздела с техническими характеристиками анализатора в ч. І настоящего РЭ (при этом в качестве |Syx| следует подставлять значение минус 10 дБ (или 0,31623 отн. ед.), если при измерении S-параметров обеспечивался уровень измеряемой мощности на порту 2 анализатора минус 10 дБ/мВт путём установки соответствующего уровня мощности генератора и включения аттенюаторов).

Из исходных данных по нижеприведённым формулам произвести расчёт бюджета погрешности и погрешность измерения КШ относительно ГШ при учёте отражения от ГШ и от шумового приёмника.

Расчёт составляющей погрешности измерений КШ, обусловленной погрешностью измерения |S₂₁| ИУ, отн. ед., определить по формуле:

$$\Delta F_{G} = -F_{HY}[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot |\Delta G_{HY}|[{\rm g}{\rm b}]} - 1), \tag{A.12}$$

где $\Delta G_{\rm Hy}$ – предел погрешности измерения КП ИУ, рассчитывается, дБ, по формуле

$$\Delta G_{\rm Hy} = 10 \cdot \lg (1 + 2 \cdot |\Delta S_{21}^{\rm Hy}| / |S_{21}^{\rm Hy}|), \qquad (A.13)$$

где $|\Delta S_{21}^{Hy}|$ и $|S_{21}^{Hy}|$ – в отн. ед.; в свою очередь

$$F_{\rm HY}$$
[отн.ед.] = 10^{0,1 · F_{\rm HY}[дБ]}, (A.14)

$$|S_{21}^{\text{My}}|[\text{отн. ед.}] = 10^{0.05 \cdot G_{\text{My}}[\text{дБ}]},$$
 (A.15)

$$\Delta S_{21}^{\text{Hy}} [\text{отн. ед.}] = |S_{21}^{\text{Hy}}| [\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,05 \cdot |\Delta S_{21}^{\text{Hy}}|[\text{дБ}]} - 1).$$
(A.16)

Составляющую погрешности измерения КШ из-за погрешности ИОШТ

ГШ ΔF_{ENR} определять, отн. ед., по формуле:

$$\Delta F_{ENR} = F_{\text{Hy}}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta ENR[\text{дБ}]} - 1), \qquad (A.17)$$

где Z – вспомогательный коэффициент, вычисляемый, отн. ед. (здесь и далее, если не указано иное), по формуле:

$$Z = \left(1 - \frac{\overline{M}}{\left|S_{21}^{\text{HY}}\right|^2 \cdot F_{\text{HY}}}\right),\tag{A.18}$$

где \overline{M} – математическое ожидание коэффициента рассогласования, отн. ед., вычисляемое по формуле:

$$\overline{M} = \left((1 - \left| S_{22}^{\text{My}} \right| \cdot \left| S_{11}^{\text{P4}} \right|)^2 + (1 + \left| S_{22}^{\text{My}} \right| \cdot \left| S_{11}^{\text{P4}} \right|)^2 \right) / 2, \tag{A.19}$$

Расчёт составляющей, обусловленной погрешностью измерения отношения Y, ΔF_Y , отн. ед., провести по формуле:

$$\Delta F_Y = F_{\text{Hy}}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot \frac{\Delta Y[\text{отн. ед.}]}{Y[\text{отн. ед.}]},$$
(A.20)

где *Y* – рассчитывается, отн. ед., по формуле:

$$Y = \frac{1}{ENR[oth.ed.]} \left(\frac{F_{Hy}[oth.ed.]G_{Hy}[oth.ed.]}{\overline{M}[oth.ed.]} - 1 \right), \tag{A.21}$$

где ENR[отн. ед. $] = 10^{0,1 \cdot ENR[дБ]};$ а ΔY , отн. ед., по формуле:

$$\Delta Y = 1, 1 \sqrt{(\Delta Y_{\text{He}\pi} [\text{отн. ед. }])^2 + (\Delta Y_T [\text{отн. ед. }])^2},$$
(A.22)

где ΔY_T - составляющая, вызванная отличием температуры окружающей среды от стандартной температуры T_0 (293 K), а также погрешностью термометра, рассчитывается, отн. ед., по формуле

$$\Delta Y_T = -\frac{(F_{\text{Hy}}[\text{отн.ед.}] - 1) \cdot G_{\text{Hy}}[\text{отн.ед.}]}{\overline{M}[\text{отн.ед.}] \cdot ENR[\text{отн.ед.}]} \cdot \frac{\Delta T[K]}{T[K] + \Delta T[K]};$$
(A.23)

а $\Delta Y_{\text{нел}}$ рассчитывается, отн. ед., по формуле

$$\Delta Y_{\text{нел}} = Y[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta Y_{\text{нел}}[\text{дБ}]} - 1).$$
 (A.24)

За предел составляющей погрешности измерений из-за рассогласования выхода ИУ и входа порта 2 анализатора $\Delta F_{M max}$ для КСВН_{Р4} $\leq 2,35$ и $|S_{22}^{HY}| \leq 0,259$ отн.ед. допускается принять значение 53,577 отн. ед., либо рассчитать по специальной методике.

Найти верхнюю ΔF_{1+}^{UY} и нижнюю ΔF_{1-}^{UY} доверительные границы погрешности ΔF_{1}^{UY} , дБ, для вероятности 0,95, по формуле

 $\Delta F_{1\pm}^{HY} = 10 \cdot \lg \left(1 \pm \frac{1.1}{F_{HY}[\text{отн. ед.}]} \cdot \sqrt{\Delta F_G^2}[\text{отн. ед.}] + \frac{1}{F_{HY}[\text{отн. ед.}]} + \frac{1}{F_{HY}[\text{отн. ед.}]} + \frac{1}{F_{HY}^2} \left[\text{отн. ед.} \right] + \frac{1}{F_{HY}^2} \left[\text{oth.} \left[\text{oth.} \left[\text{oth.} \right] + \frac{1}{F_{HY}^2} \left[\text{oth.} \left[\text{oth.}$

Приложение Б (справочное) Описание наборов калибровочных мер

МИКРАН

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 анализатором набор мер.

Для создания и редактирования файлов описания калибровочных наборов служит «Редактор наборов калибровочных мер», который можно запустить, воспользовавшись ярлыком «Пуск > Программы > Micran Graphit P4M 2.6 > Редактор наборов калибровочных мер», или дважды щёлкнув по названию набора в окне управления наборами калибровочных мер ПО *Graphit*. На рисунке Б.1 представлено окно редактора наборов после чтения файла описания набора.

	10090000.mck - Редан	ктор наооров калиоровочн	ых мер		
<u>р</u> айл	<u>П</u> равка <u>М</u> еры С	прав <u>к</u> а			
	👜 🔡 👰 !	2.			
Назва	ние				Серийный номе
нкмм	I-13-13P				2196090600
0-14-					
Описа	лие				
соеди	пнители тип 5,5 мм				
Эле	ектронный калибратор				
Меры					
NO	1440	Tur	Cooperative NO1	Cooperative NO2	
N₽	Имя	Тип	Соединитель №1	Соединитель №2	
№ 1	Имя Прямое соединение	Тип Проход/линия/перемычка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в	вилка)
№ 1 2	Имя Прямое соединение Переход (р-р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р	вилка)
№ 1 2 3	Имя Прямое соединение Переход (р-р) Переход (в-в)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (в	вилка)
№ 1 2 3 4	Имя Прямое соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (в	зилка)
№ 1 2 3 4 5	Имя Прямое соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в) XX (р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка ХХ	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (в Нет	вилка) 🖓 розетка) вилка) 👔
№ 1 2 3 4 5 6	Имя Прямое соединение Переход (р-р) Переход (р-в) Лереход (р-в) XX (р) XX (р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка XX XX	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (в Нет Нет	вилка)
№ 1 2 3 4 5 6 7	Иня Прямое соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в) XX (р) XX (в) K3 (р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка XX XX K3	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (е Нет Нет Нет	зилка) розетка) зилка) зилка)
№ 1 2 3 4 5 6 7 8	Иня Прямое соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в) XX (р) XX (в) K3 (р) K3 (в)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка XX XX K3 K3	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (р Нет Нет Нет Нет Нет	зилка) озетка) зилка) зилка)
№ 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Иня Пряное соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в) XX (р) XX (в) K3 (р) Согласованная 1(р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка ХХ ХХ КЗ КЗ Согласованная нагрузка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (р Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет	вилка) розетка) вилка) вилка) илка) 4
№ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Иня Пряное соединение Переход (р-р) Переход (в-в) Переход (р-в) XX (р) XX (р) XX (в) K3 (р) Согласованная 1(р) Согласованная 2(р)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка ХХ ХХ КЗ Согласованная нагрузка Согласованная нагрузка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (в Коаксиал 3,5/SMA (р Коаксиал 3,5/SMA (р Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет	вилка) розетка) вилка) вилка) 4
Nº 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	Иня Пряное соединение Переход (р-р) Переход (р-в) ХХ (р) ХХ (в) КЗ (р) Согласованная 1(р) Согласованная 1(в)	Тип Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка Проход/линия/перемычка ХХ ХХ КЗ Согласованная нагрузка Согласованная нагрузка Согласованная нагрузка	Соединитель №1 Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка) Коаксиал 3,5/SMA (вилка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка) Коаксиал 3,5/SMA (розетка)	Соединитель №2 Коаксиал 3,5/SMA (g Коаксиал 3,5/SMA (g Коаксиал 3,5/SMA (g Коаксиал 3,5/SMA (е Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет Нет Не	зилка) розетка) зилка) зилка) а

Рисунок Б.1 – Окно редактора наборов калибровочных мер

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

5	Тип	Вид	Среда распространения	
	3,5/SMA	Розетка	Коаксиал	5
	3,5/SMA	Вилка	Коаксиал	-
	Параметры соединителя Тип 3,5/SMA	Вид	Вилка 🔿 Универсал	х
	Параметры соединителя Тип 3,5/SMA Среда распространения	Вид © Розетка С	Вилка 🔘 Универсал	Х
	Параметры соединителя Тип 3,5/SMA Среда распространения © Коаксиал	Вид Розетка	Вилка 🔘 Универсал	Х
	Параметры соединителя Тип 3,5/SMA Среда распространения © Коаксиал © Пластина	Вид © Розетка С	Вилка 🔘 Универсал	Х
	Параметры соединителя Тип 3,5/SMA Среда распространения © Коаксиал © Пластина © Волновод	Вид Розетка	Вилка 🔘 Универсал	Х

МИКРАН

Рисунок Б.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 Б.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 анализатора могут быть использованы следующие типы мер:

а) Меры отражения:

- нагрузка холостого хода;
- нагрузка короткозамкнутая;
- согласованная нагрузка;
- произвольная однопортовая нагрузка;
- подвижная нагрузка.

б) Мера передачи – перемычка, переход или линия передачи.

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

микран



Рисунок Б.3 – Модель меры отражения

Линия передачи характеризуется следующими параметрами:

- Δ_t [c] задержка сигнала в линии передачи (англ.: *Offset delay*) при распространении в одну сторону;
- Z_{0offs} [Oм] 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 Г = 0.

Коэффициент отражения Γ_{refl} произвольной нагрузки задаётся действительным числом. Для согласованной нагрузки $\Gamma_{refl} = 0$. Коэффициенты отражения Γ_{refl} для нагрузок XX и K3 вычисляются по формулам

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

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

где f-частота, Гц;

 Z_r – импеданс системы, Ом;

C – паразитная ёмкость, аппроксимируемая полиномом с коэффициентами $C_0 [10^{-15} \Phi], C_1 [10^{-27} \Phi/\Gamma \mu], C_2 [10^{-36} \Phi/\Gamma \mu^2], C_3 [10^{-45} \Phi/\Gamma \mu^3].$

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 Б.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

МИКРАН

ёмкости и индуктивности, для нагрузок XX 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_{0offs} , 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".

Параметры меры	X	Параметры меры	X
Название		Название	
XX (p)		КЗ (в)	
Серийный номер		Серийный номер	
2252090600		2209090600	
Электронный калибратор		Электронный калибратор	
Код 0 🔶 Порт 1	▲ → Время вкл. Ос ▲ →	Код 0 🔶 Порт 1	▲ → Время вкл. Ос ▲ →
Тип	Соединитель №1	Тип	Соединитель №1
• Нагрузка холостого хода (XX)	Коаксиал 3,5/SMA (розетка) 💌	🔘 Нагрузка холостого хода (XX)	Коаксиал 3,5/SMA (вилка) 💌
🔘 Короткое замыкание (КЗ)	Соединитель №2	• Короткое замыкание (КЗ)	Соединитель №2
🔘 Согласованная нагрузка	•	🔘 Согласованная нагрузка	
🔘 Проход/Линия/Перемычка	Параметры	🔘 Проход/Линия/Перемычка	Параметры
🔘 Произвольная однопортовая	Задержка 16,678 пс 🔶 🕨	Произвольная однопортовая	Задержка 19,28 пс 🔶 🕨
🔘 Подвижная нагрузка	Потери 5,07 ГОм/с 🔺 🕨	🔘 Подвижная нагрузка	Потери 5,08 ГОм/с 🔺 🕨
Коэффициенты полинома	Z0 50 OM	Коэффициенты полинома	Z0 50 OM
C0 43,85 ↔ (1e-15)Φ		L0 12,78 → (1e-12)Гн	
С1 2720,5 → (1е-27)Ф/Гц		L1 -1559, → (1е-24)Гн/Гц	
С2 -146,0: ♠ (1е-36)Ф/Гц^2	Частотный диапазон Начальная частота	L2 55,89 → (1е-33)Гн/Гц^2	Частотный диапазон Начальная частота
СЗ 2,9 → (1е-45)Ф/Гц^3	О МГЦ	L3 -0,41 ▲) (1е-42)Гн/Гц^3	0 МГц
Коэффициент отражения	Конечная частота	Коэффициент отражения	Конечная частота
	32000 МГц 🚔 🕨		32000 МГц 🚔 🕨
Табличное представление		Табличное представление	
Табличное представление	昌 Загрузить	Табличное представление	昌 Загрузить
Частота: 10 МГц - 32 ГГц; точек: 3200		Частота: 10 МГц - 32 ГГц; точек:32	200
			C conpensite
	ОК Отмена		ОК Отмена

Рисунок Б.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 Б.5.



🔜 Внимание	
В данном файл параметра отр выбрать один Параметры о	пе содержатся 2 ражения. Необходимо из них. отражения
S11	© 522
ОК	Отмена

Рисунок Б.5- Вариант выбора коэффициента отражения

Кнопка «Сохранить» позволяет сохранить на диск *S1P*-файл для однопортовых мер или *S2P*-файл для двухпортовых.

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

Среди описаний мер передачи следует отметить вариант прямого подключения измерительных портов друг к другу. Чтобы мастер калибровки предложил такое соединение, в списке мер должна присутствовать запись о фиктивной мере передачи с нулевой задержкой и с соединителями различного вида – вилкой и розеткой (запись № 9 в списке на рисунке Б.1).

Параметры меры	X	Параметры меры	X
Название		Название	
Согласованная 1(в)		Согласованная 2(р)	
Серийный номер		Серийный номер	
2243090600/1		2244090600/2	
Электронный калибратор		Электронный калибратор	
Код 0 🔶 Порт 1		Код 0 🜩 Порт 1	Время вкл. Ос
Тип	Соединитель №1	Тип	Соединитель №1
🔘 Нагрузка холостого хода (XX)	Коаксиал 3,5/SMA (вилка) 🔻	🔘 Нагрузка холостого хода (XX)	Коаксиал 3,5/SMA (розетка) 🔻
🔘 Короткое замыкание (КЗ)	Соединитель №2	🔘 Короткое замыкание (КЗ)	Соединитель №2
Огласованная нагрузка	•	• Согласованная нагрузка	•
🔘 Проход/Линия/Перемычка	Параметры	🔘 Проход/Линия/Перемычка	Параметры
💿 Произвольная однопортовая	Задержка 0 пс	🔘 Произвольная однопортовая	Задержка 0 пс
🔘 Подвижная нагрузка	Потери 0 ГОм/с 🔶 🕨	🔘 Подвижная нагрузка	Потери 0 ГОм/с 🔶 🕨
Коэффициенты полинома	20 50 Ом 🔶 🕨	Коэффициенты полинома	20 50 Ом 🚔 🕨
LO 0 (1e-12)Гн	Полвижная насрузка	L0 0 ↓ (1е-12)Гн	Полвижная нагрузка
L1 0 ♠ (1е-24)Гн/Гц		L1 0 ♠ (1е-24)Гн/Гц	
L2 0 ♠ (1е-33)Гн/Гц^2	Частотный диапазон Начальная частота	L2 0 → (1е-33)Гн/Гц^2	Частотный диапазон Начальная частота
L3 0 ♠ (1е-42)Гн/Гц^3	О МГЦ	L3 0 ♠ → (1е-42)Гн/Гц^3	0 МГц
Коэффициент отражения	Конечная частота	Коэффициент отражения	Конечная частота
	32000 МГц 🚔 🕨		32000 МГц 🚔 🕨
Табличное представление		Табличное представление	
√ Табличное представление	昌 Загрузить	✓ Табличное представление	昌 Загрузить
Частота: 10 МГц - 32 ГГц; точек:32	200	Частота: 10 МГц - 32 ГГц; точек:32	200
	ОК Отмена		ОК Отмена

Рисунок Б.6 – Описание согласованных нагрузок

Мастер калибровки выбирает из списка меры, с подходящими соединителями и диапазоном рабочих частот. Для каждой найденной в списке меры отражения (их должно быть от 3 до 6) будет выполнен этап калибровки на отражение. Для калибровки на проход будет использована первая по списку подходящая мера передачи.

МИКРАН

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 Б.7).

Списо	ок калибровок		×
N♀	Описание	Семейство	
1	Калибровка пользователя	SOLT	
<u> </u>			- 📝
			- 🗸
			-

Рисунок Б.7 – Список калибровок

Окно редактирования калибровки (рисунок Б.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.

Параметры калибровки	X
Описание	
Калибровка пользователя	
Семейство	
SOLT	•
Класс	
Отражение 1	~
Меры	
ХХ (в) КЗ (р) КЗ (в) Согласованная 1(р) Согласованная 2(р) Согласованная 1(в) Согласованная 1(в) Согласованная 2(в)	
	ОК Отмена

Рисунок Б.8 – Окно параметров калибровки

жн 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.

ТаблицаВ.1 – Возможные неисправности

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
	Проблемы общего) характера
1) Анализатор не включается	Анализатор не включён в сеть или неисправен сетевой кабель	Включите в сеть либо замените не- исправный кабель
	Сгорел плавкий предохранитель	Замените плавкий предохранитель на исправный (см. п. 10.1 части I настоящего РЭ)
01	иибки программно	го обеспечения
2) При запуске ПО Graphit 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. 2.10), 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 «P4M»; нажать «Сохранить как» и отправить полученный файл по электронному адресу технической поддержки ПО pribor.soft@micran.ru (рекомендуется); нажать кнопку «Удалить» и закрыть программу <i>FlushGPR</i>:

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
		• повторить попытку запуска ПО <i>Graphit</i>
	Используется не- подходящая опе- рационная систе- ма	Установите программное обеспе- чение на ПК с операционной си- стемой, соответствующей требова- ниям, указанным в п. 1
3) При первом запуске ПО <i>Graphit</i> и подклю- чении к прибору со- общение об ошибке не появляется, но про- грамма не реагирует на действия оператора	Аппаратная несовместимость	Попробуйте повторить подключе- ние. В случае отрицательного ре- зультата обратитесь в службу тех- нической поддержки на предприя- тие-изготовитель (контактная ин- формация указана на титульном листе)
4) В ПО <i>Graphit</i> пери- одически выскакива- ют ошибки различно- го рода, либо не уда- ётся запустить про- цесс измерений, либо возникают ошибки при измерениях, свя- занные с работой про- граммы управления	Возможно, после сбоя и переза- грузки ПО <i>Graphit</i> , либо при его переустановке сбились настрой- ки профиля про- граммы управле- ния	См. решение проблемы №2
5) При работе в ПО Graphit не удаётся остановить процесс измерений или за- крыть ПО Graphit	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»
	Проблемы подклю	очения к ПК
	Проблемы общего	характера
6) При подключении к анализатору (см.	Анализатор не включён	Включите анализатор
п. 2.1) появляется со- общение об ошибке подключения	Неправильно вы- браны настройки сетевого подклю- чения либо внут-	См. п. 1.2, а также Приложение Г

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
	ренние настройки сети	
	Кабель <i>Ethernet</i> не подключён или неисправен	Подключите / замените кабель <i>Ethernet</i>
	Анализатор ста- рого типа и ис- пользуется не- подходящий ка- бель <i>Ethernet</i>	Используйте кабель <i>Ethernet</i> с со- единением типа <i>cross-over</i>
7) При подключении анализатора к ПК он обнаруживается (по- сле осуществления поиска, см. п. 2.1),	В анализатор бы- ли прогружены неверные пара- метры до под- ключения	Перед подключением необходимо очистить профиль ПО <i>Graphit</i> (т.е. в запущенном ПО нажать кнопку «Восстановить начальные пара- метры»)
отображается состоя- ние «Свободен» но, тем не менее, под- ключиться не удаётся	У конфигуратора включён пере- ключатель но- мер 1, т.е. анали- затору присвоен пользовательский <i>IP</i> -адрес, и ОС <i>Windows</i> не уда- ётся установить соединение с ана- лизатором	Не выключая анализатор, переве- дите все переключатели конфигу- ратора (рисунок 1.3) кроме второго в выключенное состояние. Вклю- чите и выключите переключатель номер 6. Через 30 с повторите по- пытку подключения
	Физическое под- ключение по ка- белю <i>Ethernet</i> бы- ло осуществлено после включения анализатора, и в работе <i>DNS</i> - сервера произо- шёл сбой	В командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш // +R) набрать <i>ipconfig /flushdns</i> и попро- бовать подключиться заново.
	Произошло зави- сание встроенно- го ПО анализато- ра	Не выключая анализатор, вклю- чить и выключить 6-й переключа- тель конфигуратора (рисунок 1.3) и попробовать подключиться снова.

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
		В случае неудачи выключить ана- лизатор, через 30 секунд включить его снова и повторить попытку подключения
	Проблемы кон- троллера сети анализатора	Выключить анализатор, через 30 секунд включить его снова и повторить попытку подключения
8) При подключении к ПК анализатор не об- наруживается, либо обнаруживается, но при повторном осу- ществлении поиска в сети он исчезает	Возможно, анали- затор имеет уста- ревшую конфигу- рацию оборудо- вания	Попытаться выяснить <i>IP</i> -адрес анализатора и ввести этот адрес вручную в ПО <i>Graphit</i> , создав в диалоге подключения новую за- пись путём нажатия кнопку «Доба- вить» и заполнив соответствующие поля (см. п. 2.1). Попытаться снова подключиться через созданную за- пись
	Сбой в ПЛИС анализатора	Выключить анализатор, через 30 секунд включить его и повто- рить попытку подключения
	Установлено со- единение по про- токолу <i>FTP</i>	Закройте активное соединение по протоколу <i>FTP</i> и попробуйте под-ключиться снова
Пробле	емы прямого подклю	чения к ПК (п. 1.2.2)
9) При прямом под- ключении к ПК не удаётся установить соединение с анализа-	Неправильные се- тевые настройки операционной си- стемы	См. Приложение Г
тором (появляется со- общение об ошибке подключения)	Неправильные настройки конфи- гуратора	См. п. 1.2.2
	Брандмауэр («файервол») <i>Windows</i> или ан- тивирусные про- граммы блокиру- ют порт 8888, по которому осу- ществляется под-	Обратитесь к системному админи- стратору (необходимо перенастро- ить перечисленные системы без- опасности и попробовать подклю- читься снова)

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
	ключение анали- затора	
	Перед прямым подключением анализатор под- ключался к ПК другим способом	Закрыть ПО <i>Graphit</i> , выключить анализатор и включить его снова через 30 секунд; запустить ПО <i>Graphit</i> и повторить попытку под- ключения
10) При подключении анализатора к ПК он обнаруживается (по- сле осуществления поиска, см. п. 2.1), отображается состоя- ние «Занят», соответ- ственно, подключить- ся не удаётся	Предыдущее аварийное завершение работы ПО <i>Graphit</i> не завершило соединение с анализатором	Закрыть ПО <i>Graphit</i> . С помощью диспетчера задач (вызывается со- четанием клавиш « <i>Ctrl+Shift+Esc</i> »), на вкладке «Процессы» диспетчера проверить наличие процесса <i>launcher.exe</i> ; ес- ли процесс имеется, то его необхо- димо завершить; выключить и включить 6-й переключатель кон- фигуратора на задней панели ана- лизатора, запустить ПО <i>Graphit</i> и через 30 с подключиться заново
Проблемы по	 дключения к ПК чере	ез локальную сеть (n. 1.2.3)
11) При подключении к ПК через локальную сеть анализатор при поиске обнаруживает-	Неправильные се- тевые настройки операционной си- стемы	См. Приложение Г
ся под адресом по умолчанию	Неправильные настройки конфи- гуратора	См. п. 1.2.3
	При включении анализатора он делает 10 запро- сов на получение <i>IP</i> -адреса от <i>DHCP</i> -сервера, в случае неудачи устанавливается адрес по умолча- нию. Возможно,	Проверьте качество <i>Ethernet</i> - соединения анализатора с локаль- ной сетью, выключите анализатор и через 30 секунд включите его, повторите попытку подключения

Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
	соединение ана- лизатора с ПК че- рез <i>Ethernet-</i> кабель сделано после включения прибора	
	В памяти анали- затора отсут- ствуют необхо- димые файлы се- тевых настроек *.xml	Обратитесь к технической под- держке завода-изготовителя анали- затора (контактная информация указана на титульном листе)
	<i>DHCP</i> -сервер ра- ботает некор- ректно, либо от- сутствует	Использовать <i>IP</i> -адрес по умолча- нию
12) При подключении анализатор к ПК он обнаруживается (по- сле осуществления	К анализатору подключился другой пользова- тель	Обратитесь к системному админи- стратору
поиска, см. п. 2.1), отображается состоя- ние «Занят», соответ- ственно, подключить- ся не удаётся	См. возможную причину и реше- ние проблемы №10	
13) При подключении анализатора к ПК че- рез локальную сеть он обнаруживается в се- ти (после осуществле- ния поиска, см. п. 2.1), но, тем не менее, вы- даёт ошибку подклю- чения	Возможно, кли- ент сервиса <i>DNS</i> запомнил преды- дущее имя при- бора, которое ему присваивал <i>DNS</i> - сервер, в то время как имя смени- лось	 Необходимо очистить кэш распознавателя DNS, выполнив в командной строке OC Windows (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш +R) ipconfig /flushdns и arp -d (требуются права администратора); подключиться заново. При отсутствии прав администратора (т.е. невозможности выполнить команду arp -d) можно отключить Ethernet-кабель от ПК, связывающий его с локальной сетью, на 5–10 мини повторить по-

Приложение В	——— 🔰 микр	жнкю.468166.032
Наименование неис- правности, внешние признаки проявле- ния	Вероятные при- чины неисправности	Метод устранения
		пытку подключения
	Неисправный ка- бель <i>Ethernet</i>	Замените кабель Ethernet

Приложение Г (справочное)

МИКРАН

Решение проблем при настройке сетевых параметров

Анализаторы 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 анализаторов.

Кроме физического протокола *Ethernet* анализаторами поддерживается ряд сетевых протоколов: *TCP* – для приёма команд и передачи результатов измерений; *UDP* – для обнаружения анализаторов в сети; *ICMP* – для диагностики; *DHCP* – для автоматической конфигурации сетевых параметров и регистрации *host*-имени анализатора в *DNS*; *FTP* – для файлового доступа к параметрам и таблицам анализатора; *HTTP* – для диагностики и задания параметров анализатора 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.1показан 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 побайтно, 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-
МИКРАН

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.

<i>IP</i> -адрес:	&	№ подсети	№ узла
Маска:		111111111111111111111111111111111111111	000000000
Результат:		№ подсети	000000000
ID ownoo:			No voto
П-адрес.	&	ле подсети	Nº y3лa
Инвертированная маска:	u	000000000000000000000000000000000000000	111111111
Результат:		000000000000000000000000000000000000000	№ 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 анализаторе, 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 анализатора в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», выбираемых переключателем на задней панели анализатора. Предприятиемизготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров анализатора:

<i>IP</i> -адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
ТСР-порт:	8888
MAC-адрес:	00.1e.0d.01.xx.xx
<i>IP</i> -адрес шлюза:	0.0.0.0

МИКРАН

Сетевое имя: ck4m-50-*серийный номер* (тип анализатора может отличаться)

Приведённые выше параметры обеспечивают прямое подключение анализатора 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 > 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 «**1** +**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 ⁶⁹ 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.З-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 Windows ®выбирает DHCP-cepbep, адрес ИЗ диапазона 169.254.0.1 ÷ 169.254.255.254. Такая ситуация возникает при прямом соединении анализатора и компьютера. Заданный в «Фабричных» сетевых параметрах IP-адрес анализатора принадлежит этому же диапазону. В результате компьютер и анализатор оказываются в одной подсети, что является необходимым условием для работы. Следует заметить, при отключении компьютера от локальной сети и подключении к анализатору Windows® требуется около минуты для переконфигурирования IP-протокола. Однако Windows® по ряду причин может не перейти на подсеть 169.254.0.0.

, ,	МИКРАН	
🏺 Ethernet: свойства	Х Свойства: IP версии 4 (ТСР/IРу4)	
Сеть Доступ		
Подключение через:	Альтернативная конфинурация	
Realtek PCIe GBE Family Controller	Параметры IP можно назначать автоматически, ек поддерживает эту возможность. В противном слу параметры IP у сетевого администратора.	ли сеть чае узнайте
<u><u>Н</u>астроить Отмеченные компоненты используются этим подключение</u>	1: • Получить IP-адрес автоматически	
Планировщик пакетов QoS	Использовать следующий IP-адрес:	
IP версии 4 (ТСР/IРv4)	IP-адрес:	
🔲 🔔 Протокол мультиплексора сетевого адаптера (Ма	Маска по всети:	
Драйвер протокола LLDP (Майкрософт)		•
 П версии 6 (ТСГ/ГУК) Отвечающее устройство обнаружения топологии к 	Основной шлюз:	1 A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
 Ответчик обнаружения топологии канального уров 	 Получить адрес DNS-сервера автоматически 	
< >>	Использовать следующие адреса DNS-сервер	DOB:
Уст <u>а</u> новить <u>У</u> далить Сво <u>й</u> ства	Предпочитаемый DNS-сервер:	
Описание Протокол TCP/IP. Стандартный протокол глобальных	Альтернативный DNS-сервер:	
сетей, обеспечивающий связь между различными взаимодействующими сетями.	Подтвердить параметры при выходе	Дополнительно

а) Свойства сетевого адаптера

б) Настройка протокола TCP/IPv4

Рисунок Г.3 – Параметры ІР-протокола

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 « **Р** + **R**».

🖅 Выпол	нить	×
	Введите имя программы, папки, документа или ресурса Интернета, которые требуется открыть.	
<u>О</u> ткрыть:	cmd Это задание будет создано с правами администратора	~
	ОК Отмена Об <u>з</u> ор	

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

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

МИКРАН

IP-протокола (права администратора), можно обойтись и без *DHCP*-сервиса.

Команда *ping* (от англ.: *Ping-Pong* – настольный теннис) позволяет послать диагностический пакет на удалённую машину (в нашем случае – анализатор), которая должна ответить тем же. Например:

```
C:\>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
```

Иногда полезно добавить ключ –*t*, чтобы диагностика велась непрерывно.

Если анализатор ответил на команду *ping*, то с настройками сетевых параметров всё в порядке. В редких случаях ответ на команду *ping* может вернуть не анализатор, а другое устройство в локальной сети, занявшее *IP*-адрес. Для проверки достаточно выключить анализатор и повторить команду *ping*.

Команда *arp* выводит *ARP*-таблицу, из которой видны *MAC*-адреса интерфейсов, с которыми осуществлялся обмен последние несколько минут. Например:

```
C:\>arp -a
Интерфейс: 192.168.118.21 onInterface 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
```

МАС-адреса анализаторов, 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 анализатору с адресом из другой подсети. При этом нет желания или возможности изменять *IP*-адреса компьютера и анализатора. Для примера рассмотрим следующую ситуацию. Анализатор имеет *IP*-адрес 169.254.0.254 и в основном используется в прямом соединении с ноутбуком. Изредка анализатор подключают к локальной сети. Чтобы в этих редких случаях не менять адрес анализатора, 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 анализатором.

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):

МИКРАН

C:\>route print				
Список интерфейс 0x1 0x300 d0 b7	сов MS b1 27 7d In	TCP Loopback int tel(R) PRO/100+ L	erface AN Adapter	
Активные маршрул	 гы:			
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 Основной шлюз:	255.255.255.255 192.168.118.1	192.168.118.21	192.168.118.21	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 анализатора 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

МИКРАН

Для внешнего управления анализатором и функциями ПО *Graphit* предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом *SCPI* 1999, являющимся дополнением спецификации *IEEE*488.2.

Полный список команд и базовая информация по использованию SCPI представлены в документе SCPI_R4M_ru.pdf, расположенном в папке SCPI_R4M директории установки (ярлык для прямого доступа находится в меню «Пуск»: «Все программы > Micran Graphit P4M 2.6 > Руководство и примеры программирования SCPI»).

Взаимодействие управляющего ПО (программа-клиент) и Graphit может осуществляться с помощью существующих готовых программных решений, например, библиотек VISA различных реализаций (MiVISA производства «Микран», AgVISA, NI-VISA и другие). Запуск ПО Graphit и дальнейшее подключение к прибору могут быть произведены двумя способами - непосредственно через библиотеку MiVISA, либо с использованием утилиты Micran Instrument Connector.

<u>Библиотека MiVISA позволяет взаимодействовать с ПО Graphit и измери-</u> <u>тельным прибором напрямую</u> только в том случае, если управляющее ПО находится на этом же ПК. Зачастую это упрощает процесс инициализации ПО и подключения к прибору – для этого в программе-клиенте необходимо использовать библиотеку MiVISA32.dll (либо MiVISA64.dll, если приложение 64-х разрядное) и адрес подключения в формате:

где

<*adpec> – IP*-адрес или сетевое имя прибора; <*порт> –* номер порта для подключения (обычно 8888); VNA – суффикс, который определяет тип прибора и режима измерения.

Для подключения через утилиту Micran Instrument Connector необходимо:

а) Запустить данную утилиту из меню «Пуск»: «Все программы > Micran Graphit P4M 2.6 > Micran Instrument Connector».

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».

микран

Ø Micran Instrument Connector 1.6				– 🗆 X		
# Адрес прибора:		Порт:	Тип прибора/подключения:	Состояние:		
1 🔽 r4226-1133200085.diis		5025	P4M/P42 (Graphit)	Активен		
2 🔲 localhost		5026	Р42 (Graphit, мн/канал) 🛛 🗸	Неактивен		
3		5027	Г7М ~	Неактивен		
4		5028	CK4M/AC (Graphit) ~	Неактивен		
5		5029	X5M ~	Неактивен		
6		5030	X5M (Graphit) ~	Неактивен		
7		5031	P4M/P42 (Graphit) ~	Неактивен		
8		5032	Г7М (для IVI COM) ~	Неактивен		
9		5033	Р42 (Graphit, мн/канал) 🛛 🗸	Неактивен		
10		5034	P4M/P42 (Graphit) ~	Неактивен		
Предзапуск и подключение Graphit (рекомендуется)						

Рисунок Д.1– Утилита 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) В выпадающем списке «Тип прибора» выбрать «Р4М/Р42 (Graphit)».

В случае, когда требуется обеспечить минимальное время соединения из клиентского ПО (например, значение таймаута подключения мало и недоступно для изменения), рекомендуется использовать функцию предзапуска Graphit. Для этого в нижней части окна необходимо установить флажок «Предзапуск и подключение Graphit». Таким образом, после активации соединения (см. пункт д) будет автоматически запущено ПО Graphit и установлено подключение к выбранному прибору, программа MIC перейдёт в режим ожидания подключения клиентского ПО.

д) 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);
- запустилось ПО *Graphit* и осуществлено подключение к выбранному прибору (при включённой функции предзапуска).

При невозможности подключения к прибору, либо другой ошибке появится соответствующая запись.

е) Запустить программу-клиента 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:

TCPIP::<adpec_ПК>::<nopm>::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. В результате установки соединения должно открыться окно ПО *Graphit* и осуществиться подключение к выбранному прибору. Минимальный интервал времени подключения (таймаут) составляет 5-10 секунд в зависимости от производительности ПК.

микран

Примеры кода программ управления на языках *C++/C#/Delphi* и среде *LabVIEW*®, дополнительные файлы библиотек находятся в папке *SCPI_R4M* директории установки.