



АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА

СК4М

Руководство по эксплуатации

Часть II. Использование по назначению

ЖНКЮ.468166.024 РЭ

Предприятие-
изготовитель:

АО «НПФ «Микран»

Адрес:

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

тел:

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

тел/факс:

+7 (3822) 42-36-15

e-mail:

pribor@micran.ru

сайт:

www.micran.ru

Версия документа: 2.26.0

Содержание

Руководство по эксплуатации	Часть II. Использование по назначению	7
1 Нормативные ссылки		7
2 Определения, обозначения и сокращения		7
3 Общие сведения и указания.....		9
3.1 Установка программного обеспечения		10
3.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах подключения измерительного блока к компьютеру		12
3.2.1 Описание и выбор сетевых параметров		12
3.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного блока к компьютеру (рекомендуемое)		14
3.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети.....		15
3.2.4 Изменение сетевых параметров.....		16
3.3 Запуск программы и подключение к СК4.....		18
3.4 Активация программных опций (при необходимости).....		21
4 Описание программного обеспечения		23
4.1 Описание элементов интерфейса пользователя		23
4.2 Обработка, измерения и отображение данных		27
4.3 Главное меню программы.....		32
4.4 Настройка графического интерфейса.....		33
4.5 Панели инструментов		35
4.6 Панели управления и параметры.....		35
4.6.1 Панель «Измерение»		40
4.6.2 Панель «Частота»		42
4.6.3 Панель «Амплитудные параметры»		43
4.6.4 Панель «Масштаб»		45
4.6.5 Панель «Синхронизация»		45
4.6.6 Панель «Преобразование частоты»		46
4.6.7 Панель «Функции трасс»		47
4.6.8 Панель «Гетеродин»		47
4.6.9 Панель «Ограничение»		48
4.6.10 Панель «Маркеры»		48
4.6.11 Панель «Калибровка».....		49
4.6.12 Панель «Сервис»		49
4.7 Трассы.....		49
4.7.1 Создание, обновление и удаление трасс		50
4.7.2 Сохранение и загрузка трасс.....		52
4.7.3 Формат отображения.....		53

4.7.4 Масштабирование трасс и настройка осей	53
4.7.5 Накопление	57
4.7.6 Сглаживание	57
4.7.7 Усреднение	58
4.7.8 Ограничительные линии	59
4.7.9 Статистика	61
4.8 Запуск и остановка измерений	62
4.9 Использование профилей пользователя.....	63
4.10 Маркерные измерения.....	64
4.10.1 Добавление и удаление маркеров.....	67
4.10.2 Настройка параметров маркера	69
4.10.3 Режимы слежения маркера	72
4.10.4 Связные маркеры.....	77
4.11 Сохранение и загрузка результатов измерений, отчёты	80
4.12 Список «горячих» клавиш	83
4.13 Сообщения для пользователя и журнал событий	85
5 Установка параметров и конфигурация.....	87
5.1 Установка параметров измерения	87
5.1.1 Установка параметров зондирования и измерения	87
5.1.2 Доступные измерения и форматы. Установка параметров отображения измерительных трасс	88
5.1.3 Варианты отображения спектра	90
6 Калибровка	93
6.1 Эталонные генераторы шума.....	93
6.2 Типы калибровок.....	93
6.2.1 Калибровка КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ»)	93
6.2.2 Калибровка в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ»)	96
6.2.3 Калибровка ИОШТ (опция «ГРП»).....	99
6.3 Сохранение, восстановление и отключение калибровочных данных ...	99
7 Измерения.....	99
7.1 Анализ спектра	100
7.2 Измерение частоты.....	101
7.3 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ»)	102
7.4 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ»)	105
7.5 Градуировка генераторов шума.....	109
7.5.1 Общая информация	109
7.5.2 Измерения в режиме «Градуировка генераторов шума» (опция «ГРП»).....	110

7.5.2.1 Описание мастера градуировки ГШ	110
7.5.2.1.1 Первый этап мастера	110
7.5.2.1.2 Второй этап мастера	110
7.5.2.1.3 Третий этап мастера.....	111
7.5.2.1.4 Четвёртый этап мастера.....	111
7.5.2.1.5 Результаты измерений	113
7.5.2.2 Градуировка однотипных ГШ.....	113
7.5.2.3 Градуировка разнотипных ГШ	116
7.6 Измерение фазового шума (опция ИФС)	119
7.6.1 Общая информация	119
7.6.2 Настройка и запуск измерений	120
7.6.3 Функция «Автоподстройка частоты сигнала».....	122
7.6.4 Функция «Обработка гармоник».....	123
7.7 Аналоговая демодуляция (опция АДП)	124
7.7.1 Общая информация	124
7.7.2 Настройка и запуск измерений	125
7.7.3 Компенсация смещения несущей частоты.....	127
7.8 Измерение времени развертки.....	128
7.9 Исключение/встраивание цепей, компенсация	129
7.10 Использование переходов.....	131
7.11 Система синхронизации СК4.....	132
7.12 Измерение устройств с преобразованием частоты.....	136
7.12.1 Общие сведения.....	136
7.12.2 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» ИУ с преобразованием частот на фиксированную ПЧ	137
7.12.3 Измерения КШ и КП ИУ с преобразованием частот при фиксированной частоте гетеродина	140
7.12.4 Измерение КШ и КП ИУ с применением внешнего конвертера и фиксированной ПЧ.....	144
Приложение А (справочное) Форматы используемых файлов	149
А.1 Формат <i>SnP</i> -файлов.....	149
А.2 Формат <i>ENR</i> -файлов.....	150
Приложение Б (справочное) Перечень возможных неисправностей.....	154
Приложение В (справочное) Решение проблем при настройке сетевых параметров.....	161
Приложение Г (справочное) Программный интерфейс управления	167
Г.1 Введение	167
Г.2 Подключение через библиотеку <i>MiVISA</i>	168
Г.3 Доступ через <i>Micran Instrument Connector</i>	169

Руководство по эксплуатации

Часть II. Использование по назначению

1 Нормативные ссылки

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

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

2 Определения, обозначения и сокращения

анализатор(-ы): анализаторы спектра СК4М/СК4М (далее – «СК4»).

«Измерение»: часть измерительного канала, выполняющая вычисление измеряемых величин из оцифрованных сигналов измерительных входов СК4. Здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс.

Определения для элементов интерфейса пользователя приведены в таблице 4.1.

Атт – аттенюатор.

АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

БПФ – быстрое преобразование Фурье.

ВЧ – высокие частоты.

ГШ – генератор шума.

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

ИКШ – измеритель коэффициента шума (измеритель).

ИОШТ – избыточная относительная шумовая температура.

ИУ – исследуемое устройство.

КП – коэффициент передачи.

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению.

КШ – коэффициент шума.

МШУ – малошумящий усилитель.

НГШ – низкотемпературный генератор шума.

ОГ – опорный генератор.

ОС – операционная система.

ПК – персональный компьютер.

ПО – программное обеспечение.

ПО *Graphit* – программа управления измерителями СК4М/СК4М, программное обеспечение *Graphit* СК4М.

ПЧ – промежуточная частота.

РЭ – руководство по эксплуатации.

СВЧ – сверхвысокие частоты.

ССКП – суммарная средняя квадратическая погрешность.

СН (или НС) – согласованная нагрузка.

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика.

ТХ – технические характеристики.

ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты.

ФНЧ – фильтр нижних частот.

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

3 Общие сведения и указания

Анализаторы спектра СК4М/СК4М (далее – «анализатор» или «СК4») состоят из измерительного блока и программного обеспечения *Graphit* СК4М (далее – ПО *Graphit*), находящегося на *flash*-накопителе в комплекте поставки. Для работы ПО *Graphit* необходимо, чтобы компьютер удовлетворял следующим минимальным требованиям:

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

СК4 с установленным на компьютер ПО *Graphit* обеспечивает выполнение следующих функций:

- анализ спектра;
- измерение уровня мощности;
- измерение частоты;
- измерение коэффициента шума и коэффициента передачи (для опции «ИКШ»);
- градуировку генераторов шума (для опции «ГРП»);
- измерение фазового шума (для опции «ИФШ»);
- измерение параметров аналоговой модуляции (для опции «АДП»);
- отображение результатов измерений в различных форматах;
- сохранение и загрузку измеренных данных;
- сохранение и загрузку калибровочных данных;
- усреднение, сглаживание, накопление и проверку ограничения результатов измерений;
- отображение статистических данных;
- векторные и скалярные математические операции;
- автоматическое масштабирование;
- маркерные измерения;
- задание граничных значений при допусковом контроле;
- создание профилей измерений и подготовка сводных отчётов.

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

В состав ПО *Graphit* входят: исполняющее приложение *Launcher*, набор динамически подключаемых библиотек, а также так называемые **файлы схем** с расширением *gsz*, определяющие режим измерения (алгоритм взаимодействия с аппаратурой, последовательность обработки сигнала, состав и содержимое отображаемых на экране графиков и элементов управления).

Подготовку СК4 к измерениям необходимо проводить согласно соответствующему разделу ч. I настоящего РЭ.

Выключение СК4 следует проводить в следующей последовательности:

- остановить процесс измерений;
- закрыть ПО *Graphit*;
- при необходимости разобрать схему измерений;
- выключить СК4 при помощи выключателя питания на передней панели;
- отсоединить кабель питания и затем клемму заземления от системы защитного заземления.

3.1 Установка программного обеспечения

На *flash*-накопителе из комплекта поставки СК4 содержатся файлы и каталоги:

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

autorun.inf – служебный файл настройки «автозапуска».

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

Autorun – каталог со служебными файлами программы «автозапуска».

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

Install – каталог, содержащий установочные файлы ПО *Graphit*.

Licenses – каталог для файл-ключа лицензии программных опций.

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

i Для установки на компьютер ПО Graphit необходимо запустить программу **install_graphit_2.6.x_SK4M.exe**, находящуюся в каталоге Install на flash-накопителе. В результате откроется «мастер» установки ПО Graphit, на первом шаге которого будет предложено выбрать язык программы, как показано на рисунке 3.1.

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

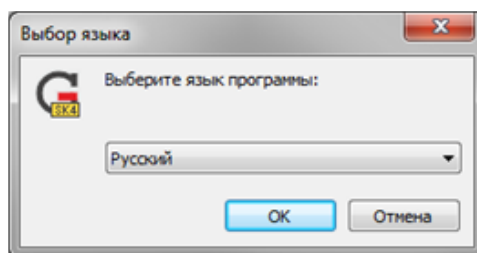
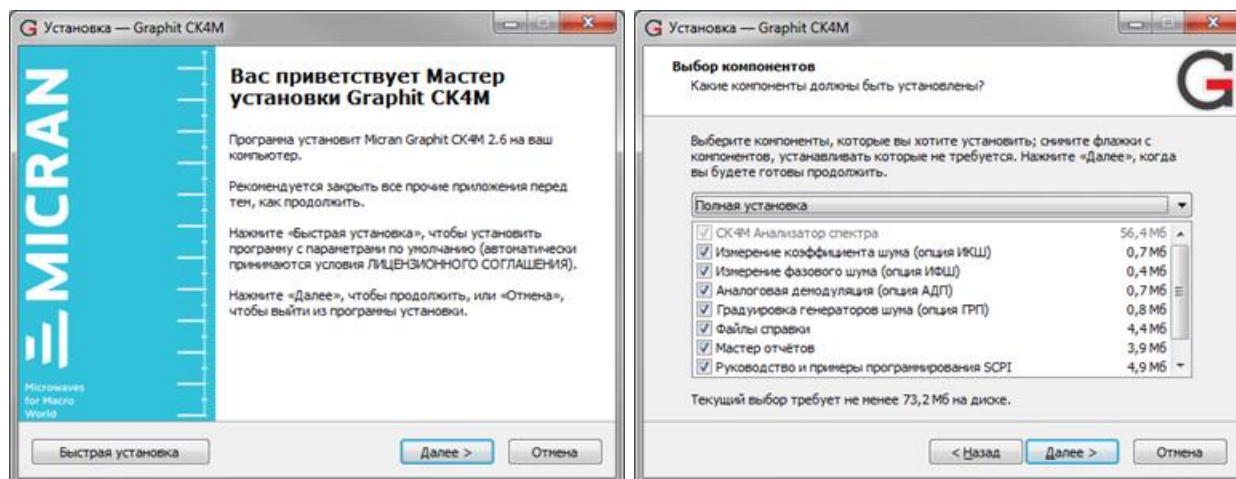


Рисунок 3.1 – Вид окна «Выбор языка» мастера установки ПО Graphit

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

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

- программный эмулятор приборов (для работы в ПО Graphit без подключения к СК4);
- режим измерения «СК4М. Анализатор спектра»;
- режимы измерения КШ «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (программная опция ИКШ);
- режим измерения фазового шума «СК4М. Измерение фазового шума» (программная опция ИФШ);
- режим аналоговой демодуляции «СК4М. Аналоговая демодуляция» (программная опция АДП);
- режим градуировки ГШ «Градуировка генераторов шума» (программная опция ГРП);
- файлы справки;
- мастер отчётов;
- руководство и примеры программирования SCPI.



а) Начальная страница установки

б) Выбор компонентов

Рисунок 3.2 – 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.

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

3.2.1 Описание и выбор сетевых параметров

Измерительный блок использует интерфейс *Ethernet* для подключения к компьютеру непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети. Для идентификации СК4 в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», хранящихся в текстовых файлах на встроенном в СК4 *FTP*-сервере. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров СК4:

IP-адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
IP-адрес шлюза:	0.0.0.0
Сетевое имя:	sk4m-18-00000001 (<i>тип и серийный номер СК4 могут отличаться</i>)

На задней панели СК4 имеется линейка из шести переключателей КОНФИГУРАТОР (рисунок 3.3), с помощью которых выбирается набор сетевых параметров.

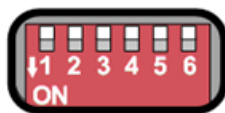


Рисунок 3.3 – Переключатели КОНФИГУРАТОР на задней панели СК4 (все выключены)

Назначение переключателей КОНФИГУРАТОР представлено в таблице 3.1.

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

Второй переключатель разрешает использование протокола 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 СК4 *IP*-адрес и маску. Если СК4 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 измерительного блока.

Изменение положений переключателей 1 и 2 применяется только после перезапуска питания СК4 или кратковременного включения шестого переключателя.

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

Номер переключателя	Назначение	Значение <i>ON</i> или ВКЛ	Значение <i>OFF</i> или ВЫКЛ
1	Выбор набора сетевых параметров	Используется набор «Пользователя»	Используется «Фабричный» набор

Номер переключателя	Назначение	Значение ON или ВКЛ	Значение OFF или ВЫКЛ
2	Автоматическая конфигурация	При включении питания СК4 пытается передать <i>DHCP</i> -серверу «Сетевое имя» и в ответ получить <i>IP</i> -адрес и маску. Если СК4 не получил ответа, то устанавливаются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров.	Используются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров. «Сетевое имя» игнорируется
3 - 5	Не используются	—	—
6	<i>Reset</i> (должен быть выключен)	Формируется сигнал <i>Reset</i> , препятствующий работе СК4; кратковременное включение перезапускает внутренний процессор; использование не рекомендуется	Нормальное положение

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

При прямом подключении (рисунок 3.4), СК4 соединяется кабелем *Ethernet UTP 5* категории («витая пара»), входящим в комплект поставки, непосредственно с сетевой картой управляющего ПК.



Рисунок 3.4 – Прямое подключение

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

- а) все переключатели КОНФИГУРАТОР на задней панели СК4 должны

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

быть выключены, т.е. будет использоваться «Фабричный» набор сетевых параметров;

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

3.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети

В варианте подключения к локальной сети (рисунок 3.5) СК4 может управлять любой компьютер локальной сети. Одним СК4 не могут управлять несколько компьютеров одновременно, но возможно управление одним компьютером несколькими СК4 для исследования сложных СВЧ устройств. При необходимости, СК4 могут обмениваться синхросигналами.

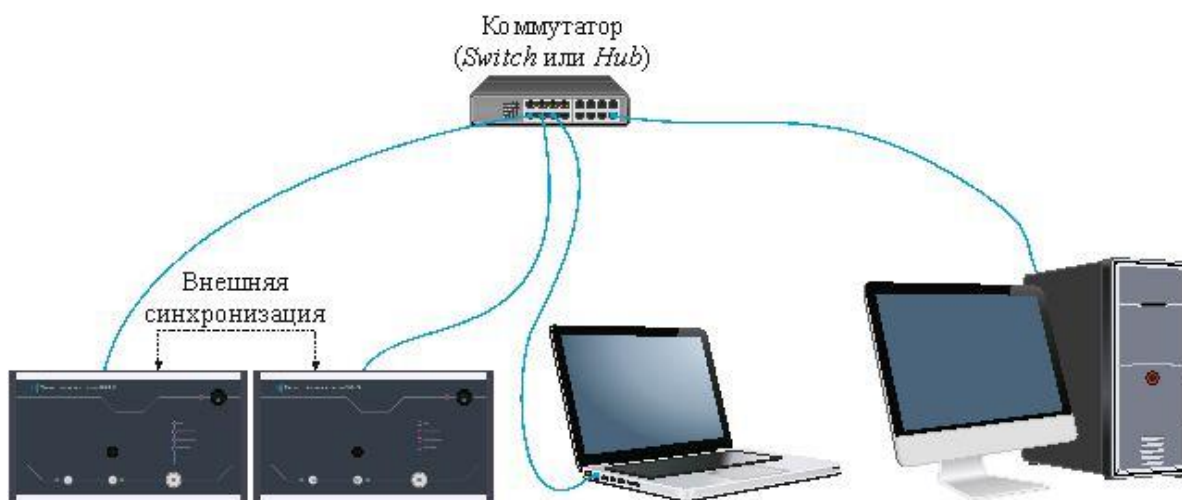


Рисунок 3.5 – Подключение к локальной сети СК4 (расположены слева)

Вариант подключения к локальной сети отличается от прямого подключения только количеством узлов. ПК и подключённый к нему СК4 тоже можно считать локальной сетью, состоящей из двух узлов. Более важно наличие в сети сервера автоматической конфигурации – *DHCP*-сервера, для использования которого необходимо включить переключатель 2 конфигуратора. Переключатель 2 можно не выключать, тогда при отсутствии *DHCP*-сервера СК4 после без-

успешных попыток получить *IP*-адрес (через 20 секунд) продолжит работать так, как работал бы с выключенным переключателем 2.

Рассмотрим возможные варианты включения СК4 в локальную сеть. Пусть в вариантах с 1 по 3 в ПК и в приборе включена автоматическая конфигурация *IP*-протокола (второй переключатель конфигуратора в положении «*ON*», первый – в положении «*OFF*»).

Вариант первый – включение в локальную сеть с *DHCP*- и *DNS*-серверами. ПК и СК4 получают *IP*-адреса от *DHCP*-сервера. *DHCP*-сервер регистрирует сетевое имя СК4 на *DNS*-сервере, что позволит использовать сетевое имя в качестве адреса СК4.

Вариант второй – включение в локальную сеть, содержащую только *DHCP*-сервер. ПК и СК4 получают от сервера *IP*-адреса. Адрес прибора будет не известен, но он будет определён с помощью функции обнаружения приборов при подключении ПО.

Вариант третий – включение одного СК4 в локальную сеть, не содержащую серверов. Вариант эквивалентен прямому подключению. СК4 будет доступен по адресу 169.254.0.254.

Для пользователя представленные выше варианты и прямое подключение вместе с ними выглядят одинаково. Он подключает СК4 более предпочтительным для него способом – непосредственно к ПК или в локальную сеть и, при подключении посредством ПО, выбирает СК4 из списка обнаруженных.

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

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

3.2.4 Изменение сетевых параметров

Изменение сетевых параметров измерительного блока может потребоваться при подключении СК4 к локальной сети или при подключении нескольких СК4 к одному компьютеру.

Изменять можно только набор сетевых параметров «Пользователя». Проще всего это сделать через *WEB*-интерфейс СК4, выполнив следующую последовательность действий.

а) Если адрес СК4 не известен или он не доступен с текущими сетевыми настройками:

- выключите СК4;
- выполните прямое подключение, описанное в п. 3.2.2;
- выключите все переключатели configurатора на задней панели СК4;
- подождите около 30 с после выключения СК4, включите СК4 и подождите около 40 с.

б) Наберите в адресной строке интернет-браузера IP-адрес СК4 (169.254.0.254 при прямом подключении к ПК) и нажмите клавишу «**Enter**». В окне браузера отобразится стартовая страница – «Информация о приборе».

в) Нажать на кнопку «Сетевые параметры», чтобы перейти на страницу управления сетевыми параметрами «Пользователя», приведённую на рисунке 3.6.

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

! При изменении сетевых настроек СК4 через Web-интерфейс во избежание поломки СК4 после нажатия кнопки «Записать» необходимо дождаться появления сообщения о завершении записи «Write config complete» на той же страничке настройки сетевых параметров! Время ожидания может достигать до 1 мин!

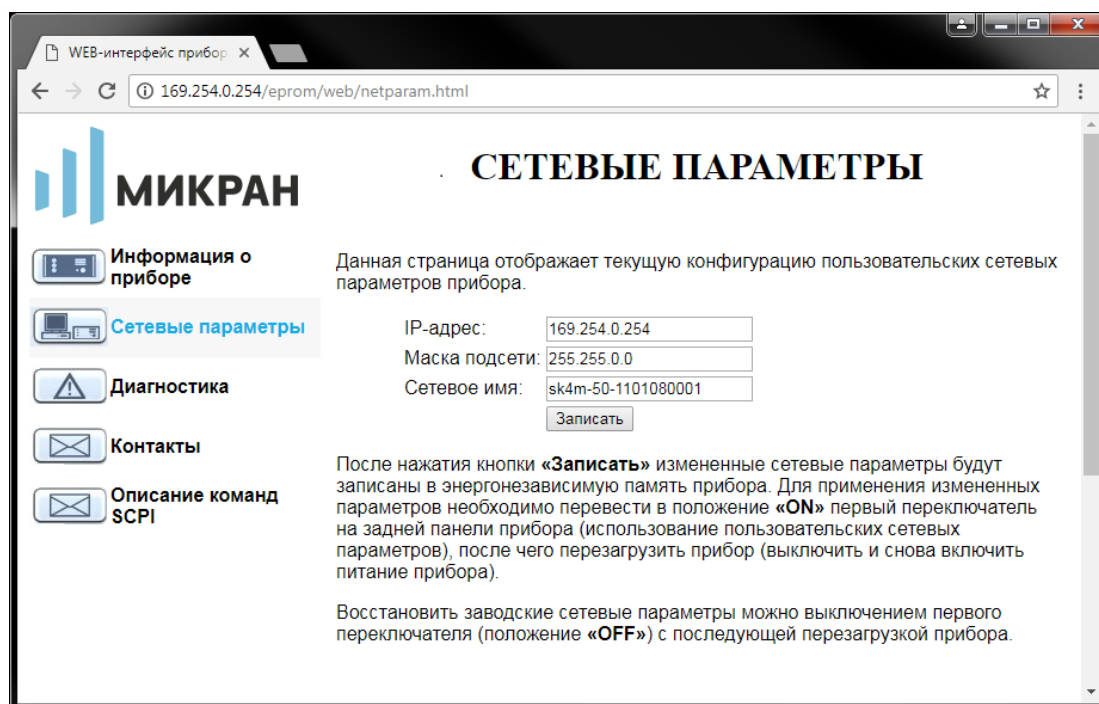


Рисунок 3.6 – Изменение сетевых параметров

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

! *Изменение сетевых параметров вступит в силу только после выключения/включения питания СК4 и при включённом первом переключателе КОНФИГУРАТОР на задней панели СК4 (рисунок 3.3). Между выключением электропитания и последующим включением СК4, с целью сохранности блока питания, необходимо выдержать интервал не менее 30 с.*

3.3 Запуск программы и подключение к СК4

Для запуска ПО *Graphit* следует нажать кнопку «Пуск» и выбрать пункт меню «Пуск > Все программы > Micran Graphit CK4M 2.6.x > Graphit CK4M», как показано на рисунке 3.7 (номер версии ПО может отличаться).

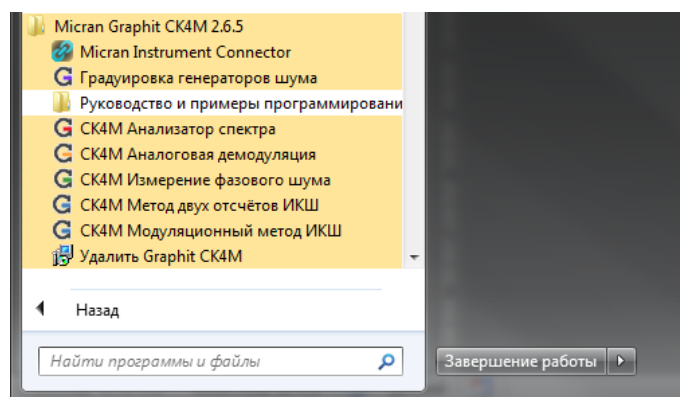


Рисунок 3.7 – Запуск ПО *Graphit* из меню «Пуск»

После старта ПО *Graphit* появится диалог подключения к СК4 (рисунок 3.8). Под подключением здесь понимается установка TCP-соединения с измерительным блоком, инициализация и установка текущих параметров.

Диалоговое окно подключения к СК4 содержит панель «Избранное» и «Поиск приборов», в которых содержатся списки приборов с их описанием, адресом, типом, серийным номером и состоянием. В правой части диалогового окна расположены кнопки управления, позволяющие добавлять, удалять и изменять элементы списка «Избранное». Кнопка «Поиск приборов» позволяет скрыть/отобразить список «Поиск приборов». Включение переключателя «Подключаться по умолчанию» приведёт к автоматическому подключению к выбранному СК4 при следующем старте ПО *Graphit*. Для отключения данной опции необходимо после запуска программы открыть окно подключения, используя пункт главного меню программы «Управление > Подключение к прибору СК4...», и установить данный переключатель в положение «О».

Контекстное меню списков окна подключения (рисунок 3.9) кроме команд управления списками содержит дополнительные функции: копирование адреса выделенного прибора в буфер обмена, переход в браузере на WEB-интерфейс СК4 и создание ярлыка ПО *Graphit* на рабочем столе для быстрого запуска и подключения к выбранному СК4.

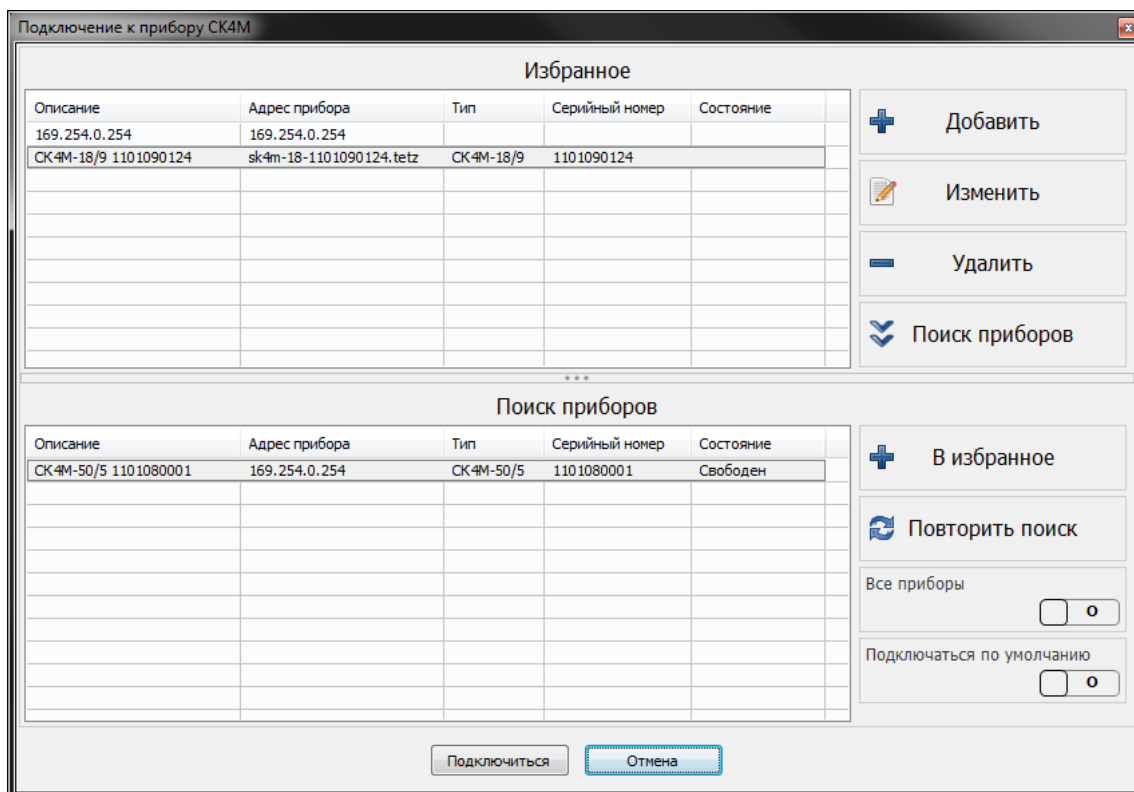


Рисунок 3.8 – Диалоговое окно подключения к СК4

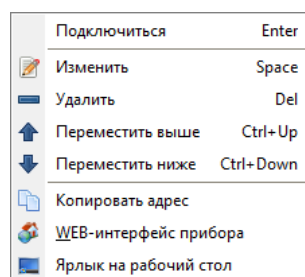


Рисунок 3.9 – Контекстное меню списка окна подключения

После выбора СК4 из списка и нажатия кнопки «Подключиться» или двойного щелчка по элементу списка выполняется попытка подключения к СК4. Если ПО не удалось установить подключение, то отобразится сообщение об ошибке (рисунок 3.10). После нажатия кнопки «ОК» диалоговое окно подключения к СК4 примет исходный вид, приведённый на рисунке 3.8. Нажатие кнопки «Отмена» закроет диалоговое окно подключения к СК4.

Чтобы повторно открыть диалог подключения к СК4, следует воспользоваться пунктом меню «Управление > Подключение к прибору СК4...».

Функция «Повторить поиск» позволяет повторить обнаружение доступных приборов. ПО обращается к *DNS*-серверу с просьбой преобразовать *IP*-адрес СК4 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 СК4 не использовал автоматическую конфигурацию сетевых параметров (переключатель 2 на задней панели выключен, рисунок 3.3) и не зарегистрировал своё имя на сервере. Если поиск осуществлялся при выключенном переключателе «Все приборы», то из найденных устройств будут отображены только подходящие к текущей версии ПО *Graphit* СК4.

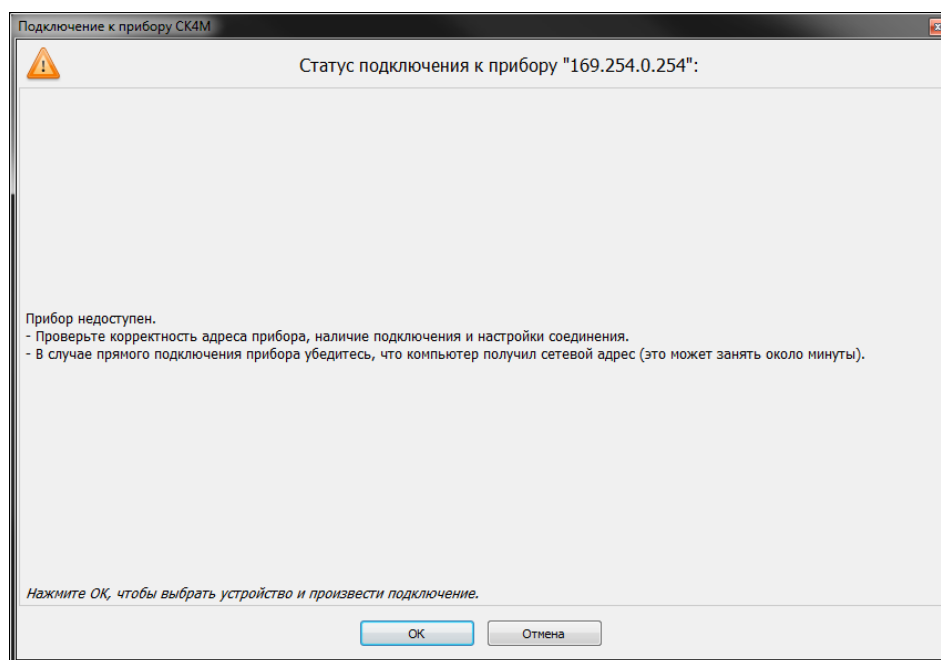


Рисунок 3.10 – Сообщение о неудачном подключении к анализатору

❗ При возникновении проблем с подключением к СК4 воспользуйтесь информацией и рекомендациями, изложенными в Приложение В и Приложение Б.

После подключения к СК4 появится диалог выбора режима измерения (см. рисунок 3.11).

Имеются следующие режимы измерения:

- «СК4М. Анализатор спектра» – режим анализатора спектра;
- «СК4М. Аналоговая демодуляция» (опция «АДП») – режим аналоговой демодуляции;
- «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ») – измерения КШ и КП с использованием твердотельного ГШ, управляемого с помощью СК4 (см. п. 7.4);
- «СК4М. Измерение фазового шума» (опция «ИФШ») – см. п. 7.6.
- «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ») – для измерения КШ и КП с помощью НГШ (см. п. 7.4);
- «Градуировка генераторов шума» (опция «ГРП») – градуировка генераторов шума (см. п. 7.5).

 Для получения более точных результатов градуировки ГШ рекомендуется приобрести лицензию на использование специальной инструкции по градуировке ГШ.

Смена режима измерения производится путём закрытия текущей сессии ПО *Graphit* и повторного открытия при помощи соответствующего ярлыка меню «Пуск» или рабочего стола ОС *Windows®*, либо выбором необходимого пункта в диалоговом окне, вызываемом из меню программы «Файл > Режим измерения...» (рисунок 3.11).

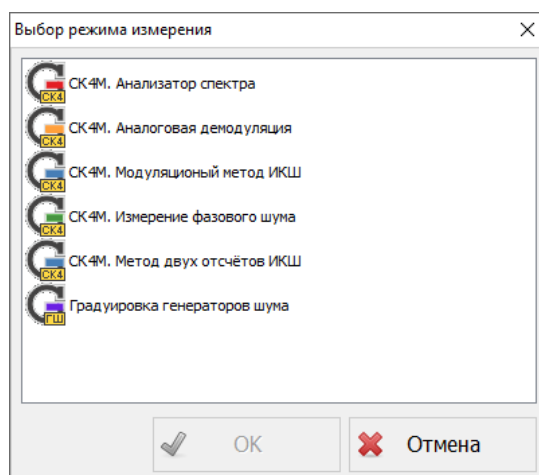
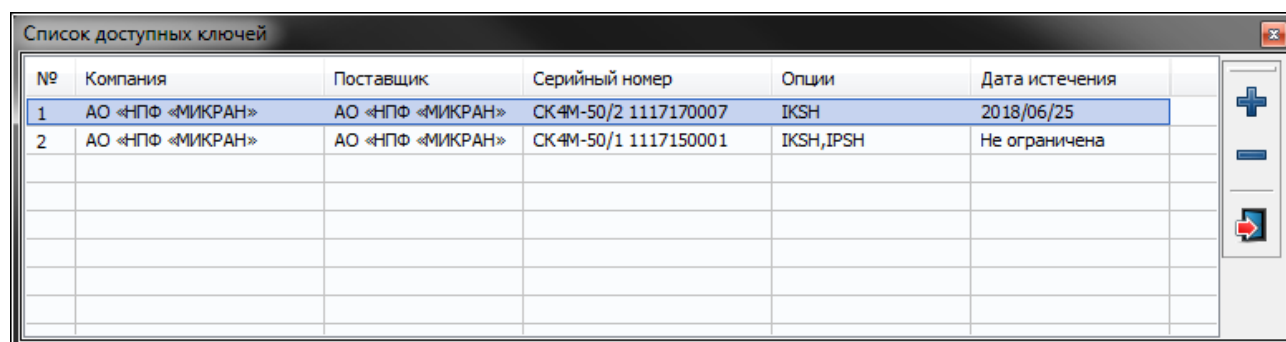


Рисунок 3.11 – Выбор режима измерения

3.4 Активация программных опций (при необходимости)

На последних версиях СК4 ключ лицензии уже содержится во встроенном ПО (не поставляется отдельно на цифровом носителе), и загружается в ПО *Graphit* автоматически. В противном случае для активации программной опции вызовите пункт меню «Управление > Список ключей...» и в появившемся окне нажмите на кнопку  для выбора файла-ключа лицензии с расширением *lk* (рисунок 3.12). Файл-ключ лицензии, поставляемой вместе с СК4, находится в директории *Licenses* на *flash*-накопителе. После добавления лицензии активация опций происходит автоматически, перезагрузка ПО *Graphit* не требуется. Список доступных программных опций ПО *Graphit* приведён в таблице 3.2.



№	Компания	Поставщик	Серийный номер	Опции	Дата истечения
1	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	СК4М-50/2 1117170007	IKSH	2018/06/25
2	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	СК4М-50/1 1117150001	IKSH,IPSH	Не ограничена

Рисунок 3.12 – Окно управления ключами лицензий

Т а б л и ц а 3.2 – Программные опции ПО *Graphit*

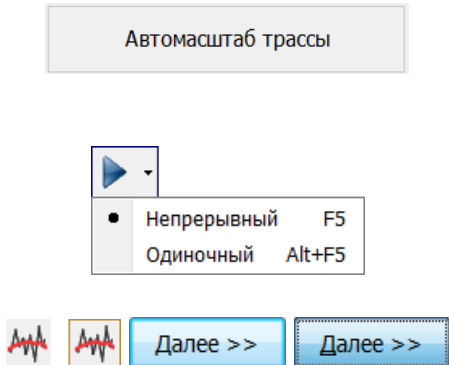
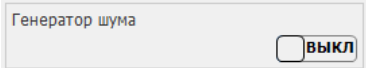
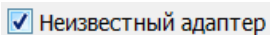
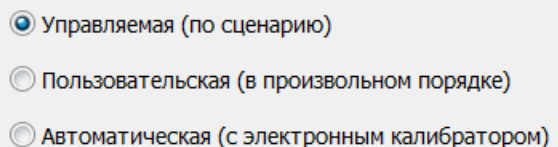
Обозначение	Название	Описание
ИКШ (IKSH)	Измерение коэффициента шума	Позволяет проводить измерения коэффициента шума и коэффициента передачи устройств модуляционным методом. Для работы с данной опцией необходим генератор шума, рекомендуется использовать опцию «МУА».
ИФШ (IPSH)	Измерение фазовых шумов	Позволяет проводить измерения фазовых шумов источников гармонических сигналов.
АДП (ADP)	Аналоговая демодуляция	Содержит дополнительные инструменты для анализа амплитудно-, частотно- и фазомодулированных сигналов.
ГРП (GRP)	Градуировка генераторов шума	Позволяет проводить градуировку мер спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения – генераторов шума – различными методами. Режим градуировки предусматривает допусковый контроль согласно заданным пределам суммарной среднеквадратической погрешности измерений, нестабильности КП тракта СК4 (с её исключением), сходимости результатов измерений; а также исключение вносимых потерь.
СРП (SRP)	Скрытый режим пользователя	Опция предназначена для предотвращения возможности считать из программы или измерить при помощи технических средств диапазона рабочих частот исследуемого устройства лицами, не имеющими права доступа к закрытой информации. Доступна только в режимах анализа спектра и измерения КШ.

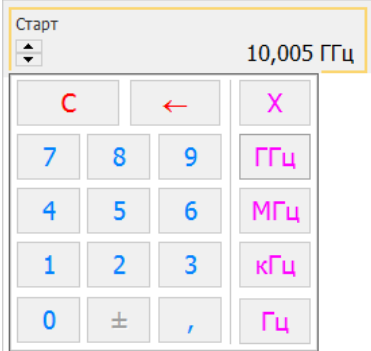
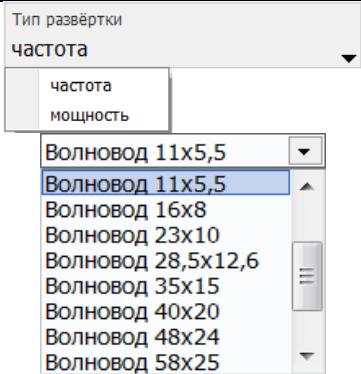
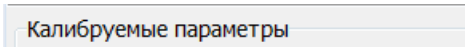
4 Описание программного обеспечения

4.1 Описание элементов интерфейса пользователя

Основные элементы управления, используемые в ПО *Graphit*, представлены в таблице 3.8.

Т а б л и ц а 4.1 – Элементы управления

Название	Пример внешнего вида	Описание
Кнопка		Кнопки для выполнения операции (названия кнопок могут присутствовать на самих кнопках, или появляться в контекстной подсказке при наведении на нее указателем мыши): Кнопка с текстом и/или пиктограммой Кнопки со списком (нажатие приводит к выбору очередного элемента в списке) Кнопки с фиксацией
Переключатель (тумблер)		Переключатель (тумблер). Аналог классического флажка.
Флажок		Включает (и индицирует) определённые свойства или функции
Радиокнопка		Выбор одного из вариантов

Название	Пример внешнего вида	Описание
Поле ввода (или поле с регулировкой значения)		Элемент задания значений с возможностью ввода с экранной клавиатуры (ЭК), либо перелистыванием с определённым шагом при помощи колеса прокрутки мыши или клавишами-стрелками «вверх»/«вниз». Вызов экранной клавиатуры происходит по нажатию левой кнопки мыши, контекстного меню для настроек шага или выбора одного из прошлых значений – по нажатию правой кнопки мыши.
Поле со списком		Предназначено для выбора одного из элементов выпадающего списка (название поля может присутствовать в самом поле, либо слева от него)
Группа		Область диалога с названием, обозначенная рамкой, объединяет, как правило, несколько элементов управления, например радиокнопки, поля ввода и т.п.

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



Рисунок 4.1 – Общий вид ПО Graphit

Боковая **статусная панель** отображает амплитудные параметры канала, список которых приведён в таблице 4.2 (набор отображаемых параметров определяется режимом работы). При наведении мыши на индикатор панели появится всплывающая подсказка с расшифровкой обозначения.

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

- Начальная частота **10 МГц**;
- Цветовые индикаторы трасс диаграммы  (кликом мыши по любому из них выбирается трасса, обозначенная цветом индикатора);
- Полоса обзора **19,99 ГГц**;
- Количество точек **501**;
- Центральная частота **10,005 ГГц**;
- Полоса фильтра ПЧ **#ФПЧ 3 МГц**;
- Полоса видеофильтра **ВФ 3 МГц**;
- Конечная частота **20 ГГц**.

Статусная строка (или, иначе, строка состояния) содержит информацию о подключённом СК4:

- тип и серийный номер;
- IP-адрес или сетевое имя СК4;
- статус подключения к СК4;
- режим опорного генератора «ОГ».

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

Наименование индикатора	Вид	Описание
Опорный уровень	Оп. -30 дБм	Опорный уровень СК4
Значение ВЧ аттенюатора	Атт. 20 дБ	Значение ослабления входного ступенчатого ВЧ аттенюатора
Компенсация внешней цепи (встраивание/исключение цепи)	КВЦ	Включена компенсация внешней цепи
Тип детектора	Выб	Детектор выборки
	Унив	Универсальный детектор
	МакП	Максимально-пиковый
	МинП	Минимально-пиковый
	Сред	Детектор среднего
Тип фазовых шумов	#БП	Быстрая перестройка
	#ДО	Оптимизация дальней отстройки
	#БО	Оптимизация ближней отстройки
	#	Ручной режим
Малошумящий усилитель	МШУ	Включен малошумящий усилитель
Используется опорный сигнал	ОПОР СИГН	Используется внутренний опорный сигнал 100 МГц
Коррекция	Н/К Кор Кор(!)	Информация о коррекции, т.е. учете результатов пользовательской калибровки (соответственно сверху вниз: некорректированные данные/коррекция включена/применение интерполяции калибровочных данных)

Наименование индикатора	Вид	Описание
Степень усреднения		Значение установленного параметра «Степень усреднения» на панели управления «Измерение»
Встраивание и исключение цепей	  	Компенсация внешней цепи включена Компенсация внешней цепи до ИУ включена Компенсация внешней цепи после ИУ включена

Панели управления и панели инструментов являются основным средством задания параметров СК4 и измерений, позволяют изменять настройки отображения и операций над трассами. Область панелей управления можно «свернуть» или «развернуть», кликнув мышью по их заголовку или по значку «>>» или «<<», расположенному выше.

4.2 Обработка, измерения и отображение данных

Для упрощения понимания функций тех или иных элементов интерфейса ПО *Graphit*, необходимо рассмотреть блок-схемы обработки и форматирования данных (рисунки 4.2–4.4). Обработка сигнала, производимая до ПО *Graphit* (в частности встроеным ПО), а также особенности работы, приведены на структурных схемах и в тексте при разъяснении устройства и работы СК4 в разделе с описанием СК4 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ.

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 СК4. Здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс.

СК4 поддерживает один измерительный канал:

- Измерения в частотной области.

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.

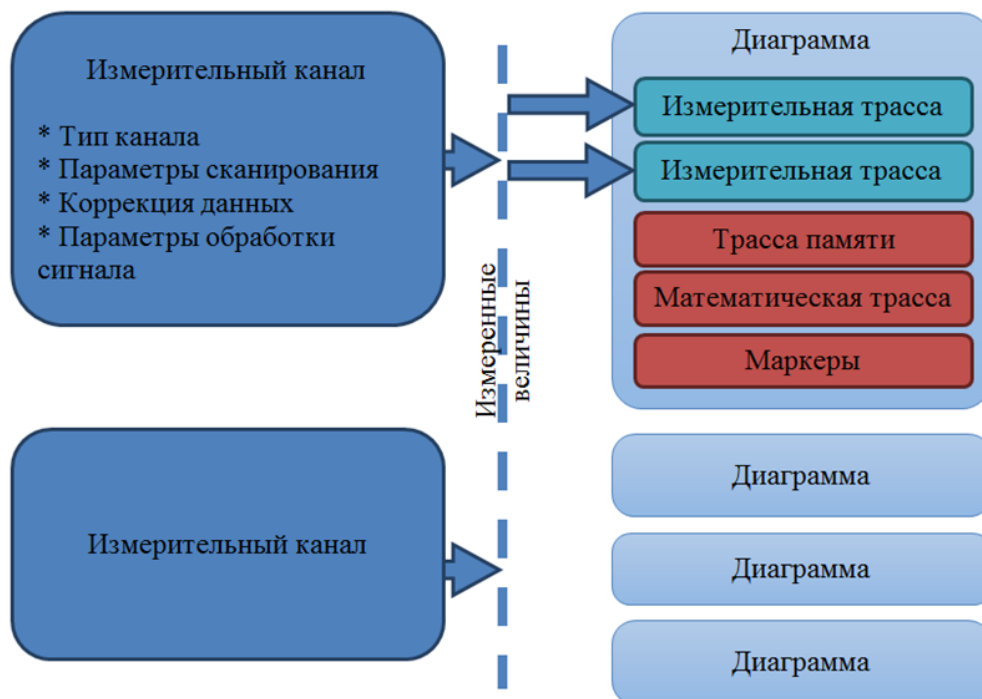


Рисунок 4.2 – Обобщённая схема обработки данных

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

В окне ПО *Graphit* одновременно могут отображаться от 1 до 4 диаграмм, и в каждой диаграмме могут отображаться до 30 трасс (максимальное число измерительных трасс – 10). Пользователю разрешено отображать на одной диаграмме трассы в разных форматах, принадлежащие различным «измерениям» и измерительным каналам. На рисунке 4.5 показан пример диаграммы с контекстным меню, появившемся после клика правой кнопкой мыши по области отображения трасс.

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

- ственную 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.

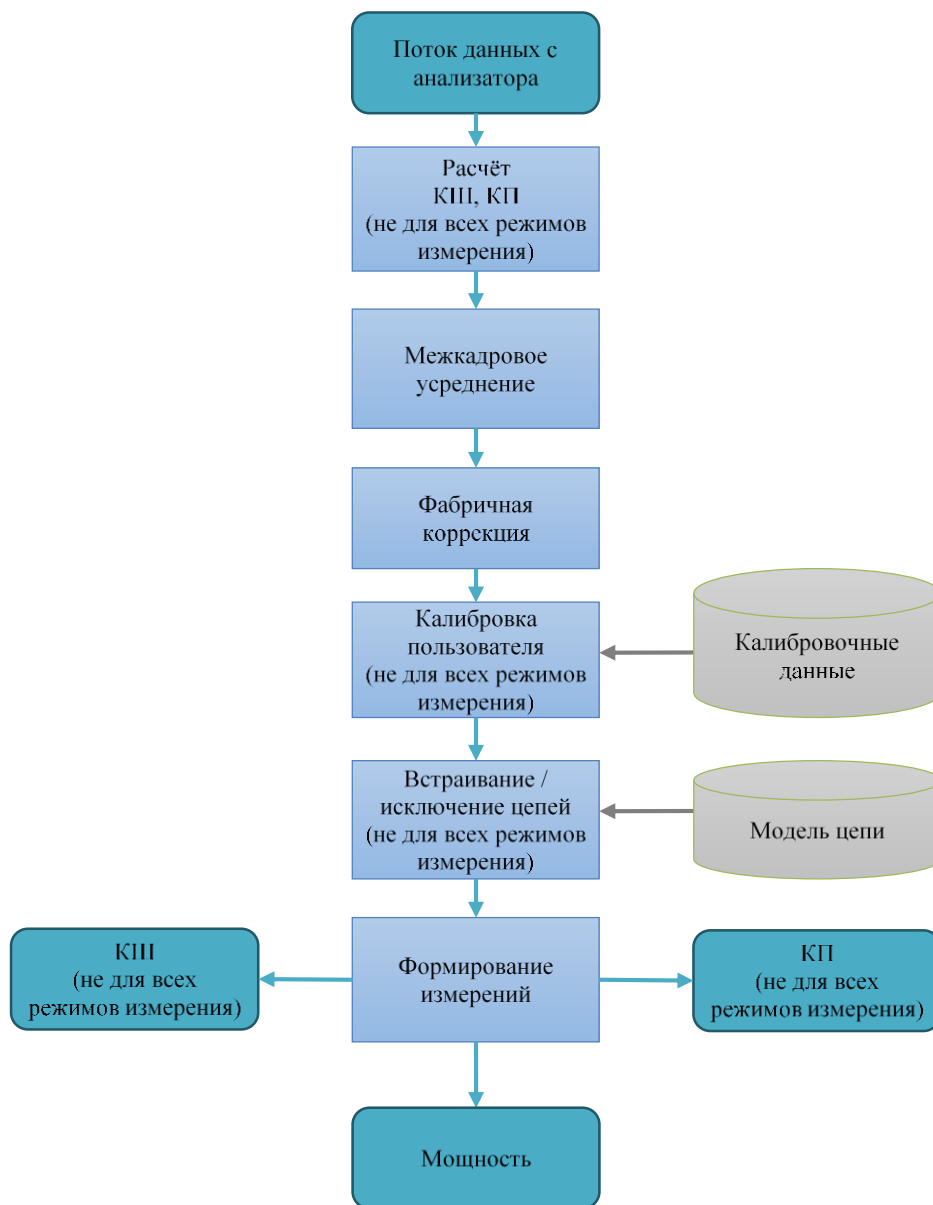


Рисунок 4.3 – Блок-схема обработки данных в измерительном канале

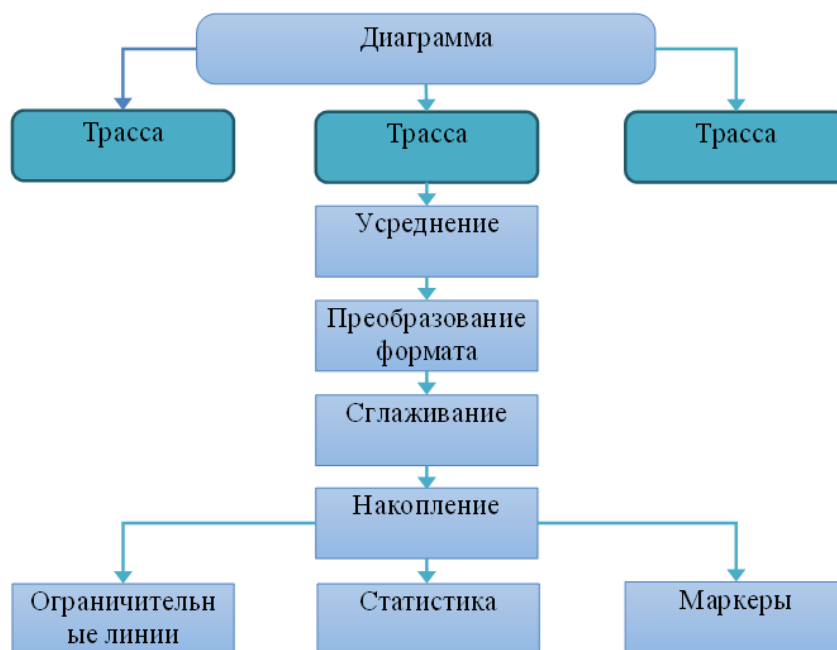


Рисунок 4.4 – Блок-схема обработки данных в трассе

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

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

В столбцах «Опорн.», «Ед./дел.» и «Поз.» отображаются значения опорного уровня, масштаба (ед./дел.) трассы и позиции опорного уровня. Двойной щелчок мышью по любой из указанных ячеек позволит изменить значение соответствующего параметра во всплывающем поле. Более подробно эти параметры описаны в п. 4.7.3.

Важно учесть, что опорный уровень является параметром, определяющим максимальный измеряемый уровень сигнала, и задающим различные аппаратные настройки прибора, поэтому для всех измерительных трасс опорный уровень одинаков и задаётся в панели управления «Амплитудные параметры» (см. п. 4.6), а позиция опорного уровня неизменна и равна 10. Также недоступен для измерительных трасс и выбор способа задания масштаба (кнопка исчезает с панели при выделении трассы).

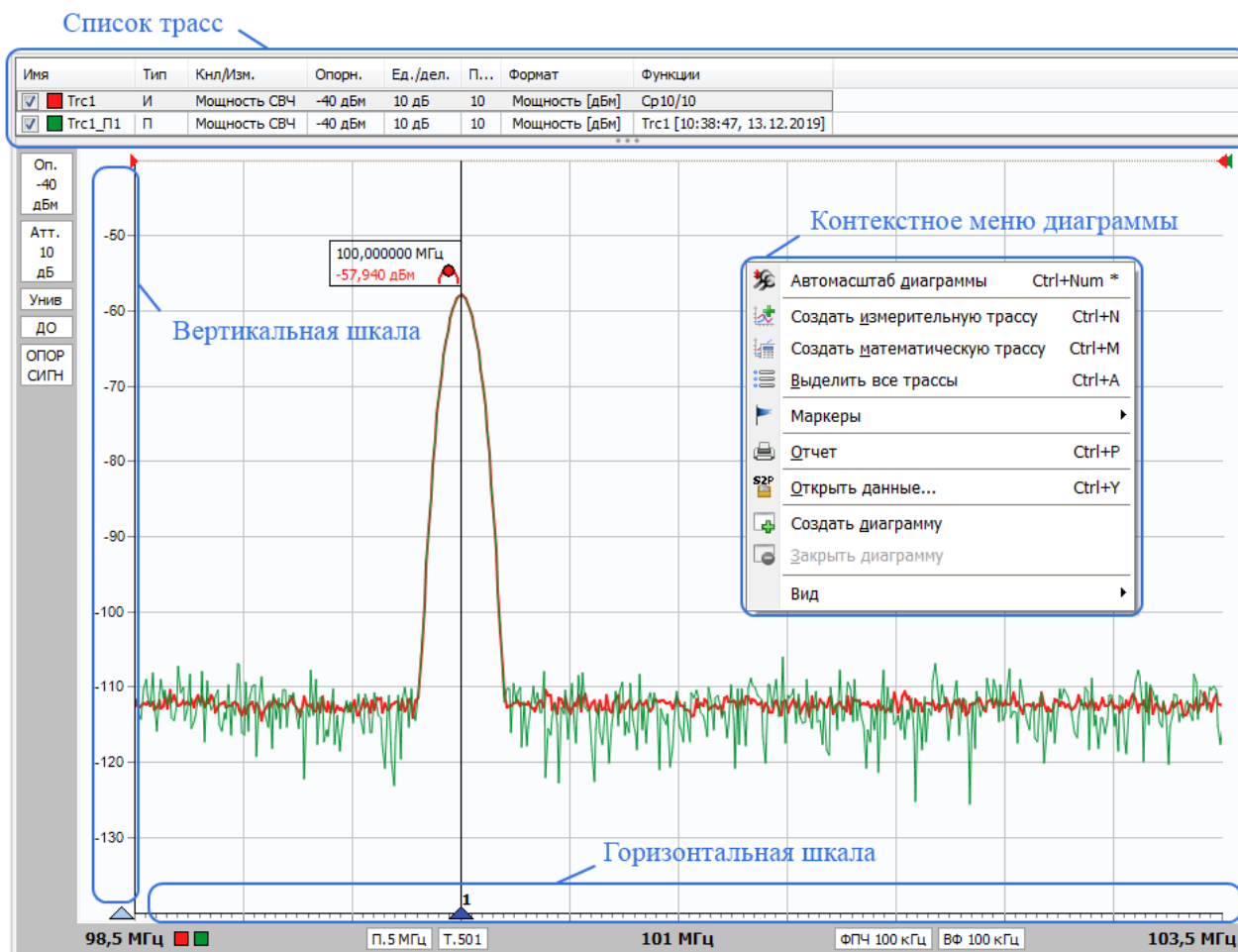


Рисунок 4.5 – Диаграмма и её контекстное меню

Столбец «Формат» отображает текущий формат данных трассы. Двойной щелчок мышью в этом поле откроет список доступных форматов.

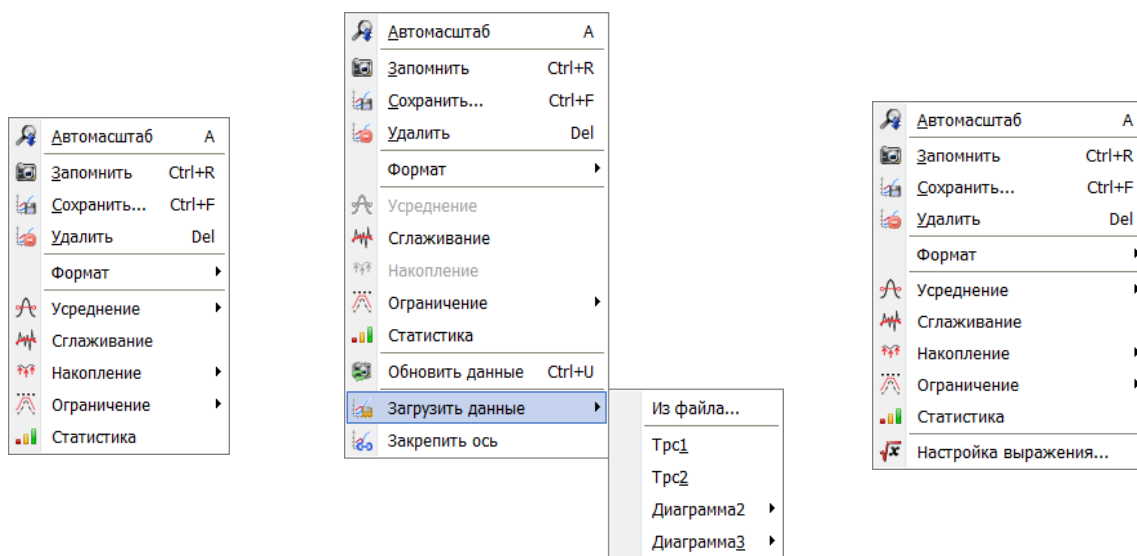
В столбце «Функции» отображаются сокращения названий операций, применяемых к результатам измерений (подробнее в п. 4.7), а также дополнительная информация для математических и трасс памяти.

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

Список трасс автоматически расширяется при добавлении новой трассы (если установлен флажок «Вид > Автовысота списка трасс» в меню диаграммы), если общее количество трасс не превышает 4. Также существует возмож-

ность 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.

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



а) Меню измерительной трассы

б) Меню трассы памяти

в) Меню математической трассы

Рисунок 4.6 – Контекстные меню трасс

4.3 Главное меню программы

Главное меню ПО *Graphit*, изображённое на рисунке 4.7, отображается в верхней части окна программы и состоит из следующих пунктов (конкретный набор элементов зависит от режима измерения).

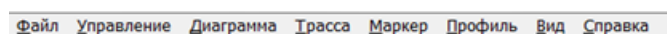


Рисунок 4.7 – Главное меню

Файл — используется для смены режима измерения ПО *Graphit*, выхода из программы, а также содержит функции создания и отправки снимков окна программы на определённый адрес электронной почты (рисунок 4.58).

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

Управление – содержит команды подключения/отключения к СК4 и запуска/остановки процесса измерений, а также запуска окна управления ключами лицензий ПО *Graphit*.

Диаграмма – дублирует контекстное меню активной диаграммы (рисунок 4.5).

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

Маркер – дублирует контекстное меню управления активным маркером (рисунок 4.45).

Профиль – предназначено для сохранения/загрузки параметров измерений.

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

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

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

4.4 Настройка графического интерфейса

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

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

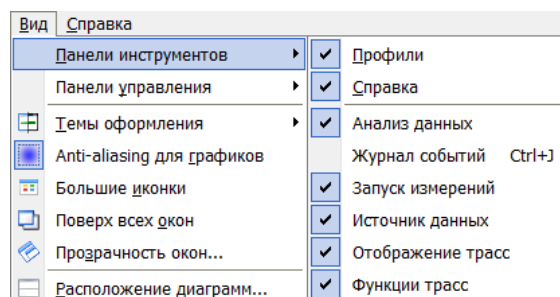


Рисунок 4.8 – Меню «Вид»

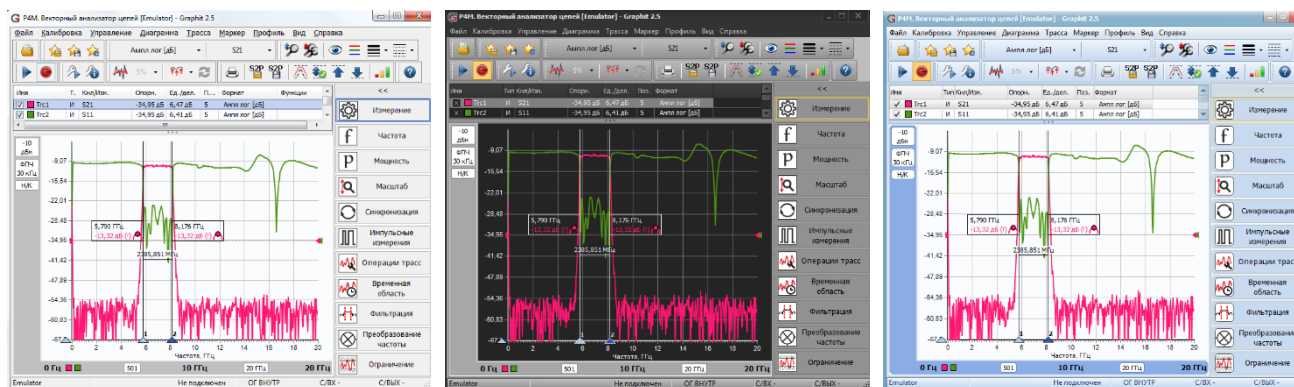


Рисунок 4.9 – Темы оформления

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

 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 4.10).

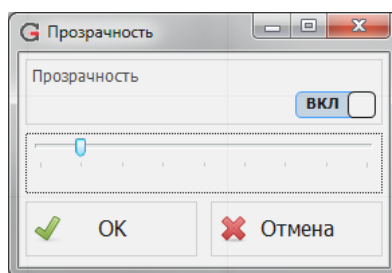


Рисунок 4.10 – Регулировка эффекта прозрачности

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

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

¹⁾Настройки могут применяться только при следующем запуске программы.

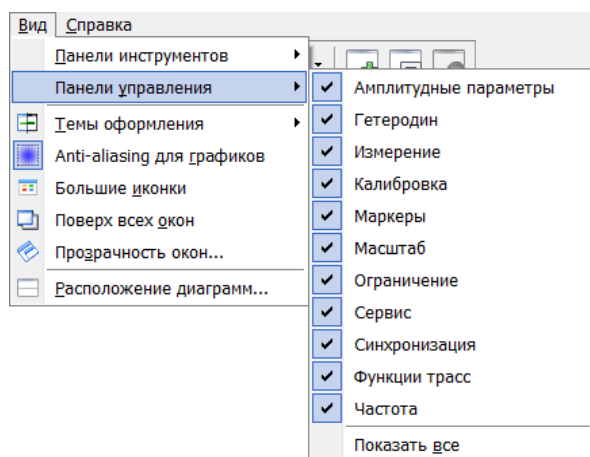
4.5 Панели инструментов

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

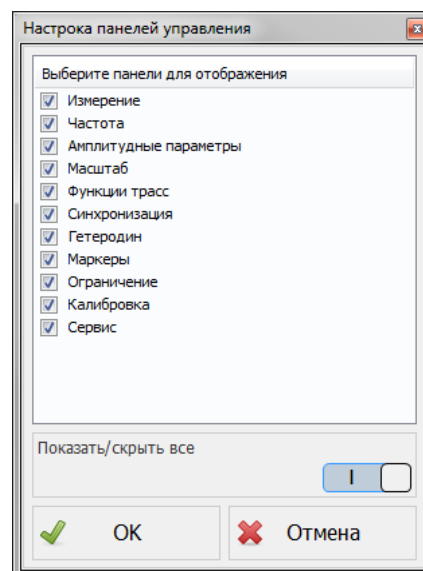
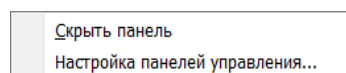
4.6 Панели управления и параметры

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

Для включения тех или иных панелей управления следует установить соответствующие флажки в соответствующем подменю «Вид» (рисунок 4.11-а), либо воспользоваться контекстным меню любой из кнопок переключения панелей управления (рисунок 4.11-б). Набор панелей управления, а также их содержимое, может зависеть от конкретного режима измерения.



а)



б)

Рисунок 4.11 – Настройка панелей управления

Панели управления приведены на рисунках 4.12–4.20.

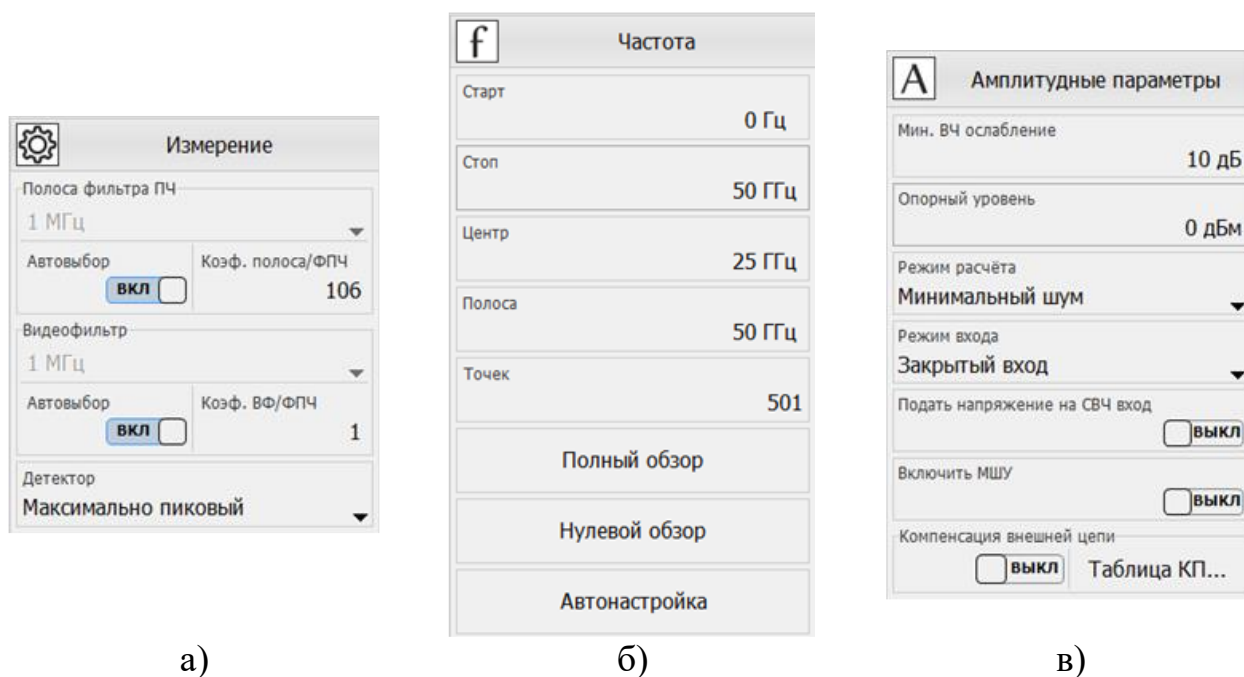


Рисунок 4.12 – Панели управления в режиме «СК4М. Анализатор спектра»: а) «Измерение»; б) «Частота»; в) «Амплитудные параметры»

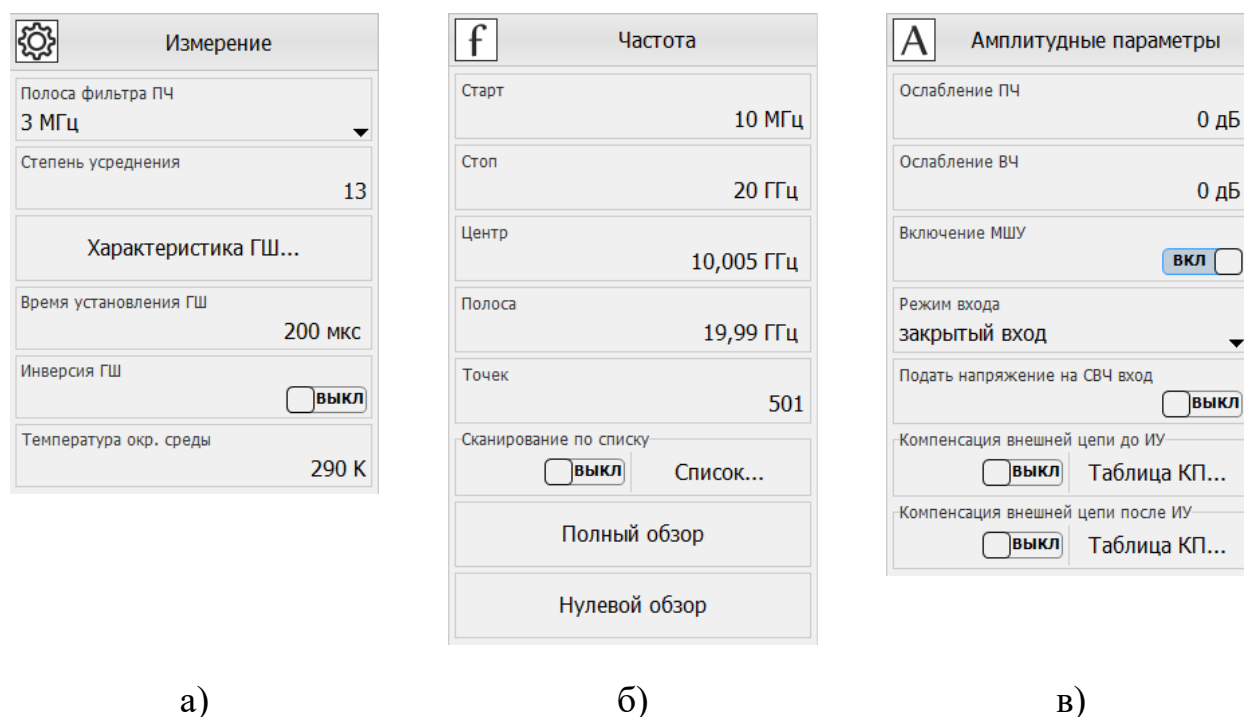


Рисунок 4.13 – Панели управления в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»: а) «Измерение»; б) «Частота»; в) «Амплитудные параметры»

Измерение

Полоса фильтра ПЧ
3 МГц

Степень усреднения
10

Генератор шума ☐ **ВЫКЛ**

Инверсия ГШ ☐ **ВЫКЛ**

Температура окр. среды
290 К

Температура хол. источника...

а)

Частота

Старт
10 МГц

Стоп
20 ГГц

Центр
10,005 ГГц

Полоса
19,99 ГГц

Точек
501

Сканирование по списку
☐ **ВЫКЛ**

б)

Амплитудные параметры

Ослабление ПЧ
0 дБ

Ослабление ВЧ
0 дБ

Включение МШУ ☒ **ВКЛ**

Режим входа
 Замкнутый вход

Подать напряжение на СВЧ вход
☐ **ВЫКЛ**

в)

Рисунок 4.14 – Панели управления в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»: а) «Измерение»; б) «Частота»; в) «Амплитудные параметры»

Измерение

Метод измерения
Прямого измерения спектра

Полоса фильтра ПЧ
1 МГц

Автовыбор ☒ **ВКЛ**

Степень усреднения
3

Измерение ИМ сигнала ☐ **ВЫКЛ**

а)

Частота

Частота несущей
100 МГц

Начальная/конечная отстройка
100 Гц | 10 МГц

Автоподстройка частоты сигнала ☒ **ВКЛ**

б)

Амплитудные параметры

Мощность сигнала
30 дБм

Обработка гармоник
Выключена

Мин. ВЧ ослабление
0 дБ

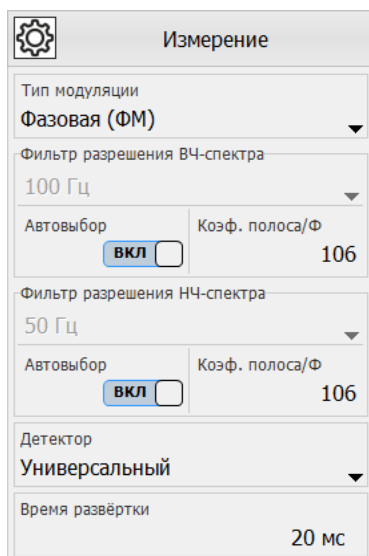
Опорный уровень
30 дБм

Режим входа
 Замкнутый вход

Подать напряжение на СВЧ вход
☐ **ВЫКЛ**

в)

Рисунок 4.15 – Панели управления в режиме «СК4М. Измерение фазового шума»: а) «Измерение»; б) «Частота»; в) «Амплитудные параметры»



Измерение

Тип модуляции
Фазовая (ФМ)

Фильтр разрешения ВЧ-спектра
100 Гц

Автовывбор ☒ Козф. полоса/Ф 106

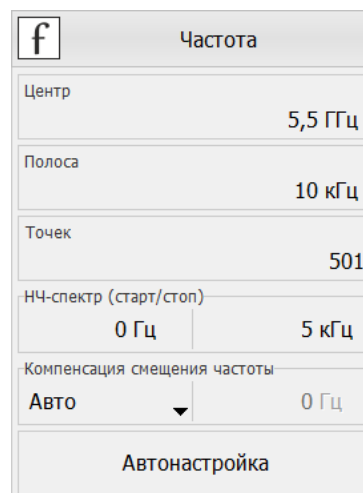
Фильтр разрешения НЧ-спектра
50 Гц

Автовывбор ☒ Козф. полоса/Ф 106

Детектор
Универсальный

Время развёртки
20 мс

а)



Частота

Центр
5,5 Гц

Полоса
10 кГц

Точек
501

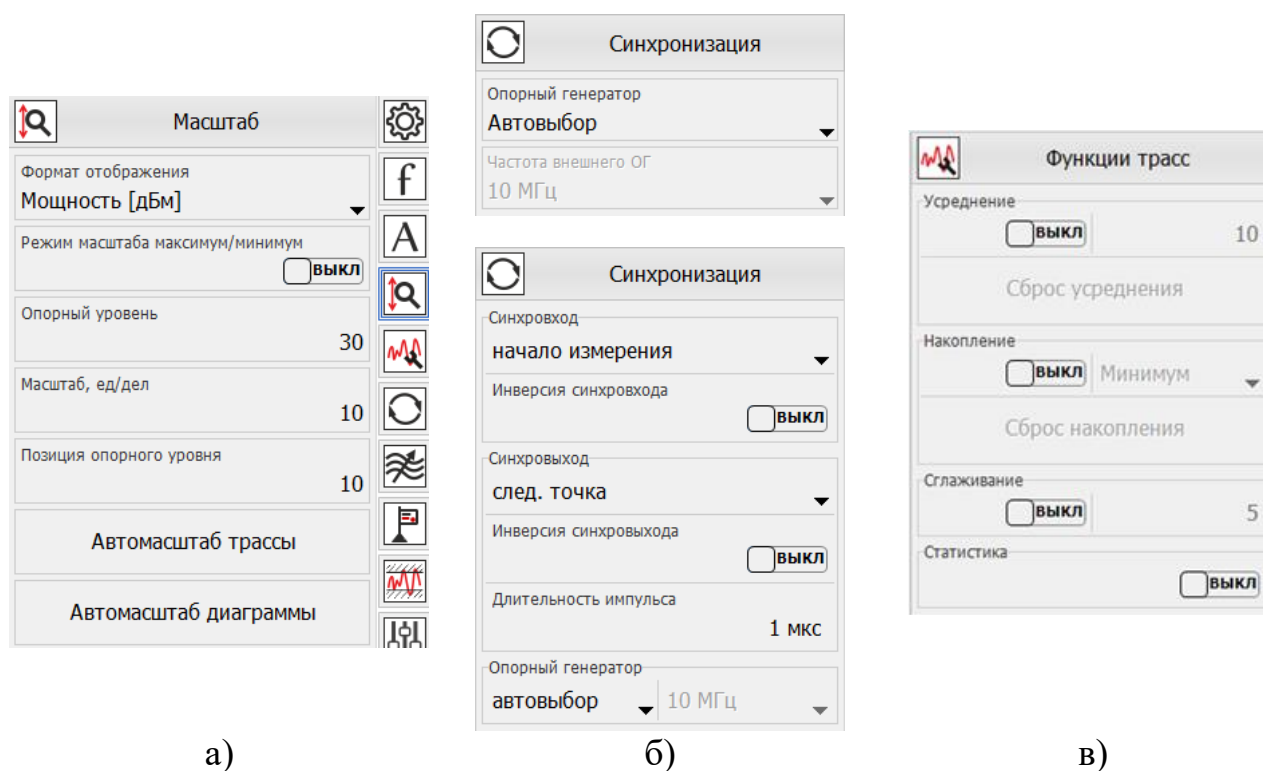
НЧ-спектр (старт/стоп)
0 Гц | 5 кГц

Компенсация смещения частоты
Авто | 0 Гц

Автонастройка

б)

Рисунок 4.16 – Панели управления в режиме «СК4М. Аналоговая демодуляция»: а) «Измерение»; б) «Частота»



Масштаб

Формат отображения
Мощность [дБм]

Режим масштаба максимум/минимум ☐ **выкл**

Опорный уровень
30

Масштаб, ед/дел
10

Позиция опорного уровня
10

Автомасштаб трассы

Автомасштаб диаграммы

Синхронизация

Опорный генератор
Автовывбор

Частота внешнего ОГ
10 МГц

Синхронизация

Синхровход
начало измерения

Инверсия синхровхода ☐ **выкл**

Синхровход
след. точка

Инверсия синхровхода ☐ **выкл**

Длительность импульса
1 мкс

Опорный генератор
автовывбор | 10 МГц

Функции трасс

Усреднение ☐ **выкл** 10

Сброс усреднения

Накопление ☐ **выкл** Минимум

Сброс накопления

Сглаживание ☐ **выкл** 5

Статистика ☐ **выкл**

а)

б)

в)

Рисунок 4.17 – Панели управления: а) «Масштаб»; б) «Синхронизация» (снизу – для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»); в) «Функции трасс»

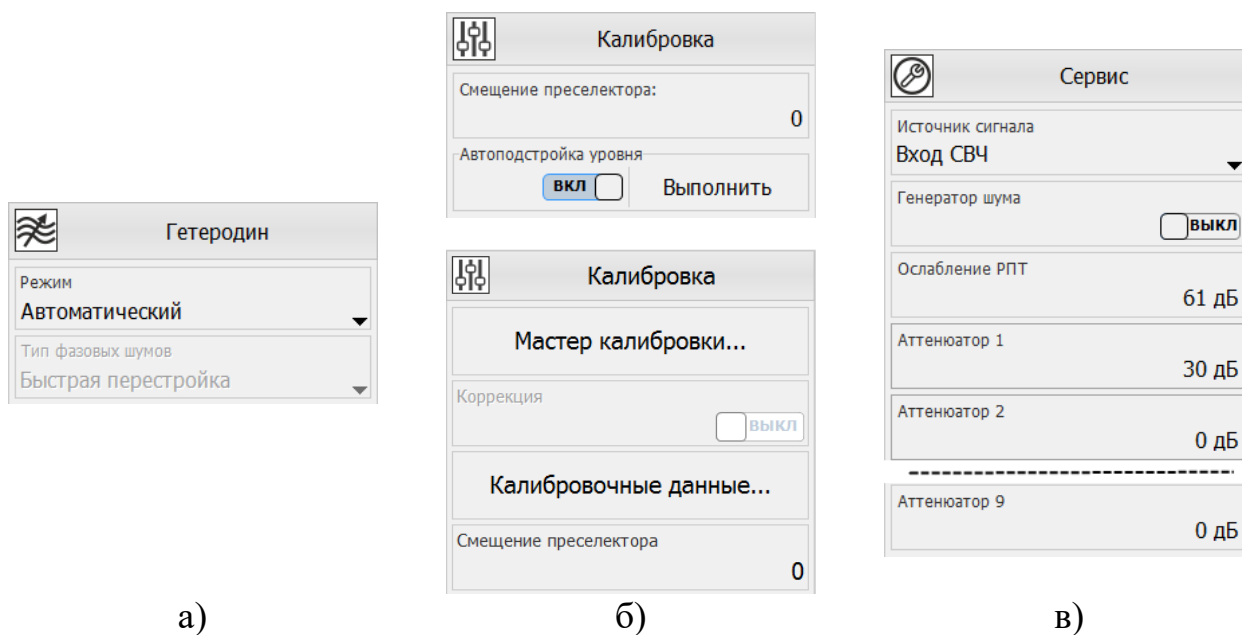


Рисунок 4.18 – Панели управления: а) «Гетеродин»; б) «Калибровка»; в) «Сервис»

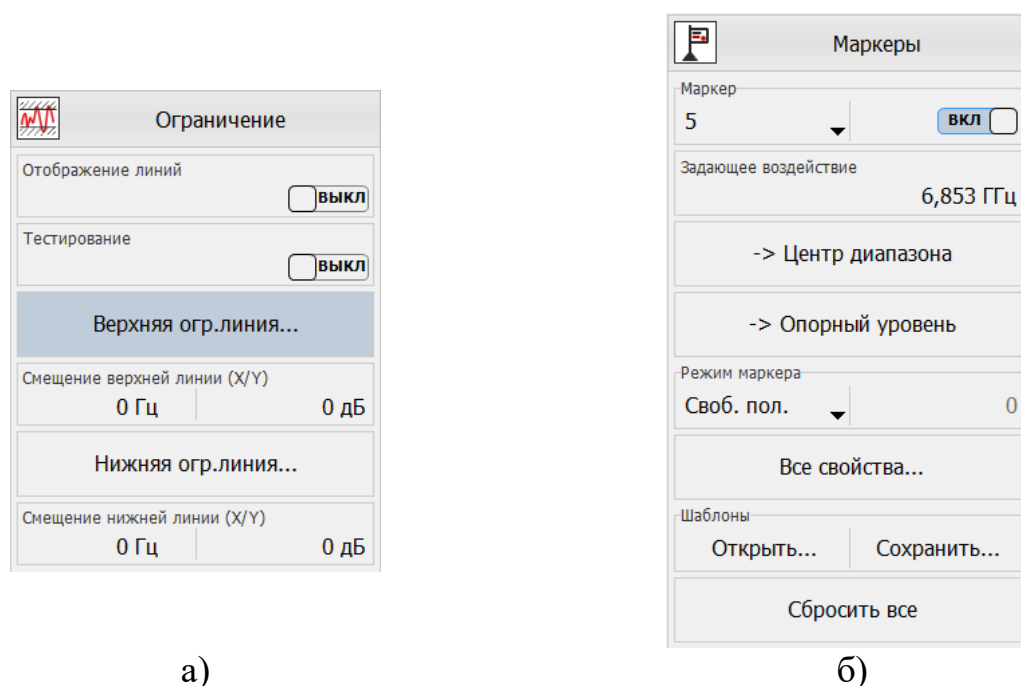


Рисунок 4.19 – Панели управления: а) «Ограничение»; б) «Маркеры»

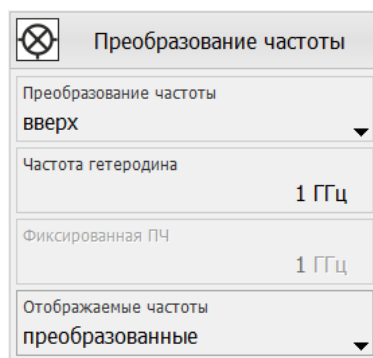


Рисунок 4.20 – Панели управления в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»: «Преобразование частоты»

4.6.1 Панель «Измерение»

См. рисунок 4.12-а и 4.13-а. Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Полоса фильтра ПЧ» – полоса пропускания разрешающего цифрового последовательного фильтра ПЧ. Уменьшение фильтра ПЧ приводит к увеличению разрешающей способности по частоте, уменьшению отображаемого уровня шума и увеличению времени измерения. Для некоторых режимов измерения доступен режим автоматического выбора фильтра – при включении тумблера «Автовыбор» активируется поле ввода параметра «Коэф. полоса/ФПЧ», определяющего отношение полосы обзора к полосе фильтра ПЧ.
- «Видеофильтр» – полоса пропускания видеофильтра. Видеофильтрация эквивалентна усреднению значений мощности в Ваттах (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей в каждой точке трассы, см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами ч. I настоящего РЭ для режима «СК4М. Анализатор спектра», а также описание устройства и работы СК4 в разделе с описанием СК4 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ), способствует уменьшению дисперсии отображаемого шума и приводит к увеличению времени измерения. Доступен режим автоматического выбора видеофильтра – при включении тумблера «Автовыбор» активируется поле ввода параметра «Коэф. ВФ/ФПЧ» определяющего отношение полосы видеофильтра к полосе фильтра ПЧ.
- «Детектор» (детектор отображения) – алгоритм, определяющий значение в каждой отображаемой точке трассы в результате обра-

ботки нескольких значений, фактически измеренных в частотном интервале этой точки (см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами ч. I настоящего РЭ для режима «СК4М. Анализатор спектра», а также описание устройства и работы СК4 в разделе с описанием СК4 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ):

- «максимально-пиковый» (или «минимально-пиковый») детектор в качестве отображаемого значения в точке выбирает максимальное (или минимальное) значение сигнала в частотном интервале данной точки.
- «детектор среднего» рассчитывает среднее арифметическое значений линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей) в частотном интервале данной точки (см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами ч. I настоящего РЭ для режима «СК4М. Анализатор спектра»).
- более сложным является алгоритм «универсального детектора». Если амплитуда измерений в частотном интервале и поднимается и падает, то сигнал в пределах интервала можно классифицировать как шум. В этом случае точки с нечётными номерами отображают измерение с максимальной амплитудой, а точки с чётными номерами – измерения с минимальной амплитудой. Для предотвращения потери информации о сигнале, который проявляется только в чётных интервалах, максимальное значение в этом интервале также запоминается, а в следующем (нечётном) интервале отображается наибольшее из двух максимальных значений – либо запомненное из предыдущего интервала, либо максимальное из текущего.
- «детектор выборки» в качестве отображаемого в точке значения выбирает мгновенное значение сигнала в конце частотного интервала данной точки.
- «Степень усреднения» – в это поле вводится число n , определяющее количество физических измерений мощности в мВт в одной частотной точке по формуле $N = m \cdot 2^n$, где N – количество физических измерений в одной частотной точке, m – некоторый коэффициент, определяемый спецификой работы СК4; на экран выводится среднее арифметическое значение мощности (для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума» и «СК4М. Измерение фазового шума» выполняется на аппаратном уровне, т.е. не в ПО верхнего уровня). Увеличение степени усреднения уменьшает флуктуации, но увеличивает время измерения.
- «Характеристика ГШ» – для загрузки значений ИОШТ ГШ, исполь-

зуемого для измерений КШ и/или КП; либо эталонного ГШ, используемого для градуировки другого ГШ.

- «Время установления ГШ» – задержка перед началом измерения после подачи напряжения на ГШ, необходимая для установления выходной мощности при подаче/отключении напряжения питания ГШ (инерционность).
- «Инверсия ГШ» – изменяет принцип программного управления питанием ГШ: состоянию «включён» соответствует напряжение 0 В, а состоянию «выключен» – плюс 28 В.

4.6.2 Панель «Частота»

См. рисунок 4.12-б. Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Старт» – начальная частота сканирования.
- «Стоп» – конечная частота сканирования.
- «Центр» – центральная частота сканирования;
- «Полоса» – полоса обзора.
- «Точек» – количество точек, отображаемых на диаграмме (об интерполяции и количестве точек измерения и отображения см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами ч. I настоящего РЭ, описание устройства и работы СК4 в разделе с описанием СК4 и принципов его работы ч. I настоящего РЭ, а также описание «Видеофильтр» и «Детектор» в п. 4.6.1).
- «Сканирование по списку» – включение или отключение сканирования по списку частот.
- «Список...» – редактор списка частот, создаваемый пользователем «вручную» или загружаемый из файла; максимальный размер списка – 5001 точка.
- «Полный обзор» – установка предельно возможного диапазона перестройки.
- «Нулевой обзор» – установка сканирования на фиксированной частоте, определяемой полем «Центр», с заданным количеством точек.
- «Автонастройка» – автоматический поиск сигнала в рабочем диапазоне частот СК4 и настройка параметров сканирования (диапазон частот, опорный уровень) в соответствии с измеренными характеристиками сигнала (в случае его обнаружения).

4.6.3 Панель «Амплитудные параметры»

См. рисунок 4.12-в. Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Мин. ВЧ ослабление» – значение ослабления ВЧ аттенюатора устанавливается автоматически, однако можно задать минимальное ВЧ ослабление аттенюатора, например, для улучшения КСВН входа СК4, либо защиты от выхода из строя входных цепей.
- «Опорный уровень» (только для режима «СК4М. Анализатор спектра») определяет максимальную мощность, которую можно измерить. Заданная величина будет применяться в качестве опорного уровня всех измерительных трасс.

⚠ Внимание! Уровень сигнала на входе СК4 (в режиме «СК4М. Анализатор спектра») не должен превышать значение опорного уровня! Для защиты входных цепей СК4 рекомендуется устанавливать минимальное ВЧ-ослабление не менее 10 дБ.

- «Режим расчёта» – в зависимости от значений опорного уровня и минимального ВЧ ослабления СК4 автоматически рассчитывает и устанавливает нужные значения всех аттенюаторов и усилителей в соответствии с выбранным из списка режимом расчёта.
 - «оптимальный режим» обеспечивает оптимизацию, при которой уровень комбинационных искажений не превышает уровень шума.
 - «минимальный шум» – уровень шума является минимально возможным для СК4. В данном режиме в полосе обзора возможно появление искажений.
 - «фиксированное ВЧ-ослабление» применяет ослабление ВЧ-аттенюатора равным минимальному значению, заданному вне зависимости от величины опорного уровня. Данный режим следует использовать осторожно, так как существует вероятность перегрузки входных цепей.
 - «однотональный режим» – является режимом расчета по умолчанию для режима измерения «СК4М. Измерение фазового шума» и в отличие от вышеописанных режимов расчета устанавливает минимальное ослабление в предположении того, что в полосу ПЧ «гарантированно» поступает однотональный сигнал; этот режим расчета в первую очередь нужен для повышения чувствительности.
- «Режим входа» (доступно при наличии опции «АПА») – переключает состояние входных цепей между состояниями «открытый вход» и «закрытый вход» путём подключения/отключения входного

разделительного конденсатора. Закрытый вход обеспечивает защиту входных цепей СК4 от повреждения постоянным напряжением. Открытый вход нужен для измерения низкочастотных сигналов. При включении СК4 по умолчанию включается режим «закрытый вход». Об одном из включённых состояний также сигнализируют соответствующие светодиодные индикаторы на передней панели СК4.

- «Подать напряжение на СВЧ вход» (доступно при наличии опции «АПА») – производится подключение сигнала, поданного на вход адаптера питания, к центральному проводнику СВЧ входа СК4. О включённом питании также сигнализирует светодиодный индикатор на передней панели СК4.
- «Ослабление ПЧ» – позволяет устанавливать ослабление встроенного калиброванного аттенюатора по каналу ПЧ (располагается перед АЦП); как правило, используется при измерении ИУ с большими значениями КП с целью защиты АЦП измерителя от перегрузки; при измерении выставленные значения ослабления автоматически компенсируются программным путем;
- «Ослабление ВЧ» – позволяет устанавливать ослабление встроенного входного калиброванного электромеханического ВЧ аттенюатора, который расположен перед входным МШУ; как правило, используется при измерении ИУ с большими значениями КП с целью защиты входных цепей СК4 от перегрузки; при измерении выставленные значения ослабления автоматически компенсируются программным путем;
- «Включить МШУ» (доступен при наличии опции «МУА» и при значениях опорного уровня от минус 30 дБм и ниже) – включает малошумящий предусилитель. О включении предусилителя сигнализирует светодиодный индикатор «МШУ» на передней панели СК4.
- «Компенсация внешней цепи» – группа позволяет задать частотные коэффициенты передачи внешних цепей, подключаемых к входу СВЧ СК4, с целью учёта этих параметров и коррекции отображаемого уровня, например, для компенсации потерь сигнала в кабеле и т.п. Характеристика формируется путём кусочно-линейной аппроксимации заданных точек. Вне заданного диапазона значение корректирующего коэффициента экстраполируется путём сохранения уровня ослабления крайних заданных значений. Более подробно см. п. 7.9. В режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» вместо функции «Компенсация внешней цепи» аналогичным образом можно включить функции «Компенсация внешней цепи до ИУ» и «Компенсация внешней цепи после ИУ». Это обусловлено тем, что формула коррекции результата измерения КШ зависит от того, где

именно располагается дополнительная цепь – до или после ИУ.

4.6.4 Панель «Масштаб»

См. рисунок 4.17-а. Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

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

Подробное описание параметров и функций панели управления «Масштаб» (рисунок 4.17-а) представлено в пп. 4.7.3, 4.7.4.

4.6.5 Панель «Синхронизация»

Данная панель управления необходима для осуществления аналоговой синхронизации частоты опорного генератора от внешнего источника опорного сигнала, а также для осуществления цифровой синхронизации (доступно не для всех режимов измерения) с другими приборами или для управления внешними устройствами – переключателями, модуляторами и т.п. – с целью построения измерительных систем (см. рисунок 4.17-б.).

Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Синхровход» – выбор режима входа цифровой синхронизации.
- «Инверсия синхровхода» – инверсия импульсов на входе цифровой синхронизации.
- «Синхровыход» – выбор режима выхода 1 цифровой синхронизации.

- «Инверсия синхровыхода» – инверсия импульсов на выходе 1 цифровой синхронизации.
- «Длительность импульса» – длительность импульсов на выходе 1 цифровой синхронизации.
- «Опорный генератор» – позволяет выбрать режим аналоговой синхронизации от внутреннего, либо от внешнего ОГ; предусмотрен также автоматический режим, в котором осуществляется синхронизация от внешнего ОГ, а при отсутствии синхронизации СК4 переключится на внутренний ОГ.
- «Частота внешнего ОГ» – выбор частоты внешнего опорного генератора.

Использование системы цифровой синхронизации СК4 описано в пункте 7.11.

4.6.6 Панель «Преобразование частоты»

Данная панель присутствует в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и используется для измерения устройств с преобразованием частоты (см. п. 7.12, рисунок 4.20):

- «Преобразование частоты» – список, позволяющий включать или отключать учета преобразования частоты, а также выбор вида преобразования; при выборе верхнего или нижнего гетеродина (формулы для определения промежуточной частоты на выходе ИУ приведены в ч. I настоящего РЭ, см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами) активируется поле «Частота гетеродина». Это необходимо для настройки радиотракта СК4 на приём частот ПЧ с выхода ИУ, а также корректного учёта калибровочных данных и значений ENR ГШ при расчёте трасс КП и КШ. Отображение трассы на диаграмме можно осуществить как на исходных частотах (входные частоты ИУ), так и на преобразованных (частоты ПЧ для ИУ, входные – для СК4) выбором соответствующего параметра в списке «Отображаемые частоты». При выборе пункта для фиксированной ПЧ можно измерять характеристики ИУ с перестраиваемым гетеродином (например, синтезатор частот Г7М) и фиксированной ПЧ на частотах входного сигнала, значение ПЧ при этом задается в поле «Фиксированная ПЧ». Для синхронной работы СК4 и синтезатора следует использовать систему цифровой синхронизации приборов (см. п. 7.11).
- «Частота гетеродина» – поле, в котором задается частота внешнего гетеродина, используемого совместно с исследуемым устройством; данная величина определяет диапазон ПЧ $f_{пч}$ на выходе ИУ,

$f_{\text{пч}} = f_{\text{гет-вход}}$.

- «Фиксированная ПЧ» – поле позволяет задать фиксированное значения ПЧ.
- «Отображаемые частоты» – выбор отображаемых частот на графике.

4.6.7 Панель «Функции трасс»

См. рисунок 4.17-в.

- «Накопление» – накопление максимумов, минимумов, либо отображение межкадровой статистики в точках трассы (для получения дополнительной информации см. п. 4.7.5).
- «Сглаживание» – управление функцией сглаживания данных трассы с заданием размера апертуры (для получения дополнительной информации см. п. 4.7.6).
- «Усреднение» – настройка функции математического межкадрового усреднения данных трассы; усреднение производится после поступления данных от измерений в измерительную трассу (т.е. проводится не в измерительном канале, см. рисунок 4.4) и применяется к конкретной измерительной трассе; другими словами относится к конечной обработке измерительных данных; для получения дополнительной информации см. п. 4.7.7.
- «Статистика» – включение и отключение отображения статистики трассы (для получения дополнительной информации см. 4.7.9).

Подробное описание вышеперечисленных функций содержится в п. 4.7.

4.6.8 Панель «Гетеродин»

См. рисунок 4.18-а.

- «Режим» – выбор режима управления гетеродином – ручной или автоматический.
- «Тип фазовых шумов» – позволяет выбрать режим работы гетеродина:
 - «Быстрая перестройка» – обеспечивает максимальную скорость перестройки при относительно высоком уровне фазового шума.
 - «Оптимизация ближней отстройки» – минимизирует уровень фазового шума на ближних отстройках.
 - «Оптимизация дальней отстройки» – минимизирует уровень фазового шума на дальних отстройках.

4.6.9 Панель «Ограничение»

См. рисунок 4.19-а.

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

Информация по использованию ограничительных линий приведена в п. 4.7.8.

4.6.10 Панель «Маркеры»

Содержит часто употребляемые свойства и функции для работы с маркерами (см. рисунок 4.19-б, полное описание приведено в п. 4.10):

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

4.6.11 Панель «Калибровка»

См. рисунок 4.18-б. Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Смещение преселектора» – позволяет регулировать положение преселектора при наличии постоянного смещения, приводящего к систематической ошибке по уровню. Значения смещения задаются в единицах кода цифро-аналогового преобразователя.
- «Автоподстройка уровня» – после запуска питания СК4 в нём с определённой периодичностью осуществляется автоматическая калибровка тракта ПЧ с помощью встроенного высокостабильного источника сигнала и последующая подстройка отображаемого уровня. Данным переключателем можно отключить эту функцию. Нажатием кнопки «Выполнить» можно однократно запустить процедуру калибровки.

4.6.12 Панель «Сервис»

Параметры панели «Сервис» необходимы для проведения различного рода испытаний СК4, а также отображают информацию о текущем состоянии аттенюаторов СВЧ и ПЧ трактов (см. рисунок 4.18-в.). Панель может содержать следующие элементы управления (конкретный набор элементов зависит от режима измерения):

- «Источник сигнала» – позволяет переключиться на внутренний опорный сигнал частотой 100 МГц.
- «Генератор шума» – включение питания ГШ на соответствующем выходе, расположенном на передней панели СК4. О включении питания ГШ сигнализирует расположенный рядом с соединителем светодиодный индикатор.
- «Ослабление РПТ» – отображает текущее суммарное ослабление СВЧ тракта.
- «Аттенюатор 1» ... «Аттенюатор 9» – отображают текущее ослабление секций аттенюаторов.

4.7 Трассы

В ПО *Graphit* существует 3 типа трасс:

- измерительная;
- трасса памяти;

- математическая трасса.

Измерительная трасса представляет собой графическое представление результатов измерений СК4. Источником данных трассы является «измерение» (о понятии «измерение» см. п. 4.1), которое, в свою очередь, является частью измерительного канала. Поэтому для назначения измерительной трассе её источника данных необходимо сначала выбрать канал (если он не единственный), а затем «измерение» и формат данных, используя панель инструментов «Источник данных» (рисунок 4.21), либо подменю трассы. Например, ПО *Graphit* в режиме АС содержит единственное «измерение» – «Мощность СВЧ», а в режиме ИКШ четыре – «КП», «КШ», «Мощность (ГШ вкл)» и «Мощность (ГШ выкл)».



Рисунок 4.21 – Панель инструментов «Источник данных»

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

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

Функции трасс – средства дополнительной обработки и анализа результатов измерений. Элементы управления функций трасс расположены на панелях управления, а также частично продублированы на панелях инструментов (рисунок 4.22) и в контекстном меню трассы для быстрого доступа.



Рисунок 4.22 – Панели инструментов «Функции трасс» и «Анализ данных»

Порядок обработки и форматирования данных трассы представлен на рисунке 4.4.

4.7.1 Создание, обновление и удаление трасс

Чтобы **создать измерительную трассу**, следует в контекстном меню области отображения трасс выбрать соответствующий пункт (рисунок 4.5) или использовать комбинации клавиш «**Ctrl+N**». Затем в контекстном меню со-

зданной трассы или в панелях управления и инструментов задать необходимые параметры.

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

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

Чтобы **создать математическую трассу**, следует в контекстном меню диаграммы выбрать соответствующий пункт (рисунок 4.5) или использовать комбинацию клавиш «**Ctrl+M**». Далее, используя пункт меню «Настройка выражения...» созданной трассы (рисунок 4.6-в), открыть окно настройки операндов и математической операции над ними (рисунок 4.23).

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

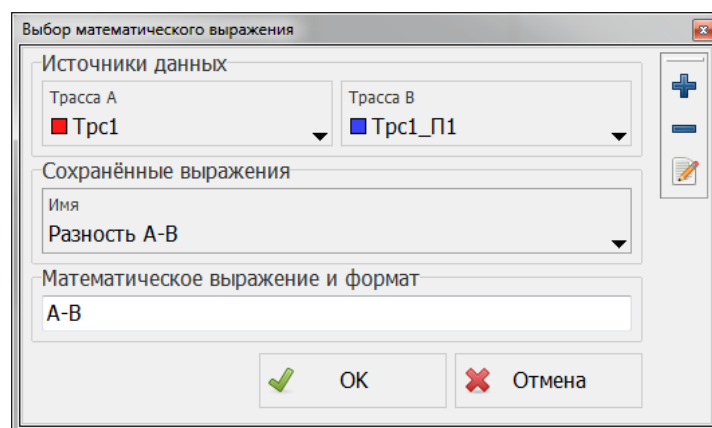


Рисунок 4.23 – Окно «Выбор математического выражения»

Кнопки на панели справа позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 4.24), или удалить выражение из списка сохранённых. В случае, когда источником данных является измерение с комплексным форматом данных (например, $S11$), редактирование выражений недоступно.

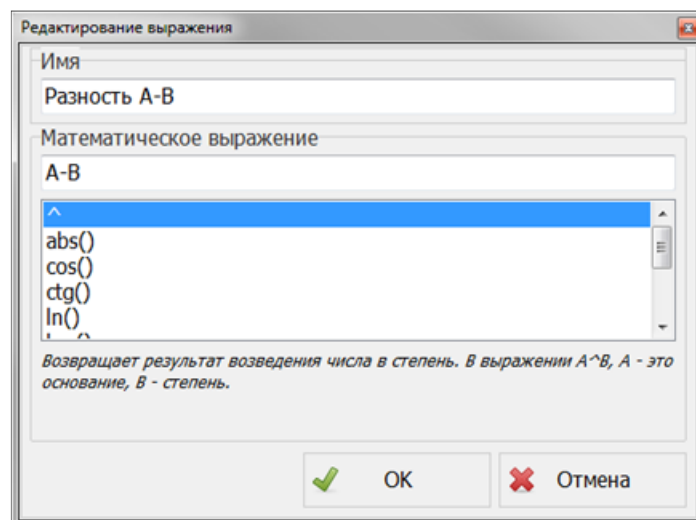


Рисунок 4.24 – Редактирование математического выражения

Удаление трассы осуществляется с помощью выбора пункта «Удалить» в контекстном меню удаляемой трассы (рисунки 4.6), либо выделением трассы и нажатием клавиши «**Del**».

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

4.7.2 Сохранение и загрузка трасс

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

В выбранный текстовый файл с расширениями *tr* или *csv* сохраняются форматированные данные – последовательность пар чисел. Каждая пара – это соответствующие одной точке трассы значения по осям абсцисс и ординат. Данный вариант экспорта данных рекомендуется использовать при необходимости импортировать значения в приложения для работы с таблицами или вычислениями.

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

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

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

(*enr, ngd*) и др. через меню диаграммы пользователю может быть предложено выбрать измерение для привязки создаваемой трассы памяти (рисунок 4.25). Это необходимо для того, чтобы корректно сопоставить формат данных файла и измерения трассы. Если не было произведено подключение к СК4 или эмулятору, то никакие трассы отображаться не будут, т.к. не определена ось абсцисс.

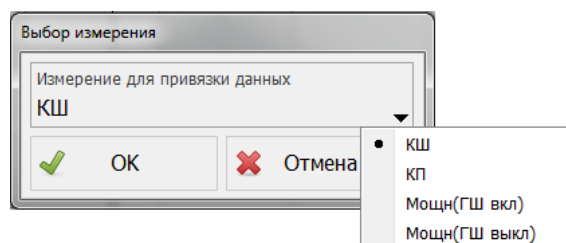


Рисунок 4.25 – Выбор измерения при загрузке данных из файла

4.7.3 Формат отображения

Выбор формата отображаемых в трассе значений производится при помощи подменю «Формат» контекстного меню трассы (рисунок 4.6), либо на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 4.21) или панели управления «Масштаб» (рисунок 4.26). В режиме «СК4М. Анализатор спектра» переключение формата отображаемых данных сводится не только к изменению единиц измерения мощности (мВт, дБм, мкВ, дБмкВ и других), а также для включения альтернативных режимов представления данных – «Люминофор» (англ. «phosphor», спектр с постепенным фоновым затуханием), «Тепловая карта» (англ. «heatmap», выделение частоты появления спектральных составляющих цветом) и «Спектрограмма» (подробнее в п. 5.1.3).

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

4.7.4 Масштабирование трасс и настройка осей

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

Опорные уровни трасс отображаются на графиках пунктирными горизонтальными линиями с треугольниками на концах. Цвет пунктирной линии и треугольников совпадает с цветом трассы. Можно переместить мышью треугольник и, тем самым, изменить позицию опорного уровня (от 0 до 10, где 0 – нижнее положение). На область отображения трасс нанесена координатная сетка 10×10 делений, шаг сетки по вертикали задаётся параметром «Масштаб, ед/дел (или «Минимум»)» на панели управления «Масштаб» (рисунок 4.26).

Переключатель «Режим масштаба максимум/минимум» (рисунок 4.26) во

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

- ❗ Пункт меню трассы **«Автомасштаб»** или нажатие клавиши **«А»** (латиница) позволят подобрать масштаб и опорный уровень выделенной трассы так, чтобы она занимала большую часть области построения трасс. Если предварительно выделить несколько трасс, то для них будет выбран одинаковый масштаб.
- ❗ **«Автомасштаб диаграммы»** выполняет аналогичное действие для всех отображаемых трасс на диаграмме (комбинация клавиш **«Ctrl+*»**). Данные функции также доступны на панели инструментов **«Отображение трасс»** (рисунок 4.27).

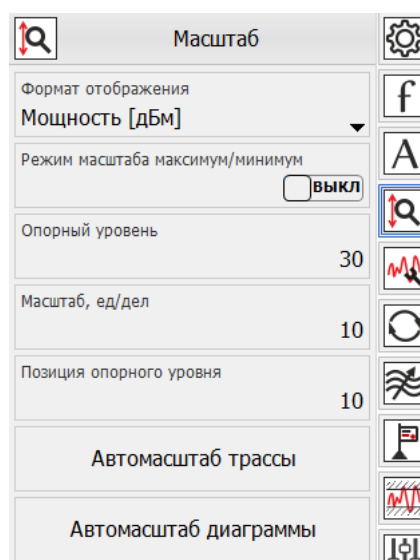


Рисунок 4.26 – Панель управления «Масштаб»



Рисунок 4.27 – 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, чего нельзя сказать о масштабе по горизонтали. **По горизонтальной оси** по умолчанию откладываются значения диапазона измерительного канала (например значения частот из диапазона сканирования), к которому относится «измерение» выделенной трассы. Дополнительные **подписи нижней оси** включаются в меню диаграммы («Вид > Подпись нижней оси», клавишей «F9»). Для частотных характеристик, не включающих в себя абсциссу 0 Гц, можно использовать **логарифмическую шкалу нижней оси** («Вид > Логарифмическая шкала X» в меню диаграммы). «Логарифмическая шкала Y» может быть использована для более информативного просмотра графиков величин в линейных единицах измерения (например, мВт, мВ).

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.

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. После отжимания кнопки мыши производится масштабирование осей по заданным (очерченным) границам.

Результат масштабирования осей зависит от направления движения мыши при выделении:

- «вправо-вниз» на диаграмме рисуется прямоугольник, как показано на рисунке 4.28-А. После отжимания кнопки мыши изменяется вертикальный масштаб выделенных трасс и изменяется диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вниз» рисуются горизонтальные линии выделения по всей ширине диаграммы (рисунок 4.28-Б). После отжимания кнопки мыши изменяется только вертикальный масштаб выделенных трасс.
- «вправо-вверх» рисуются вертикальные линии выделения по всей высоте диаграммы (рисунок 4.28-В). После отжимания кнопки мыши изменяется только диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вверх» отменяется последнее масштабирование

(рисунок 4.28-Г). Можно последовательно отменить несколько операций масштабирования, если между ними не использовались функции «автомасштаба».

Существует возможность сдвинуть диапазон сканирования. Для этого следует взять манипулятором мышь горизонтальную шкалу и переместить в нужном направлении, как показано на рисунке 4.29.

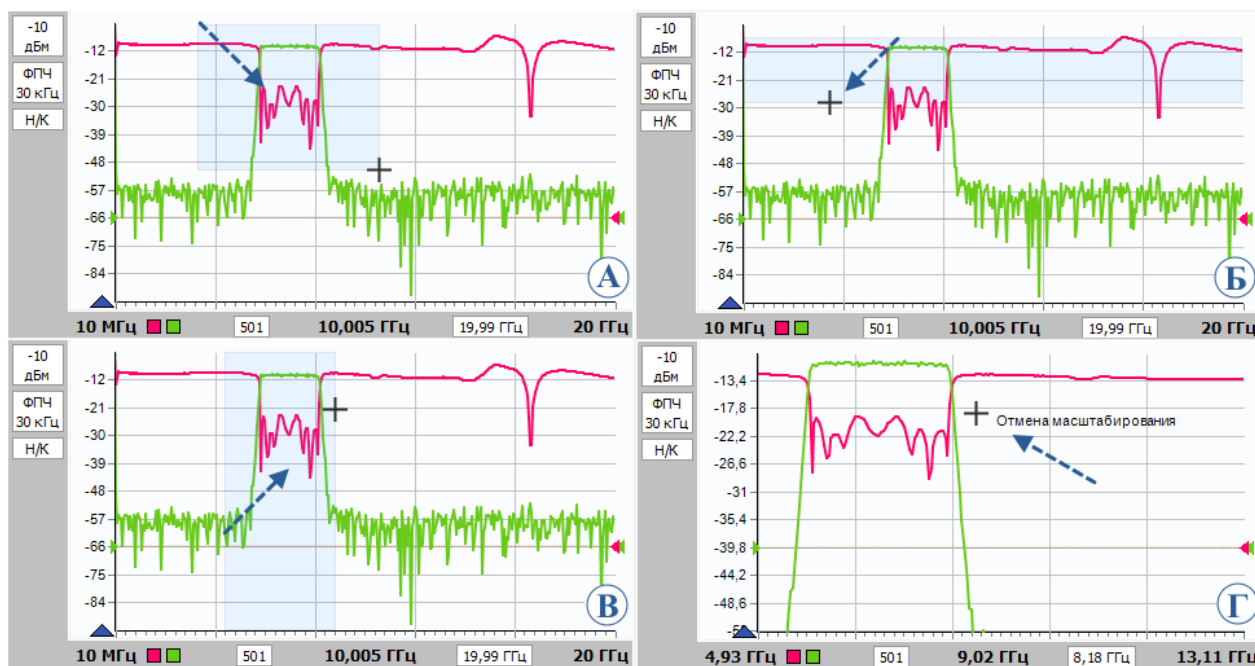


Рисунок 4.28 – Варианты графического задания масштаба и диапазона

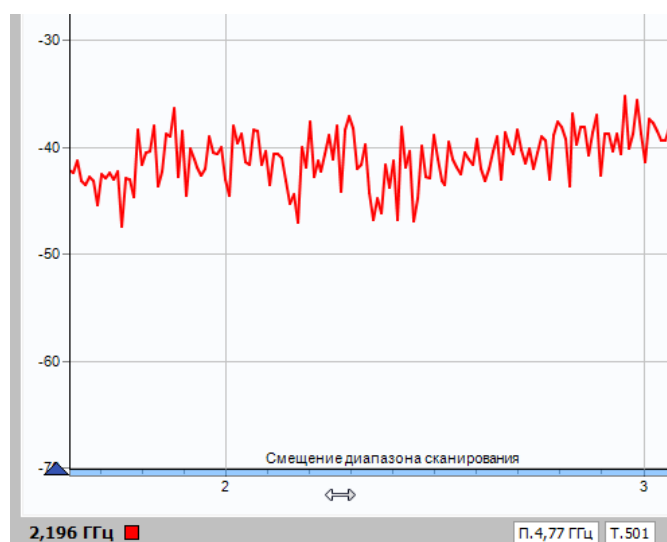


Рисунок 4.29 – Смещение диапазона сканирования

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

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

4.7.5 Накопление

Накопление минимальных, максимальных значений или отображение межкадровой статистики трассы включается нажатием кнопки со списком  на панели инструментов «Функции трасс» и выбором из соответствующего пункта из списка. Вместо измеренных значений в каждой точке трассы будут отображаться максимум, минимум, среднее значение, дисперсия или среднеквадратичное отклонение (СКО) значений, накопленных за истекшие кадры (циклы измерений). Если необходимо совместно отображать измеряемые и накопленные значения, следует создать дополнительную измерительную трассу. Крайняя правая кнопка  на панели инструментов «Функции трасс» позволяет сбросить накопленные данные и начать процесс накопления заново. Существует возможность управления функцией накопления с панели управления «Функции трасс» (рисунок 4.30), либо из контекстного меню трассы.

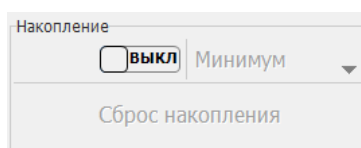


Рисунок 4.30 – Управление накоплением с панели управления «Функции трасс»

4.7.6 Сглаживание

Сглаживание трассы включается кнопкой  на панели инструментов «Функции трасс» (рисунок 4.22), либо на панели управления «Функции трасс». Поле ввода с регулировкой значения 5% задаёт размер апертуры сглаживания в процентах от количества точек в трассе:

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

где $N + 1$ – размер апертуры;

Количество точек задаётся на панели управления «Частота».

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

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

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 и видеофильтр (рисунок 4.31).

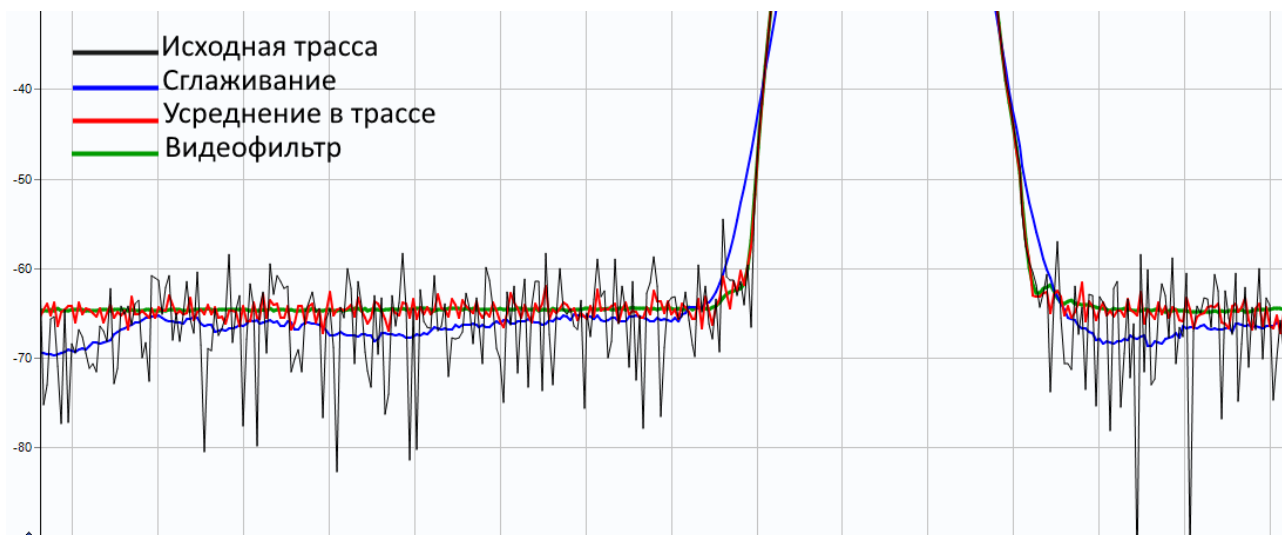


Рисунок 4.31 – Сглаживание и усреднение трасс

Уменьшение дисперсии шума видеофильтром снижает скорость измерений. Усреднение в трассе (пункт 4.7.7) производится в линейном формате 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.

4.7.7 Усреднение

Для уменьшения дисперсии отображаемого шума (рисунок 4.31) можно использовать межкадровое усреднение данных трассы. Межкадровое усреднение производится в значениях линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей) независимо от того, в каком формате отображаются данные. В этом смысле межкадровое усреднение работает аналогично детектору отображения и видеофильтру (см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами ч. I настоящего РЭ для режима «СК4М. Анализатор спектра»). Функция включается либо

в меню трассы, либо на панели инструментов при помощи кнопки , либо на панели управления «Функции трасс» (рисунок 4.32). Поле ввода «Коэффициент усреднения» задаёт число кадров усреднения K ; при $K > 1$ вместо результатов измерений отображаются средние значения в каждой частотной точке, вычисленные по формуле:

$$S'_i = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot S_i + \frac{k-1}{k} \cdot S'_{i-1}, & k < K \\ \frac{1}{K} \cdot S_i + \frac{K-1}{K} \cdot S'_{i-1}, & k \geq K \end{cases}, \quad (3)$$

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

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

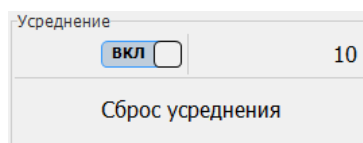


Рисунок 4.32 – Управление усреднением с панели управления «Функции трасс»

4.7.8 Ограничительные линии

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

Редактирование линий вызывается кнопками «Верхняя огр.линия...» или «Нижняя огр.линия...» на панели управления «Ограничение» (рисунок 4.19-а) или соответствующими кнопками на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 4.22).

Ограничительные линии задаются отрезками в диалоговом окне (рисунок 4.33).

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

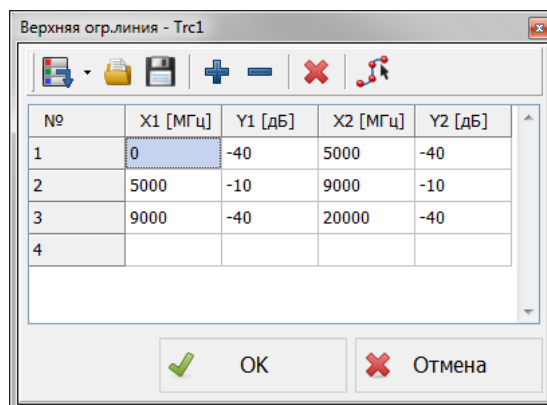


Рисунок 4.33 – Окно табличного задания ограничительной линии

При нажатии на кнопку  управление ограничительными линиями переходит в **режим графического редактирования**, в котором точки линий задаются нажатием мыши на диаграмме, при этом отображение таблицы временно блокируется (рисунок 4.34). В режиме графического редактирования кнопкой  включается режим добавления точек, кнопкой  – режим удаления: при нажатии левой кнопки мыши удаление точек (узлов), а правой кнопки мыши – разрыв линии между соседними точками. Значок перекрестия  включает режим перемещения точек, при этом предыдущий вариант ограничительной линии (табличный) на диаграмме отображается тонкой штрихованной линией, а фактическая линия крупным пунктиром. Чтобы переместить точку, нужно нажать на неё (выбранная для перемещения точка становится более крупной) и, не отпуская левую кнопку мыши, переместить в желаемую область диаграммы. Кнопка  очищает нарисованные отрезки. При повторном нажатии кнопки  режим графического редактирования завершается, а координаты точек заносятся в таблицу.

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

Переключатель «Тестирование» на панели управления «Ограничение» (рисунок 4.19-а) или кнопка на панели инструментов включают проверку на пересечение трассой ограничительных линий. Результат проверки отображается на диаграмме, как показано на рисунке 4.35. 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 СК4, избав-

для пользователя от необходимости редактирования всей таблицы ограничительной линии. Аналогичная функция также продублирована для нижней ограничительной линии.

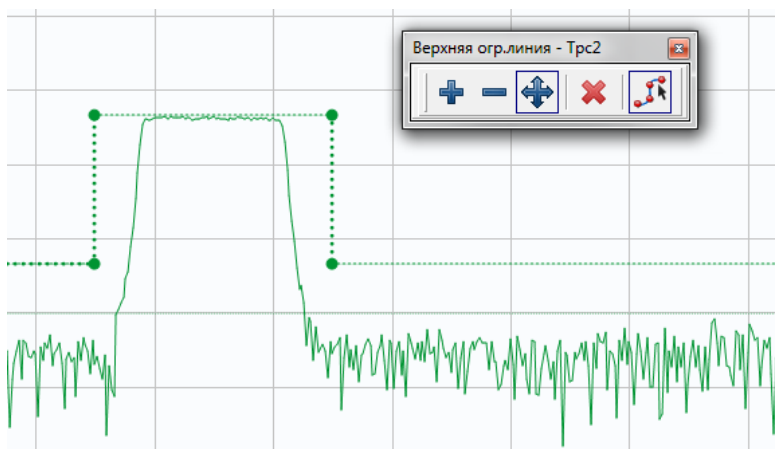


Рисунок 4.34 – Режим графического редактирования ограничительной линии

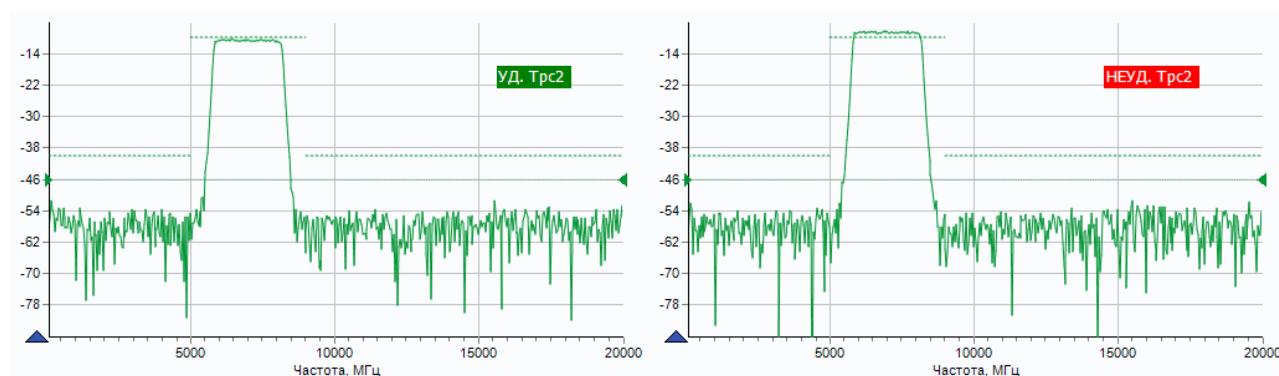


Рисунок 4.35 – Проверка ограничительными линиями

4.7.9 Статистика

Функция «Статистика» вычисляет и отображает статистические характеристики числовой выборки, составленной из отображаемых точек трассы. Результаты расчётов выводятся в области построения трасс, как показано на рисунке 4.36.

 Следует обратить внимание, что описанная функция дает оценку статистических моментов общую для всех точек по горизонтальной оси; ее можно использовать для оценки статистик конкретной точки по горизонтали лишь при нулевой полосе обзора и большом количестве точек (при этом измерение в каждой точке будет представлять, по сути, измерение на одной и той же точке по горизонтали, но в разные моменты

времени). Чтобы получить статистики для нескольких точек по горизонтали, следует использовать «Накопление» (см. п. 4.7.5), либо маркеры с включенным свойством «Статистика» (см. п. 4.10.2).



Отображение статистических данных включается и выключается кнопкой на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 4.22). Текст со статистическими данными может быть перемещён мышью в пределах области построения трасс в более удобное для пользователя положение.



Рисунок 4.36 – Отображение статистики трассы

4.8 Запуск и остановка измерений

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

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

Элемент управления	Непрерывные измерения	Одиночное измерение
Кнопка панели инструментов	 подменю «непрерывный»	 подменю «одиночный»

Элемент управления	Непрерывные измерения	Одиночное измерение
Пункт меню «Управление» (см. рисунок 4.37)	«Измерение»	«Измерение (x1)»
«Горячая» клавиша	F5	Alt+F5

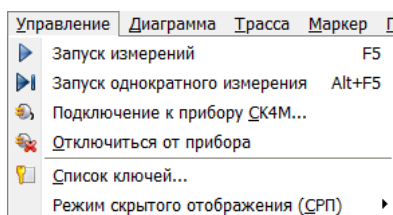


Рисунок 4.37 – Меню «Управление»

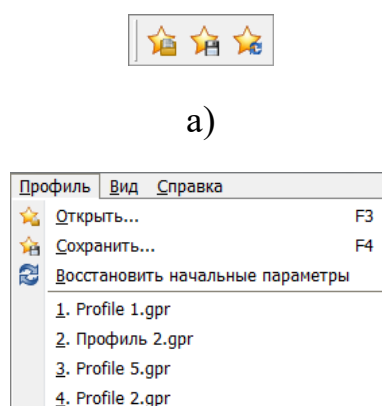
4.9 Использование профилей пользователя

Процесс измерений обычно сопровождается заданием множества параметров. При завершении ПО *Graphit* текущие значения всех параметров диаграмм, трасс, маркеров, а также настройки измерения сохраняются на диск. При старте ПО *Graphit* все сохранённые параметры восстанавливаются.

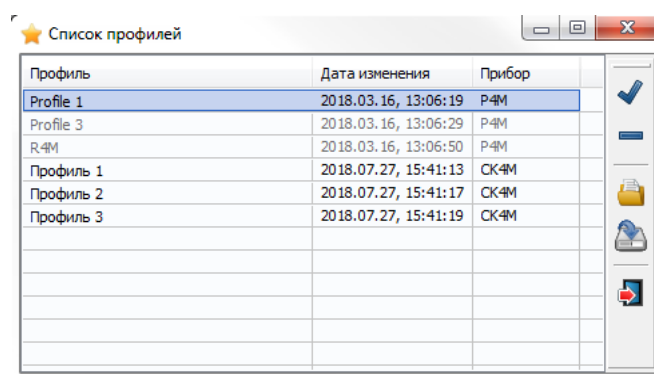
Существует возможность сохранения параметров в отдельный файл, называемый профилем. На рисунке 4.38 изображены панель инструментов «Профили», меню «Профиль» и окно «Список профилей», позволяющие загрузить параметры из профиля, сохранить параметры в профиль или восстановить исходные значения всех параметров. В меню «Профиль» дополнительно отображаются ссылки на недавно использованные профили.

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

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



а)



в)

Рисунок 4.38 – Элементы управления профилями: а) панель инструментов; б) главное меню; в) окно со списком

- ❗ Утилита *FlushGPR.exe*, находящаяся в директории с установленной программой, позволяет удалять или экспортировать текущие настройки ПО Graphit (рисунок 4.39, перед удалением необходимо выбрать соответствующий тип прибора) в случае сбоя в процессе его загрузки.

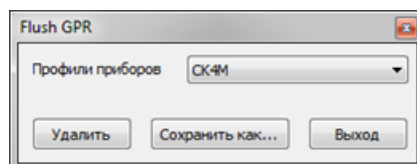


Рисунок 4.39 – Окно утилиты *Flush GPR*

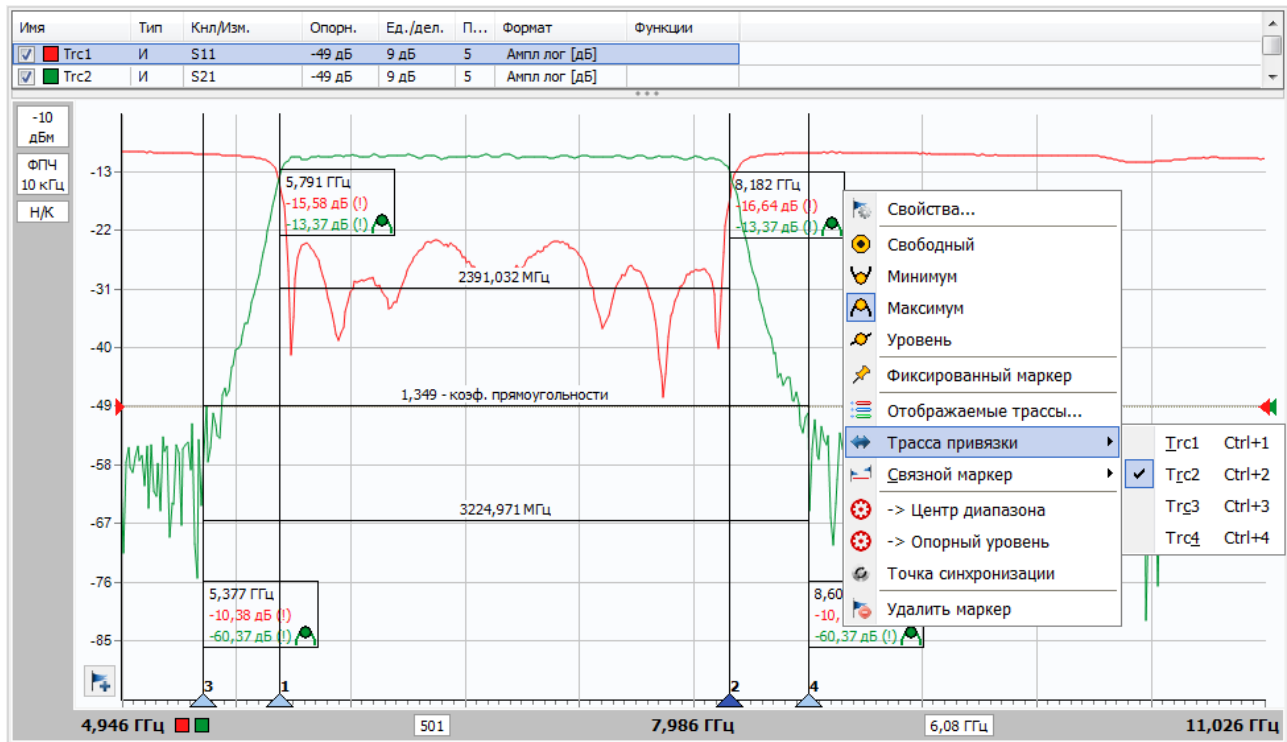
4.10 Маркерные измерения

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

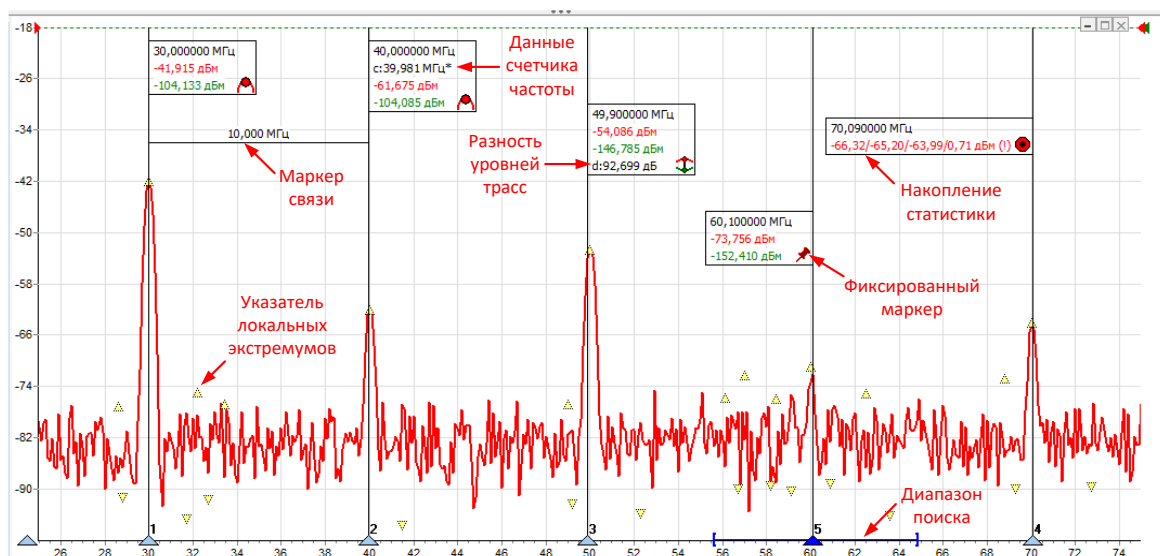
кая именно точка трассы будет отображена маркером, зависит от типа и параметров маркера. Для своевременного обновления отображаемой информации и/или поиска по заданному критерию точек на трассе в маркерах задаётся привязка (соответствие) к одной трассе (такая трасса называется «Трасса привязки»); тем не менее, отображать значения в маркере можно для множества трасс.

Маркеры отображаются в виде треугольника с номером на нижней оси графика, вертикальной линии и окна индикации (рисунок 4.40). Если маркер не активен, то отображается только треугольник с номером. Между двумя маркерами может отображаться связь – горизонтальная черта с текстом над ней, называемая **связным маркером**. Связные маркеры служат для расчёта и отображения дополнительных параметров исследуемых устройств.

На рисунке 4.41 представлены окна индикации маркеров. Чёрным шрифтом (в теме оформления «Графит» – белым) отображается значение частоты маркера («Задающее воздействие»). Цветным шрифтом отображаются значения соответствующих (по цвету) трасс на частоте маркера. При включённой в маркере статистике (рисунок 4.41-б) вместо одного значения отклика трассы отображаются четыре в виде «минимальное значение/среднее/максимальное значение/среднеквадратическое отклонение», что также применяется и к записи частоты, если маркер находится не в режиме «Свободный» (см. подробнее в п. 4.10.2). В частности, среднее значение считывается из второй позиции.

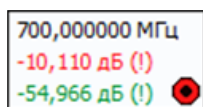


а)

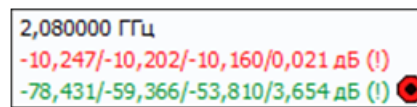


б)

Рисунок 4.40 – Использование маркеров



а)



б)

Рисунок 4.41 – Окна индикации маркеров: а) с выключенной статистикой; б) с включённой статистикой

4.10.1 Добавление и удаление маркеров

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

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

Параметры маркеров сохраняются в профиле и восстанавливаются при старте ПО *Graphit* или при загрузке профиля. Кроме того, существует возможность сохранить конфигурацию (так называемый **шаблон маркеров**) в отдельный файл, выбрав пункт меню диаграммы «Маркеры > Сохранить...» (рисунок 4.42), а также загрузить её, используя пункт меню «Маркеры > Загрузить...».

При выборе пункта меню диаграммы «Маркеры > **Компактный режим отображения**» маркеры будут отображаться, как показано на рисунке 4.42, без окна индикации. Данный режим удобен в случае отображения большого количества трасс на диаграмме (тогда значения маркеров отображаются только для выделенной трассы в виде таблицы в верхнем левом углу окна), либо при небольших размерах окна ПО *Graphit*. Свойство «**Крупный шрифт**» увеличивает размер шрифта отображаемых числовых значений в маркерах.

Функция «Поиск гармоник...» (рисунок 4.42) предназначена для автоматического выделения локальных максимумов (гармоник) в спектре с заданным допуском (рисунок 4.43) и последующей привязки маркеров в режиме слежения к найденным экстремумам (см. пункт 4.10.3). В качестве значения допуска амплитуды по умолчанию при первом использовании функции используется значение, равное $1,645 \cdot \text{СКО}$, что обеспечивает наибольшую выборку сигналов при нормальной плотности распределения шума. Необходимо заме-

тить, что настройка существующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

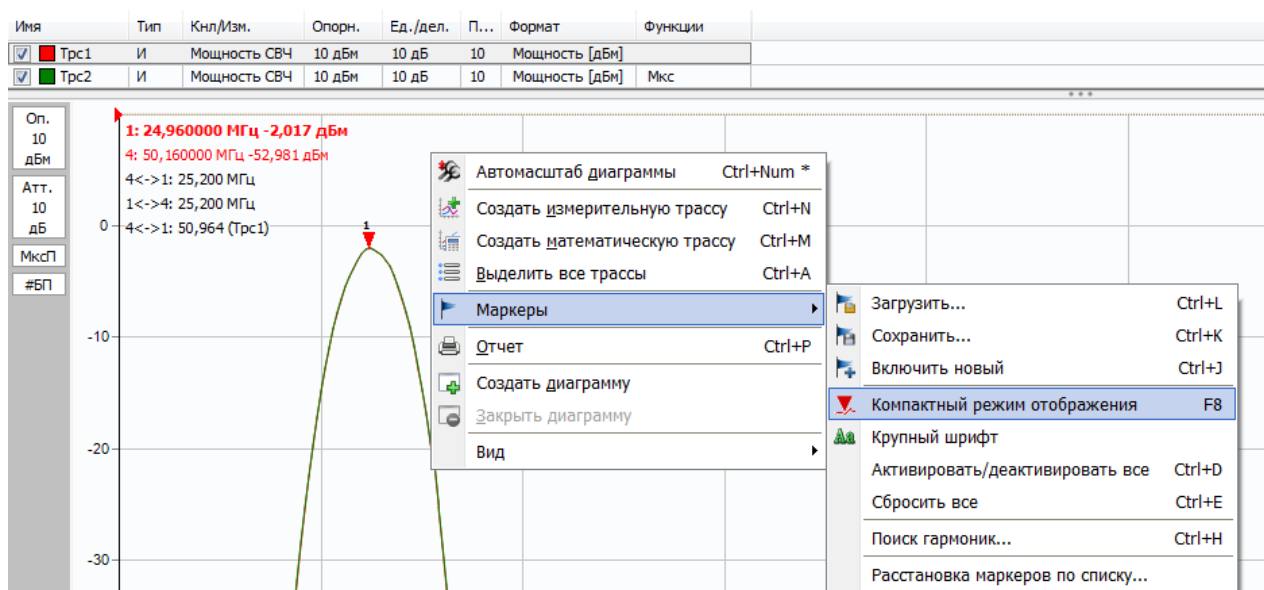


Рисунок 4.42 – Компактный режим отображения маркера

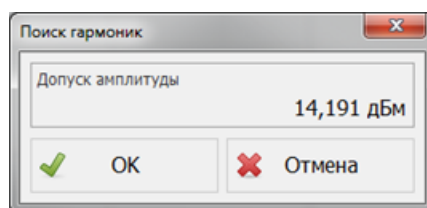


Рисунок 4.43 – Поиск гармоник

Функция «Расстановка маркеров по списку...» (рисунок 4.42) позволяет пользователю расположить маркеры на диаграмме в соответствии с заранее созданным списком частот, загрузив его из файла или создав непосредственно в таблице (рисунок 4.44). Необходимо заметить, что настройка существующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

После нажатия кнопки «Далее» необходимо выбрать трассы, значения которых будут отображаться в маркерах (рисунок 4.46).

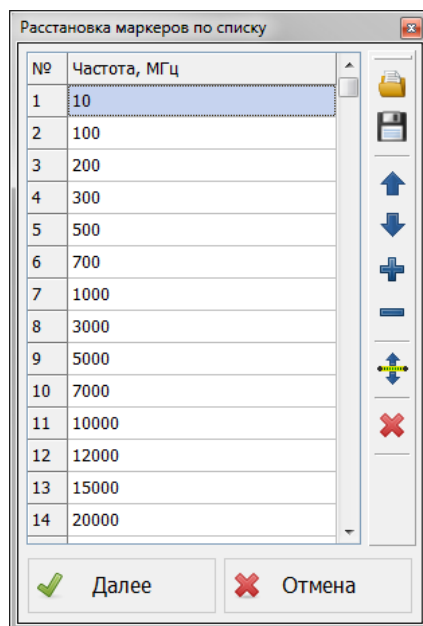


Рисунок 4.44 – Расстановка маркеров по списку частот

4.10.2 Настройка параметров маркера

На рисунке 4.45 показано контекстное меню маркера, появляющееся после щелчка правой кнопки мыши по номеру маркера или по окну индикации маркера; на рисунке 4.19-б – соответствующая панель управления, содержащая наиболее часто используемые функции и настройки маркеров. Пункт меню «Свойства...» и кнопка панели управления «Все свойства...» вызывают окно, содержащее полный набор параметров маркера (рисунок 4.47).

Из отображаемых значений в маркере можно исключить (или добавить) данные тех или иных трасс. Для этого достаточно изменить состояние флажков в соответствующем окне (рисунок 4.46), используя пункт меню «**Отображаемые трассы...**». Отобразить или скрыть все трассы можно при помощи переключателя, расположенного под списком. Заблокированные записи данного списка означают, что трасса выключена, либо имеет отличный от трассы привязки диапазон нижней оси. При включённой настройке «**Отображать новые трассы**» во всех маркерах диаграммы будут автоматически добавляться значения создаваемых трасс.

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

Выбор пункта меню маркера «-> **Центр диапазона**» изменяет диапазон сканирования измерительного канала так, чтобы маркер оказался в середине диапазона. Диапазон сканирования изменяется только в измерительном канале, которому принадлежит трасса привязки маркера. Выбор пункта «-> **Опорный**

уровень» изменяет опорный уровень СК4 в соответствии со значением маркера (в частности, функция используется для маркера, настроенного на поиск максимального значения в трассе).

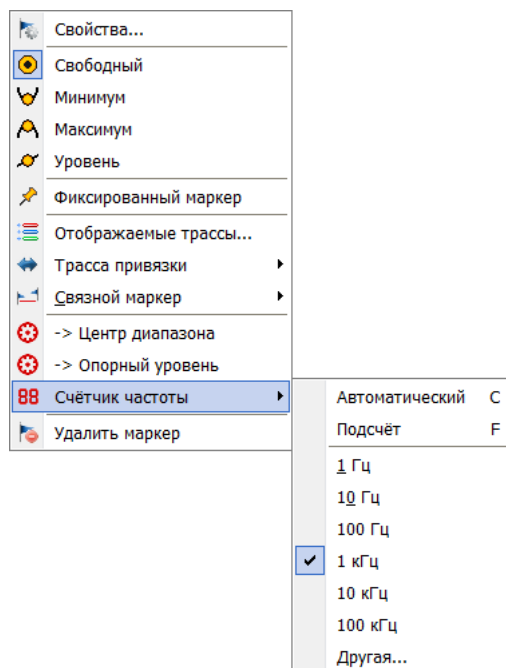


Рисунок 4.45 – Контекстное меню маркера

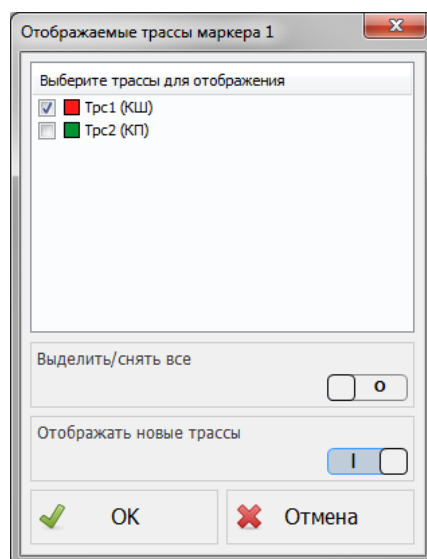


Рисунок 4.46 – Выбор отображаемых в маркере трасс

Функция «Счётчик частоты» служит для точного вычисления частоты сигнала на частоте установки маркера (аналог цифрового частотомера). При использовании этой функции происходит дополнительное измерение в некоторой окрестности частоты маркера (оцифровка и обработка сигнала ПЧ, вычисление частоты наибольшей по уровню гармоника). Измеренное значение выво-

дится в окне маркера ниже номинального значения частоты шкалы. Выполнить измерение частоты можно однократно (пункт «Подсчёт» или нажатие клавиши «F»), либо в каждом кадре (пункт «Автоматический» или нажатие клавиши «C»). Из списка можно выбрать требуемую точность определения частоты (1 Гц, 10 Гц и т.д.) или задать её вручную, нажав пункт «Другая...».

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

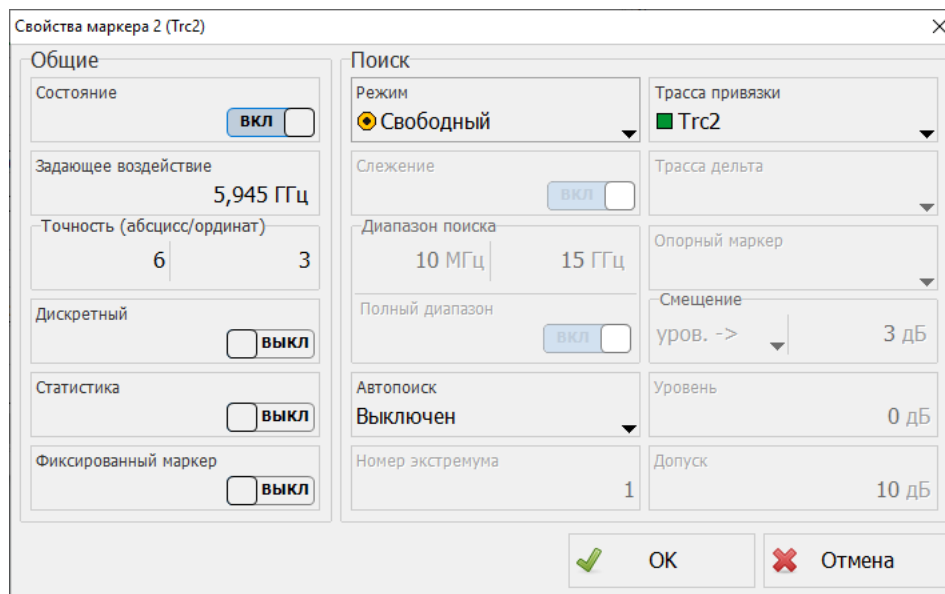


Рисунок 4.47 – Свойства маркера

Переключателем «Состояние» (рисунок 4.47) можно активировать или деактивировать выбранный маркер.

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

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

«Дискретный» маркер может быть установлен только в позиции, соответствующие точкам измерения в трассе привязки. При отключённом свойстве «Дискретный» (по умолчанию) промежуточные значения трасс рассчитываются методом линейной интерполяции и помечаются символом восклицательного знака (!) (рис. 4.48).

При включённом свойстве «Статистика» производится накопление данных в маркере от кадра к кадру, а вместо текущих значений задающего воздействия и отклика трасс отображаются их статистические показатели в формате

«минимальное значение/среднее/максимальное значение/среднеквадратическое отклонение». Сбросить и начать повторный набор статистики можно кликом по окну индикации или перемещением маркера (рекомендуется это делать при нажатой клавише «**Shift**», чтобы избежать смещения маркера по горизонтальной оси).

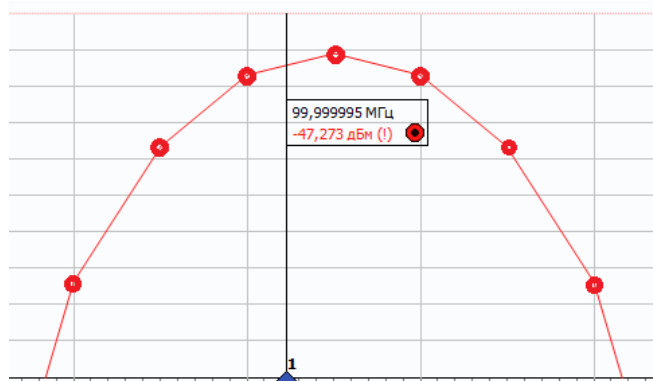


Рисунок 4.48 – Интерполяция при отображении значений в маркерах (красными точками на трассе показаны точки, в которых производилось измерение)

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

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

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

4.10.3 Режимы слежения маркера

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

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

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

Цвет значка соответствует цвету трассы привязки.

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

Следящие маркеры (режимы «минимум», «максимум», «уровень» и д. р.) от кадра к кадру меняют своё положение по горизонтальной оси – следят по заданному критерию. Для слежения используются значения одной или двух трасс, к которым привязан маркер. В окне «Свойства маркера» (см. рисунок 4.47) задаётся привязка к основной трассе («**Трасса привязки**») и дополнительной (так называемой «**Трассе дельта**»), а также выбирается режим слежения: поиск минимума, максимума, заданного значения в указанной трассе или разницы между трассами (дельта-измерения). Привязка маркера отображается и может быть изменена в контекстном меню маркера. Поиск точки, удовлетворяющей критерию, выполняется по всей трассе или в заданном диапазоне в зависимости от состояния переключателя «**Полный диапазон**». **Диапазон поиска**, ограниченный пользователем, обозначается на оси абсцисс в виде синего отрезка, ограниченного прямоугольными скобками (рисунок 4.51-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. В частности, это свойство позволяет контролировать уровни гармонических составляющих относительно несущей. Выбор типа смещения производится в выпадающем списке «**Смещение**» из значений «<- уров.», «уров. ->» (для смещения по уровню) и «<- поз.», «поз. ->» (для смещения на значение отстройки).

Например, на рисунке 4.40-а) маркеры 1 и 2 следят за уровнем меньше максимума на 3 дБ АЧХ полосового фильтра. Связь между маркерами 1 и 2 отображает полосу пропускания фильтра по уровню «-3 дБ». Маркеры 3 и 4 следят за уровнем меньше максимума на 50 дБ. В связи между маркерами 3 и 4 вычисляется отношение полосы между маркерами 3 и 4 к полосе между маркерами 1 и 2. В результате получаем коэффициент прямоугольности фильтра. А на рисунке 4.40-б) в связи между маркерами 1 и 2 вычисляется ширина полосы

между маркерами 1 и 2.

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

При выборе смещения маркера (рисунок 4.50, смещение равно 0 дБ) относительно найденного экстремума может возникнуть некоторый дополнительный сдвиг, обусловленный включённым свойством «Дискретный» (см. п. 4.10.2), которое блокирует установку маркера на позиции между точками измерения. Сдвиг и разница показаний маркеров будет тем больше, чем меньше установлено количество точек и круче частотная характеристика исследуемого устройства.

Параметры смещения также необходимы при использовании режима слежения «Дельта-маркер», в котором вместо экстремума трассы привязки объектом слежения является позиция так называемого **опорного маркера**. При изменении позиции опорного маркера вследствие действия пользователя или включённой функции слежения синхронно будет перемещаться и **дельта-маркер** (в соответствии с установленным типом и значением смещения). Данная функция может быть удобной при анализе АЧХ или спектра сигналов различных устройств. На рисунке 4.49 приведён пример использования двух дельта-маркеров 4 и 5 для расчёта полосы пропускания фильтра (по уровню минус 3 дБ) относительно центральной частоты, на которой установлен маркер 1 и являющийся опорным для маркеров 4 и 5.

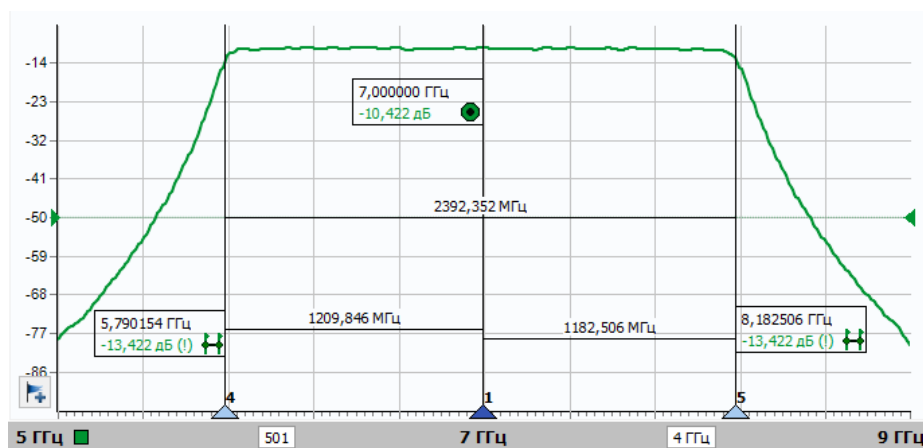


Рисунок 4.49 – Пример использования дельта-маркеров

Порядок настройки подобной конфигурации маркеров следующий:

- установить маркер на нужную центральную частоту (опорный маркер);
- добавить первый дельта-маркер, выбрав режим слежения «Дельта-маркер» в окне свойств (при этом качестве опорного автоматически выбирается первый включённый маркер диаграммы, при необходимости указать его вручную в соответствующем поле);

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. 4.10.4) между настраиваемым дельта-маркером и опорным);

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

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

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

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

При включении «**Автопоиска**» в окне «Свойства маркера» (значения «Локальный экстремум» или «Экстремум с номером») изменяется его поведение при перемещении мышью. Нажав левую кнопку мыши, можно подвести маркер к другому экстремуму и отжать кнопку – отпустить маркер. При перемещении маркера мышью на трассе появляются жёлтые треугольники, обозначающие локальные минимумы и максимумы, как показано на рисунке 4.51-б. После отпускания маркер найдёт ближайший к новому положению экстремум и, если включён режим слежения, перейдёт в режим слежения за ним. Следящий маркер при необходимости поменяет критерий слежения на поиск минимума или максимума, изменит диапазон поиска экстремума, чтобы исключить более значимые экстремумы, и продолжит слежение за экстремумом. Для перемещения маркера в режиме «Автопоиск» можно использовать клавиши «←», «→» на клавиатуре. Стрелка влево переместит к левому ближайшему экстремуму, стрелка вправо – к правому.

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

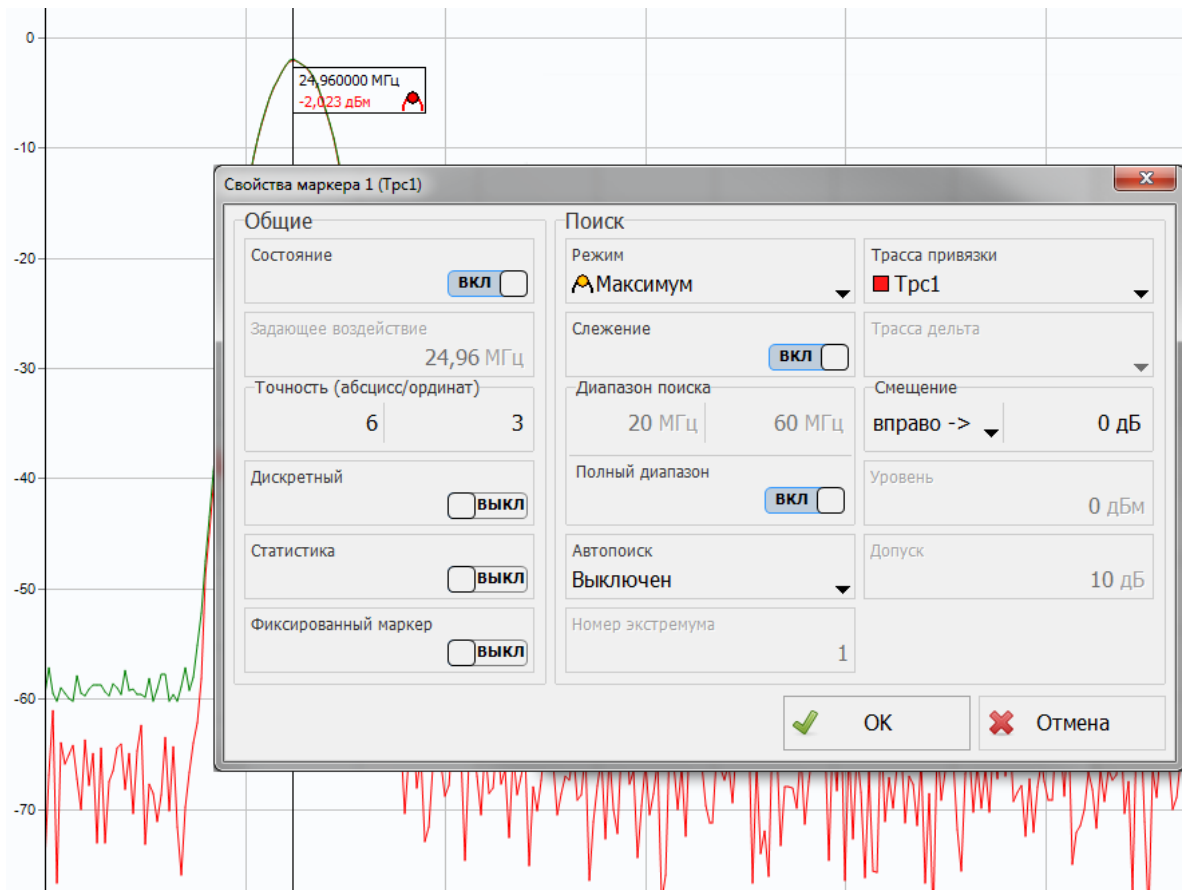
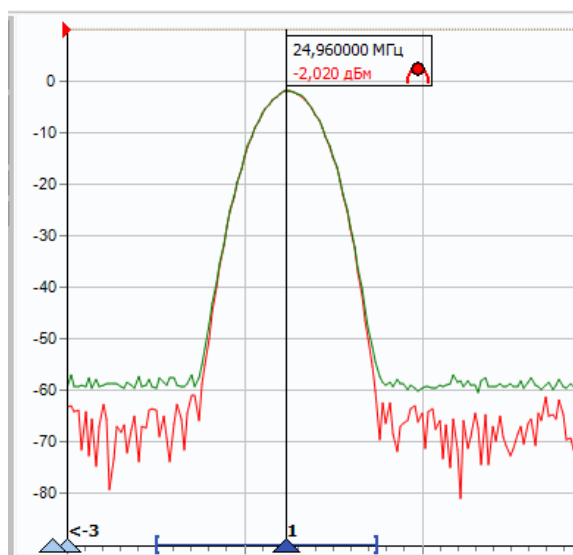
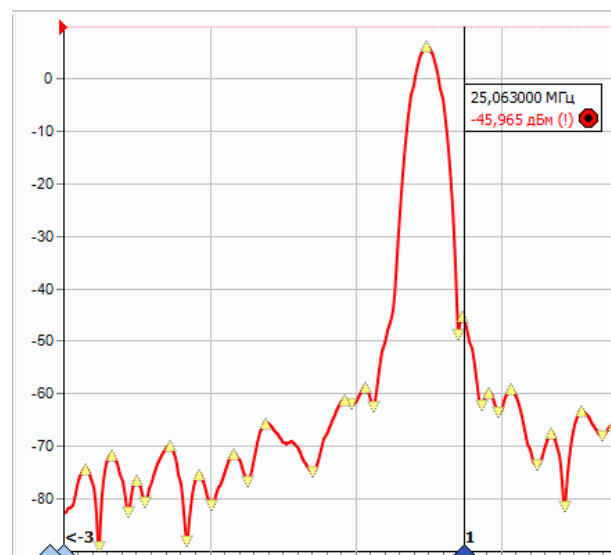


Рисунок 4.50 – Демонстрация особенностей работы маркера при поиске экстремума



а) следящий маркер



б) маркер в режиме «Автопоиск»

Рисунок 4.51 – Виды маркеров

4.10.4 Связные маркеры

Если нажать левую кнопку мыши над значком, обозначающим «Режим маркера», перевести курсор к другому маркеру и отпустить кнопку мыши, то создается связной маркер – горизонтальная черта (связь), показанная на рисунке 4.40, над которой отображается некоторое значение, которое по умолчанию соответствует разнице абсцисс связанных маркеров (шаблон «Полоса»). После щелчка правой кнопкой мыши по связи появляется контекстное меню (рисунок 4.52), позволяющее изменить свойства, скопировать значение, установить в качестве диапазона сканирования частоты связанных маркеров или удалить связной маркер.

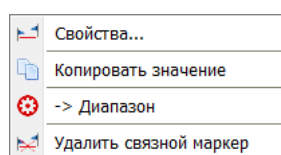


Рисунок 4.52 – Контекстное меню связных маркеров

Окно свойств связного маркера, приведённое на рисунке 4.53, позволяет задавать арифметическое выражение, вычисляющее отображаемое над связью значение.

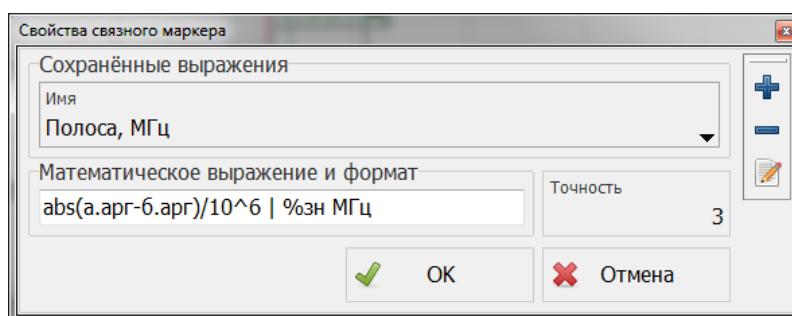


Рисунок 4.53 – Свойства связного маркера

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

Кнопки справа от списка позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 4.54), или удалить выражение из списка сохранённых.

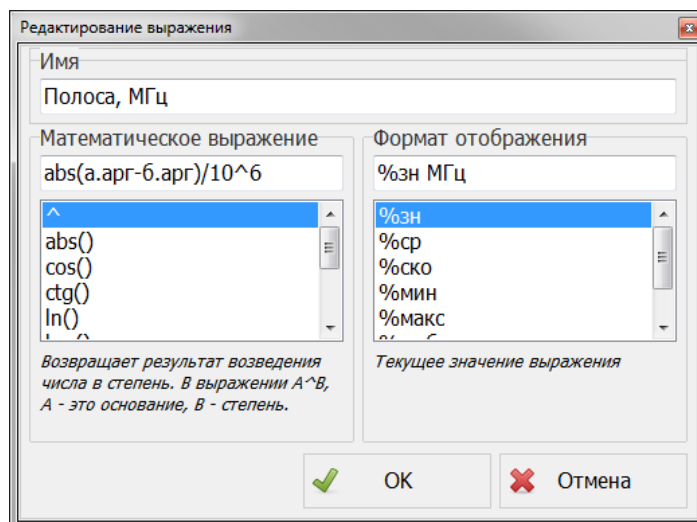


Рисунок 4.54 – Редактирование математического выражения

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

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

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

0-выражение.

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

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

В качестве операндов в выражении могут использоваться:

- численные константы (неотрицательные, дробная часть отделена

точкой);

- значения из связанных маркеров или любых других.

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

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

- `arg` — значение по оси абсцисс;
- `НазваниеТрассы` — значение по оси ординат из указанной трассы.

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

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

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

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

Рассмотрим несколько примеров арифметических выражений.

Пример 1: `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 абсолютное значение разности.

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

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

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

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

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

В этом примере накапливается и отображается статистика отличий значений в трассе «Trc1» от запомненного в трассе памяти «Pam1».

При помощи связанного маркера можно установить диапазон сканирования, выбрав команду «-> **Диапазон**» в контекстном меню связанного маркера (рисунок 4.52), при этом границы диапазона сканирования будут соответствовать абсциссам связанных маркеров.

4.11 Сохранение и загрузка результатов измерений, отчёты

Для сохранения результатов измерений существуют следующие возможности:

- сохранение трассы (см. п. 4.7.2);
- сохранение данных в формате согласно документу «Touchstone® File Format Specification» (см. Приложение А; доступно не для всех режимов);
- сохранение данных в формате csv;
- формирование и сохранение отчёта;
- сохранение профиля измерений (см. п. 4.9);
- сохранение изображений экрана.

Чтобы сохранить S2P- или S1P-файл, следует выбрать пункт «Сохранить данные» в меню диаграммы с дальнейшим выбором 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 файл записываются только значения КП) в формате, выбранном пользователем в окне «Сохранение данных» (рисунок 4.55).

- В отличие от сохранения трассы, в S2P-файл записываются значения с выходов «измерений» до обработки данных в трассе (рисунок 4.2), т.е. до преобразования к некоторому формату отображения и до каких-либо функциональных преобразований над трассами. «Измерения» для записи в качестве того или иного S-параметра выбираются автоматически. Если при сохранении S2P-

файла некоторые S-параметры отсутствуют, то вместо них записываются значения (-200 дБ, 0°). Если для некоторых S-параметров найдётся несколько подходящих «измерений», то пользователю будет предложен выбор. Данные трасс КИШ также могут быть сохранены в виде дополнительной таблицы в файлах S2P.

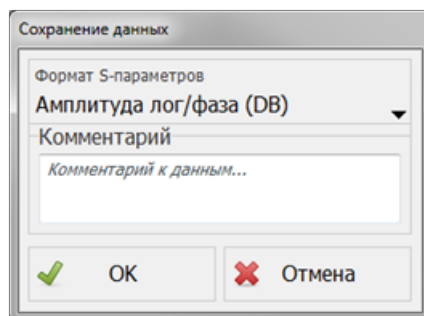


Рисунок 4.55 – Сохранение данных в формате *Touchstone®S1P/S2P*

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

Чтобы открыть (загрузить) S2P- или S1P-файл, следует выбрать пункт «Открыть данные...» в контекстном меню диаграммы и выбрать соответствующий файл. При чтении S2P-файла автоматически создаются трассы памяти и привязываются к первому измерительному каналу. Если измерительный канал не инициализирован (т.е. не было произведено подключение к СК4 или эмулятору), то никакие трассы отображаться не будут, т.к. не определена ось абсцисс. Другими словами, чтобы посмотреть S2P-файлы, необходимо подключение к СК4.

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 4.56) выбрать шаблон отчёта, настроить отображение маркеров и настроить печать. Флажок «Белый фон диаграммы» активен только для темы оформления «Графит».

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

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

Сохранение снимка экрана, а также отправку его по электронной почте, можно сделать с помощью соответствующего пункта меню согласно рисунку 4.59.

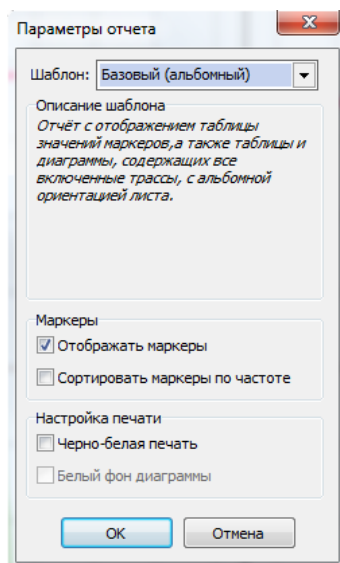


Рисунок 4.56 – Создание отчёта

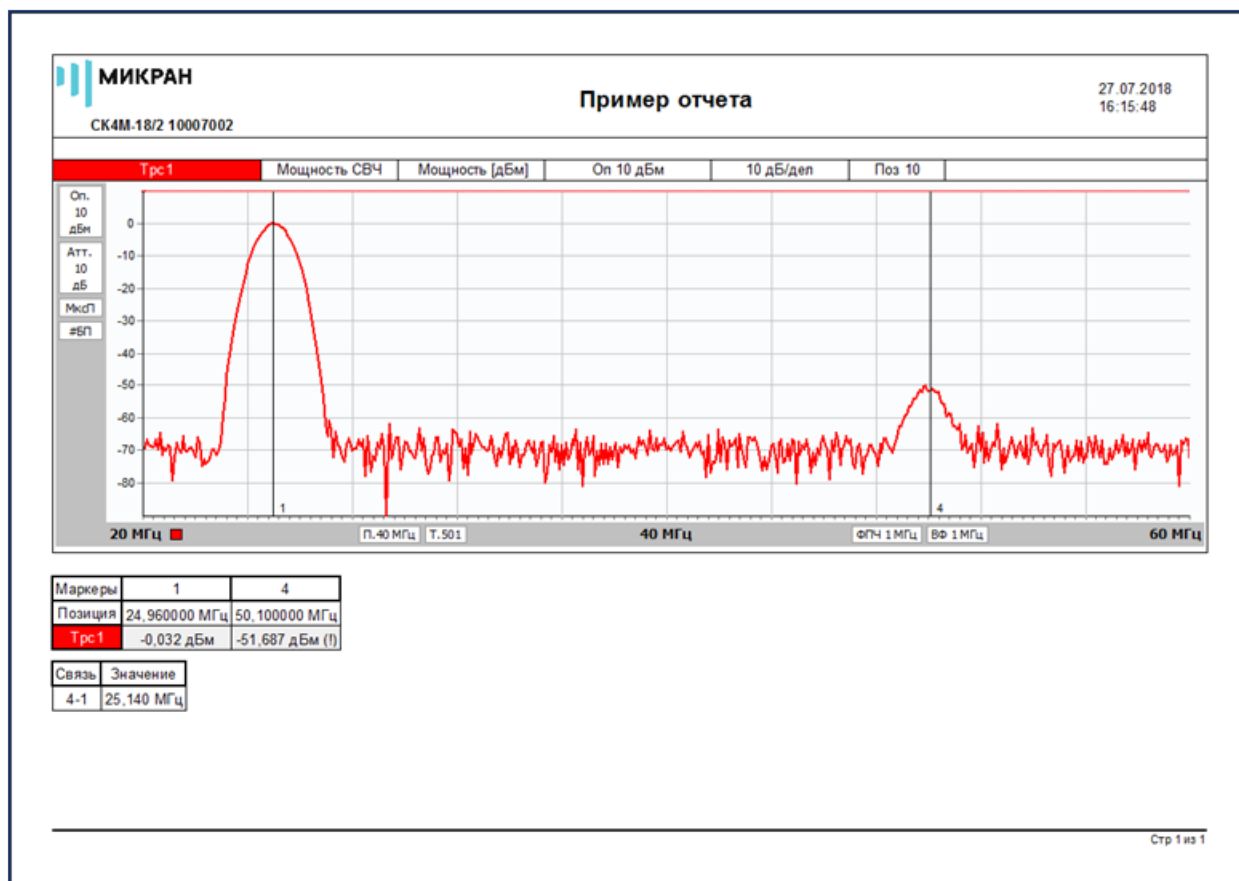


Рисунок 4.57 – Окно просмотра отчёта

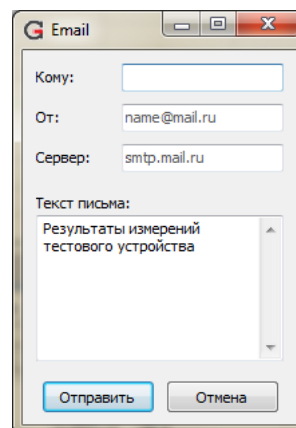
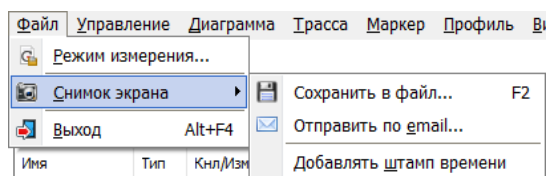


Рисунок 4.58 – Создание и отправка снимков экрана

4.12 Список «горячих» клавиш

Таблица 4.5 – Список «горячих» клавиш

Горячая клавиша	Функция
 Клавиша «Контекст»	Отобразить контекстное меню для выделенных трасс
Главное окно программы	
F1	Вызов справки
F2	Сохранение снимка окна программы в файл
F3	Открыть профиль пользователя
F4	Сохранить профиль пользователя
F5	Запуск измерения / повторить поиск приборов
F6	Запуск мастера калибровки (режим ИКШ) / запуск мастера градуировки (режим градуировки ГШ)
Alt + F4	Выход из программы
Alt + F5	Однократное измерение
Диаграммы	
F9	Показать/скрыть дополнительные подписи нижней оси
F10	Вызов меню главного окна (системная функция)
F11	Развернуть окно диаграммы
Отчеты	
CTRL + P	Отчёт
Список трасс	
Delete	Удаление выделенных трасс(-ы)

Ctrl + A	Выделить все трассы в списке
Ctrl + F	Сохранить данные трассы в файл
Ctrl + R	Запомнить текущую трассу (П)
Ctrl + M	Создать математическую трассу (М)
Ctrl + N	Создать измерительную трассу (И)
Ctrl + U	Обновить данные в трассе памяти
Ctrl + Z	Отмена последнего масштабирования
A	Автоматическое масштабирование выделенных трасс
Маркеры	
<i>Применяются к выделенному маркеру</i>	
C	Вкл./выкл. счётчика частоты
D	Вкл./выкл. дискретный режим
E	Вкл./выкл. режим автоонцапоиска экстремума
F	Однократный подсчёт частоты (для счётчика частоты)
T	Вкл./выкл. режим слежения
U	Обновление значений фиксированного маркера
V	Вкл./выкл. активный маркер
S	Вкл./выкл. статистики
Ctrl + (1~9)	Привязать маркер к соответствующей трассе
Стрелка влево	Перемещение влево к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
Стрелка вправо	Перемещение вправо к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
<i>Применяются ко всем маркерам</i>	
Ctrl+E	Сброс всех маркеров
Ctrl + L	Открыть профиль маркеров из файла
Ctrl + K	Сохранить профиль маркеров в файл
Ctrl + D	Активировать все маркеры на диаграмме (исключая припаркованные) / 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

<i>Ctrl + R</i>	Очистить список
<i>Список частот</i>	
<i>Ctrl + Up</i>	Сдвинуть строку вверх
<i>Ctrl + Down</i>	Сдвинуть строку вниз
<i>Ctrl + Ins</i>	Вставить строку
<i>Ctrl + Del</i>	Удалить строку

4.13 Сообщения для пользователя и журнал событий

В процессе работы СК4 в нём могут фиксироваться определённые события, о которых необходимо уведомлять пользователя (рисунок 4.59). К таким событиям относятся:

- операции, выполняемые СК4 автоматически (восстановление подключения и др.);
- определённые возможные события, влияющие на работу СК4 или правильность результата измерения (перегрузка, нарушение соединения, ожидание синхронизации и т.д.);
- ошибки и неисправности, приводящие к нарушению работы СК4 (отсутствие захвата гетеродина, различные нарушения передачи данных в измерительном блоке и т.п.).

Возникновение событий, имеющих, как правило, временный характер, сопровождается короткими текстовыми сообщениями, выводимыми в центре монитора. Сообщение о перегрузке СК4 появляется в верхней части вертикальной шкалы диаграммы в виде красного сигнализатора. При наведении курсора на индикатор появляется поясняющее сообщение. Кроме того, индикатор перегрузки расположен на передней панели СК4. Об отсутствии синхронизации опорного генератора СК4 от внешнего источника сигнализирует значок в статусной строке программы.

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

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

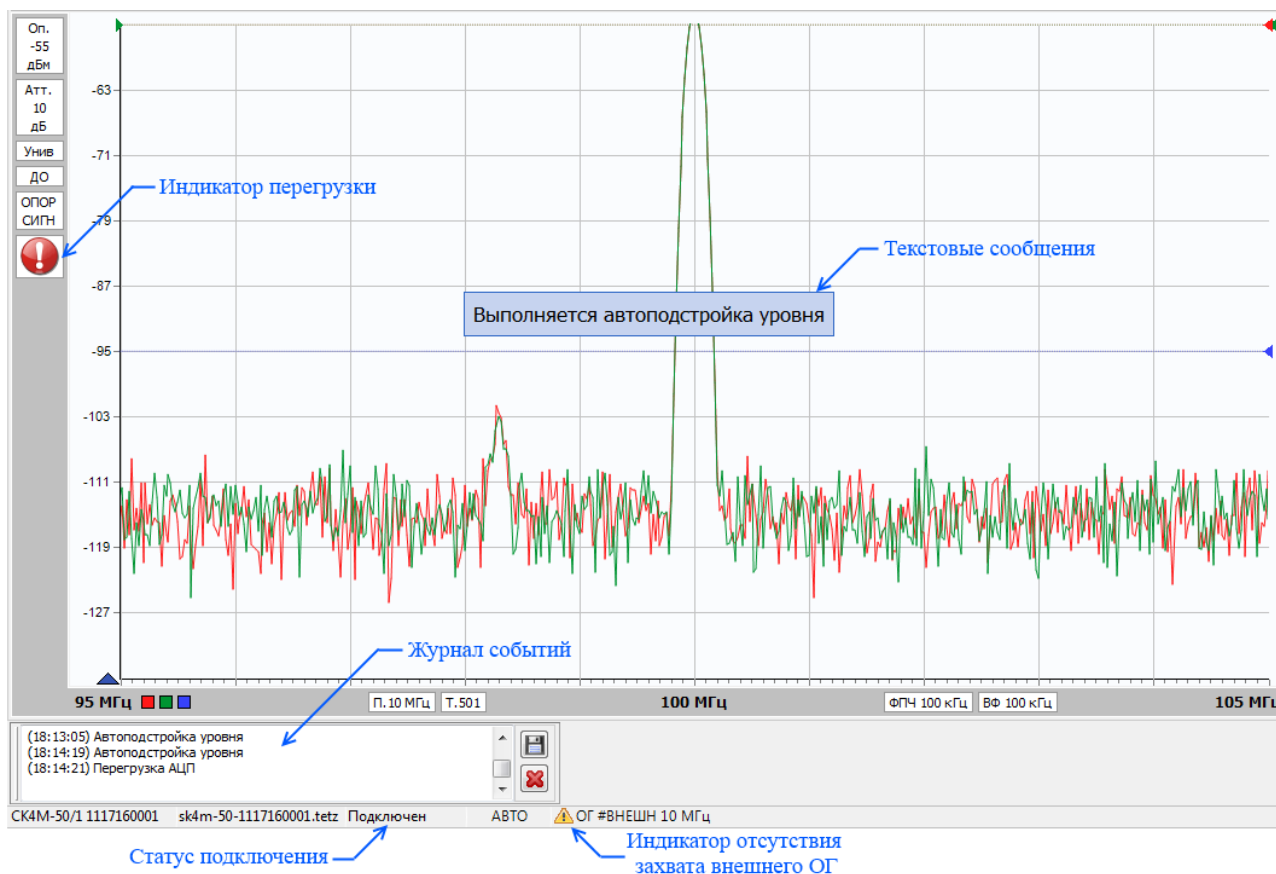


Рисунок 4.59 – Сообщения для пользователя (сообщения и индикаторы приведены исключительно для примера)

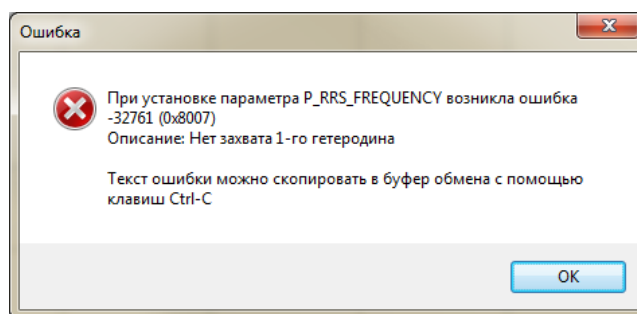


Рисунок 4.60 – Пример сообщения об ошибке

5 Установка параметров и конфигурация

5.1 Установка параметров измерения

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

5.1.1 Установка параметров зондирования и измерения

Установка параметров зондирования и измерения осуществляется в панелях управления «Измерение», «Частота», «Амплитудные параметры» и, при необходимости, в др.

- Шаг 1.** Задайте частотный диапазон зондирования в панели управления «Частота» (см. п. 4.6.2). Если требуется осуществить сканирование по списку, необходимо установить переключатель «Сканирование по списку» (может быть доступно не для всех режимов измерения) и сформировать вручную (либо загрузить из файла) список частот в соответствующем окне, появляющемся после нажатия кнопки «Список...» (см. рисунок 5.1).
- Шаг 2.** Задайте там же требуемое количество частотных точек. Минимальное значение - 1, максимальное – 100001. При сканировании по списку количество частотных точек определяется размером списка.
- Шаг 3.** На панели управления «Измерение» (см. п. 4.6.1) для режима «СК4М. Анализатор спектра» – установить параметры «Полоса фильтра ПЧ», «Видеофильтр», «Детектор» и др. в соответствии с характеристиками измеряемых сигналов; для режимов «СК4М. Измерение фазового шума», «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума» – установить параметры «Степень усреднения», «Полоса фильтра ПЧ» в соответствии с требуемым соотношением скорости измерения, уровня флуктуаций, селективности и т.п.; для режима «СК4М. Аналоговая демодуляция» – установить требуемые параметры аналоговой модуляции.
- Шаг 4.** На панели управления «Амплитудные параметры» (см. п. 4.6.3) для режима «СК4М. Анализатор спектра» – установить параметры «Мин. ВЧ ослабление», «Опорный уровень» и др. в зависимости от требуемого динамического диапазона измерения и обеспечения требуемой входной мощности СК4; а для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума» – установить параметры «Ослабление ВЧ» и

«Ослабление ПЧ».

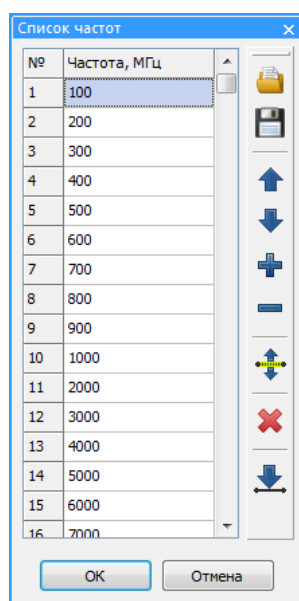


Рисунок 5.1 – Задание списка частот

Шаг 5. На панели управления «Функции трасс» (см. п. 4.6.7), настроить нужные функции по необходимости в зависимости от поставленной задачи.

5.1.2 Доступные измерения и форматы. Установка параметров отображения измерительных трасс

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

Шаг 1. Создайте измерительную трассу. При необходимости, можно удалить, либо добавить измерительную трассу с требуемой измеряемой величиной. Все трассы отображаются в списке трасс (рисунок 4.5).

Измерительная трасса отображает данные одного из «измерений». Выбор «измерения» выделенной трассы осуществляется на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 4.21) или в меню трассы (кроме режима «СК4М. Анализатор спектра», т.к. в этом режиме панель инструментов «Источник данных» позволяет выбирать только формат отображения).

Доступны следующие варианты «измерений»:

в режиме «СК4М. Аналоговая демодуляция»

- ВЧ-спектр;
- НЧ-сигнал;
- НЧ-спектр;

в режиме «СК4М. Измерение фазового шума»

- Фаз.шум;
- Ампл.шум;

в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

- КП – коэффициент передачи по мощности;
- КШ – коэффициент шума;
- Мощн(ГШвыкл) – отображение условного уровня мощности при выключенном ГШ;
- Мощн(ГШвкл) – отображение условного уровня мощности при включенном ГШ;

в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»

- КП – коэффициент передачи по мощности;
- КШ – коэффициент шума;
- Мощн(хол.) – отображение условного уровня мощности для «холодного» источника;
- Мощн(гор.) – отображение условного уровня мощности для «горячего» источника;

в режиме «Градуировка генераторов шума»

- Эталон(вкл) – отображение условного уровня мощности для эталонного ГШ во включенном состоянии»;
- Эталон(выкл) – отображение условного уровня мощности для эталонного ГШ в выключенном состоянии;
- ГШ(вкл) – отображение условного уровня мощности для калибруемого ГШ во включенном состоянии;
- ГШ(выкл) – отображение условного уровня мощности для калибруемого ГШ в выключенном состоянии;
- ГШ(ENR) – отображение ИОШТ калибруемого ГШ.

Шаг 2. Установите требуемый формат отображения.

Формат отображения трассы задаётся на панели инструментов «Источник данных» или через пункт контекстного меню трассы «Формат». Трасса отображается в декартовых координатах в виде ломанной кривой, соединяющей точки, в которых проводятся измерения.

Возможны следующие варианты форматов отображения:

«... [раз]», или «раз» – отображает величины в отн.ед.;

«К» – отображает шумовую температуру в Кельвинах;

«дБ» – отображает величины x , рассчитываемые по формуле $x[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(x[\text{отн. ед.}])$;

«Мощность [дБм]» – отображает величины x , рассчитываемые по формуле $x[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(x[\text{мВт}]/1[\text{мВт}])$;

«Мощность [дБВт]» – отображает величины x , рассчитываемые по формуле $x[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(x[\text{мВт}]/1[\text{Вт}])$;

«Уровень [дБмВ]» – отображает величины x , рассчитываемые по формуле $x[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(x[\text{мВ}]/1[\text{мВ}])$.

и т.д.

Для трасс, отображающих мощности доступны соответствующие единицы измерения мощности или возможность отображения в Вольтах (т.е. в виде напряжения), а также в виде спектральной плотности мощности.

Для режима «СК4М. Анализатор спектра» дополнительно можно выбрать варианты отображения спектра (см. п. 5.1.3).

5.1.3 Варианты отображения спектра

В режиме анализа спектра для измерительной трассы доступно построение спектра в следующих дополнительных вариантах, которые можно выбрать, например, через контекстное меню трассы (данные форматы удобны в режиме RTSA (на данный момент не реализовано в ПО *Graphit*)).

Люминофор (или иначе «Цифровой фосфор») – отображение спектра аналогично отображению в формате мощности, но с каждым обновлением кадров прежние точки трассы блекнут постепенно, позволяя визуально фиксировать кратковременные события (подобно люминофорным экранам, т.е. эффекту «послесвечения»).

Спектрограмма – зависимости спектральной плотности мощности от времени. Для её построения необходимо выбрать формат измерительной трассы «Спектрограмма [дБм]» (см. п. 4.7.3).

На рисунке 5.2 в верхнем окне отображена спектрограмма ЧМ сигнала (девиация частоты 70 кГц), горизонтальной осью которой является частотная ось, вертикальной – ось времени, а цвет пикселя соответствует уровню мощности в соответствии с **градиентной шкалой** над областью построения графиков. Для просмотра спектральной характеристики в определённый момент времени используются **горизонтальные маркеры**, обозначенные на рисунке 5.2 горизонтальными линиями с флажками «M1» и «M2» и связанные с трассами памяти «Trс1_M1» и «Trс1_M2» соответственно на нижней диаграмме. Данные в этих трассах автоматически обновляются при измерении или перемещении горизонтальных маркеров пользователем и соответствуют характеристике мощности в определённые отсечки времени (96,47 с и 99,03 с на рисунке 5.2). Время

во флажке горизонтального маркера отсчитывается относительно момента начала построения спектрограммы, который указан на левой оси графика под текстом «Запуск». Значения «Старт», «Д» и «Стоп» характеризуют отображаемый временной интервал спектрограммы, который может быть изменён при помощи **полосы прокрутки**, расположенной правее области построения графиков.

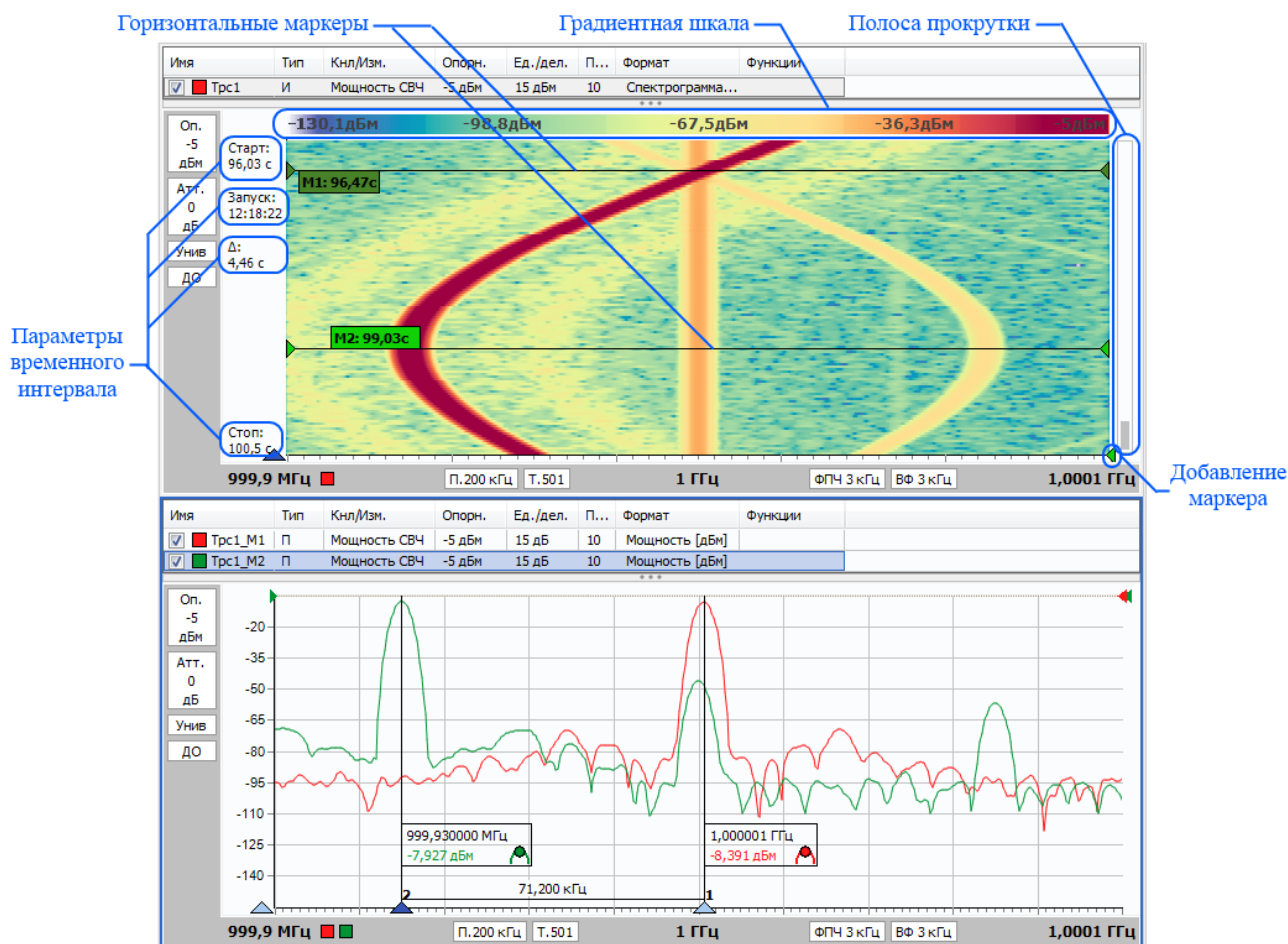


Рисунок 5.2 – Построение спектрограммы

-  **Добавление горизонтального маркера** на спектрограмму производится «вытягиванием» мышью зелёного ползунка маркера из правого нижнего угла диаграммы.
-  **Чтобы удалить горизонтальный маркер или связать его с трассой памяти**, необходимо вызвать контекстное меню, кликнув правой кнопкой мыши в области флажка с номером маркера, а затем выбрать нужный пункт меню.

В процессе измерения рекомендуется использовать функцию «Автомасштаб» (см. п. 4.7.4) для оптимальной настройки градиентной шкалы в соответствии с минимальным и максимальным значением уровнем мощности. Пользо-

ватель может изменить цветовую схему спектрограммы в окне «Настройка спектрограммы» (рисунок 5.4), открыв его при помощи меню диаграммы. Изменение кривой распределения цвета производится регулировкой вершин кривой Безье второго порядка. В качестве вспомогательных инструментов настройки кривой на заднем фоне отображается гистограмма распределения уровней мощности (линейчатый график серого цвета), а также зона предварительного просмотра в верхней части окна. «Цветовая палитра» определяет диапазон цветов, в котором будет происходить распределение уровней мощности.

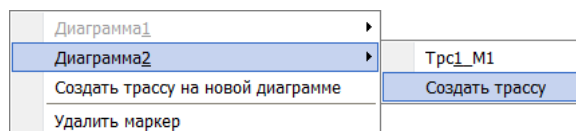


Рисунок 5.3 – Меню горизонтального маркера диаграммы

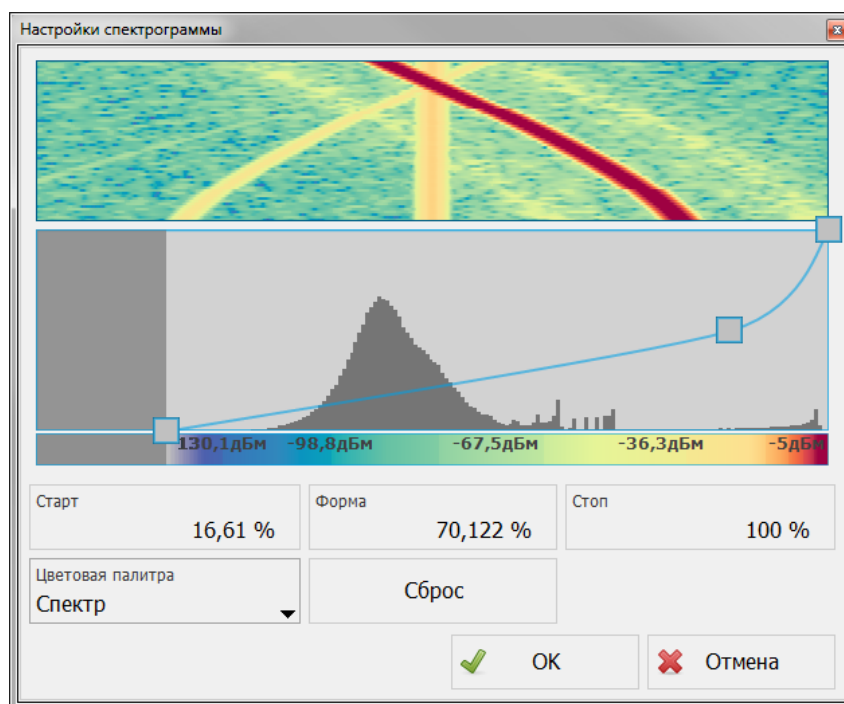


Рисунок 5.4 – Регулировка градиентной шкалы спектрограммы

Тепловая карта – отображение спектра аналогично отображению в формате мощности, но позволяет оценить вероятность значений спектральных составляющих; т.е. производится накопление кадров и цветом точки трассы отображается количество (точнее частота) попаданий накопленных значений трассы в данную точку. Таким образом, наиболее редкие события в спектре отображены синим/фиолетовым, а наиболее часто повторяемые – красным.

6 Калибровка

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

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

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

Пользовательская калибровка используется для режимов: «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума»; а в режимах «СК4М. Анализатор спектра», «СК4М. Аналоговая демодуляция» и «СК4М. Измерение фазового шума» она не предусматривается.

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ.

6.1 Эталонные генераторы шума

Для проведения пользовательской калибровки в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума» необходимо иметь эталонные ГШ. Критерии выбора ГШ приведены в разделе с описанием средств измерений, инструментов и принадлежностей ч. I настоящего РЭ.

6.2 Типы калибровок

6.2.1 Калибровка КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ»)

Под пользовательской калибровкой КШ СК4 понимается, прежде всего, измерение собственных коэффициентов передачи и шума СК4 (скалярная калибровка). Калибровка для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» проводится схожим образом.

В данном подразделе описан порядок пользовательской калибровки для

измерения характеристик ИУ без преобразования частот. При необходимости измерения устройств с преобразованием частоты см. п. 7.12.

Для проведения калибровки и измерения КШ и КП потребуются:

- СК4;
- генератор шума;
- переходы (при необходимости).

Последовательность калибровки КШ и КП

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Характеристика ГШ...». При этом должна появиться таблица со значениями ИОШТ ГШ, зависящей от частоты (рисунок 6.1). Сравнить, если требуется, эти значения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот. Рекомендуется сохранить эти данные, нажав соответствующую кнопку (см. рисунок 6.1), в формате *.enr или *.ngd.

Шаг 3. Подключить ГШ к СК4 (рисунок 6.2):

- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА СК4 при помощи кабеля питания ГШ.

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

- подключить ГШ к входу СВЧ СК4.

Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

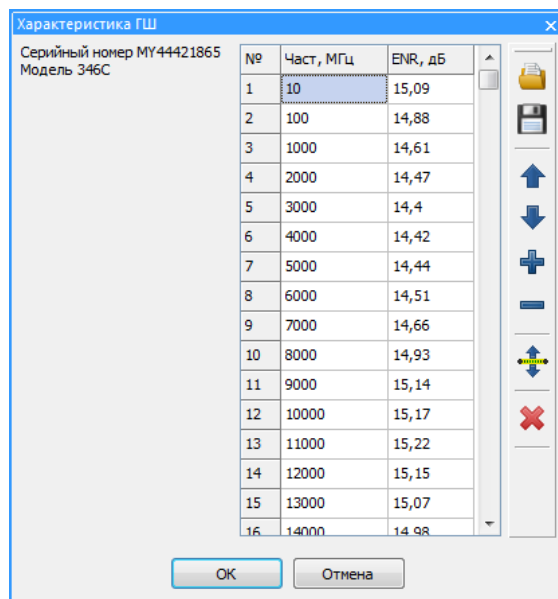


Рисунок 6.1 – Редактирование характеристики ГШ

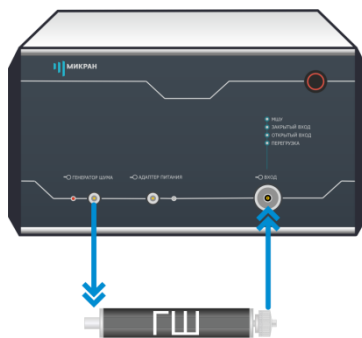


Рисунок 6.2 – Схема калибровки в модуляционном методе

Шаг 4. Установить параметры измерения:

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать частотный диапазон и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.13-б, об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1);

❗ Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.13-а) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды;
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.13-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;

Шаг 5. Открыть мастер калибровки, выбрав пункт главного меню «Калибровка > Мастер калибровки», либо кнопку «Мастер калибровки ...» на панели управления «Калибровка». Далее, следуя указаниям мастера, провести калибровку. При этом индикатор состояния ГШ должен мигать. Этап калибровки завершается нажатием «Готово» в окне мастера калибровки.

После успешного завершения калибровки в окне «Калибровочные данные СК4М» (вызывается через главное меню «Калибровка») появятся данные от проведённой калибровки. Флажок «Коррекция» в главном меню «Калибровка» может быть сброшен или установлен, что приведёт к отключению или включению коррекции (т.е. учета данных проведенной пользовательской калибровки) в ходе измерения КШ и КП.

6.2.2 Калибровка в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ»)

Последовательность калибровки КШ и КП

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Температура хол. источника...». При этом должна появиться таблица со значениями шумовой температуры, зависящими от частоты (см. рисунок 6.3). Сравнить, если требуется, эти значения со значе-

ниями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот. Рекомендуется сохранить эти данные, нажав соответствующую кнопку (см. рисунок 6.3), в формате *.gcold.

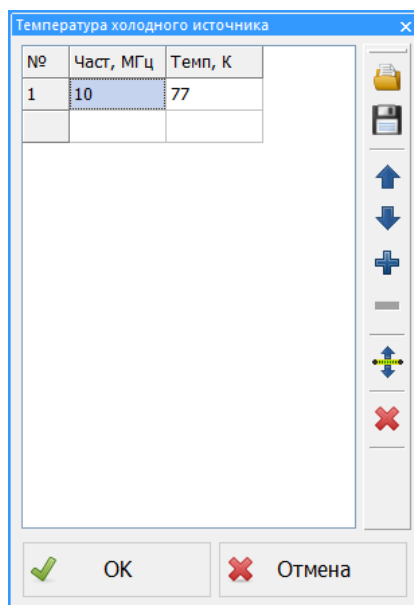


Рисунок 6.3 – Редактирование температуры «холодного» источника

Шаг 3. Собрать схему калибровки согласно рисунку 6.4. Для улучшения качества развязки (СН и НГШ) рекомендуется использовать вентиль.

Внимание! *Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

Шаг 4. Установить параметры измерения:

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать частотный диапазон и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.14-б, об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1);

в ходе измерения КШ и КП.

6.2.3 Калибровка ИОШТ (опция «ГРП»)

Калибровка ИОШТ твердотельных ГШ проводится в режиме «Градуировка генераторов шума» (доступна только при наличии опции «ГРП») с помощью мастера градуировки и не рассматривается как отдельная от измерений процедура. Поэтому для проведения калибровки и измерений см. п. 7.5.

6.3 Сохранение, восстановление и отключение калибровочных данных

Чтобы сохранить результаты калибровки в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» следует выбрать пункт меню «Калибровка > Калибровочные данные» и в появившемся диалоговом окне нажать кнопку сохранения. Калибровка сохраняется в файл с расширением *x5mclb*.

 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 > Калибровочные данные» и в появившемся диалоговом окне нажать кнопку открытия.

Коррекция может быть временно отключена в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» установкой флажка в пункте меню «Калибровка > Коррекция». Следует иметь в виду, что установка флажка отключает только все пользовательские калибровки, но не отключает фабричные калибровки.

7 Измерения

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ; а для пп. 7.3–7.5 также после этапа пользовательской калибровки (см. п. 6.2).

7.1 Анализ спектра

Анализ спектра проводится в режиме «СК4М. Анализатор спектра». Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура анализа спектра

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подключить источник сигнала на вход СВЧ СК4.

❗ Внимание! *запрещается подавать на вход «→ ВХОД» СК4 мощность и постоянное напряжение, превышающие предельные значения; для сохранности входных цепей, уровень сигнала на входе «→ ВХОД» СК4 должен быть меньше значения, указанного на передней панели СК4 рядом со знаком  (выбирается одно из указанных значений в зависимости от состояния индикаторов) при этом мощность на первом смесителе должна быть меньше 0,01 Вт; для определения этой мощности необходимо пересчитать мощность на входе «→ ВХОД» к выходу ВЧ-аттенюатора на величину его текущего номинального ослабления (отображается на боковой статусной панели в виде ); для обеспечения корректности измерений входная мощность не должна превышать значение опорного уровня; в случае наступления перегрузки АЦП, в программе управления на боковой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки . При необходимости усиления включите МШУ.*

❗ Внимание! *Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

Шаг 3. Выполнить автоматический поиск и настройку параметров измерения

при помощи функции «Автонастройка» на панели «Частота» (рисунок 4.12-б). В случае успешного выполнения данной функции ПО *Graphit* автоматически установит диапазон частот и амплитудные параметры СК4. При отсутствии сигнала или его недостаточном уровне на входе СК4 отобразится сообщение "Автонастройка: сигнал не обнаружен", следовательно, пользователю необходимо задать параметры измерения вручную (Шаг 4 и Шаг 5).

Шаг 4. Установить диапазон сканирования и количество точек на панели «Частота» (рисунок 4.12-б). При изменении центральной частоты значение полосы обзора остаётся неизменным, если граничные частоты «Старт» и «Стоп» находятся в рабочем диапазоне частот СК4.

 *Шаг элемента управления «Центр» по умолчанию установлен в режим «автоматический», что позволяет смещать центральную частоту на значение текущей полосы сканирования. Шаг элемента управления «Полоса» по умолчанию является мультипликативным со значением 2, то есть прокрутка колесом мыши увеличивает или уменьшает данный параметр вдвое.*

Шаг 5. Задать амплитудные параметры СК4 на одноимённой панели управления (рисунок 4.12-в) в соответствии с ожидаемым значением уровня входного сигнала. При необходимости воспользоваться функцией «Компенсация внешней цепи» (см. п. 7.9).

Шаг 6. Запустить измерение (см. п. 4.8).

7.2 Измерение частоты

Измерение частоты проводится с помощью функции «Счётчик частоты» при настройке параметров маркера (см. п. 4.10.2). Эта возможность доступна только в режиме «СК4М. Анализатор спектра» (см. п. 7.1).

Настройка маркера для измерения частоты производится в следующем порядке:

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Провести запуск СК4 в режиме «СК4М. Анализатор спектра».

Шаг 3. Добавить маркер, с помощью которого будет проводиться измерение

частоты (о работе с маркерами см. п. 4.10).

Шаг 4. В контекстном меню маркера выбрать функцию «Счётчик частоты» (см. рисунок 4.45). Далее выбрать способ измерения и задать его точность.

7.3 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ»)

Данный режим рассчитан, в основном, на использование твердотельных ГШ, включение и выключение которых (т.е. имитация «горячего» и «холодного» источника шума, соответственно) осуществляется СК4 автоматически.

Измерения согласно данному подразделу рекомендуется проводить после этапа пользовательской калибровки (за исключением случаев, когда КП ИУ по мощности более 20 дБ) согласно п. 6.2.1. Предполагается, что при пользовательской калибровке и измерениях используется один и тот же эталонный ГШ.

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения КШ и КП

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.enr или *.ngd (см. п. 6.2.1 Шаг 2).

Шаг 3. Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.

Шаг 4. Собрать измерительную схему (рисунок 7.1; использование аттенюатора Атт рекомендуется для улучшения развязки и согласования):

- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА СК4 при помощи кабеля питания ГШ;

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

- подключить ИУ (возможно через АтТ, вентиль или фильтр) при измерении КШ и КП приёмно-усилительных устройств без преобразования частоты или с преобразованием, но имеющих внутренний генератор (гетеродин) и ФНЧ – как показано на рисунке 7.1. Если выходная мощность ИУ превышает допустимые входные значения, указанные в ТХ, или вызывает срабатывание индикатора перегрузки, то необходимо использовать соответствующий аттенуатор АтТ;



Рисунок 7.1 – Схема измерений ИУ без преобразования по частоте или с внутренним генератором и ФНЧ

- подключить ГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

❗ Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

❗ Внимание! Если для подключения ГШ к ИУ используется переход, то S-параметры перехода повлияют на характеристику ИОШТ ГШ, что в свою очередь требует коррекции характеристики ГШ или его переопределения!

Шаг 5. Установить параметры измерения:

❗ Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать частотный диапазон и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.13-б), об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1);
- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.13-а) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды (т.е. температура «холодного» источника);
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.13-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- в случае, если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка»;

i Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели (см. таблицу 4.2).

- если при измерении используется дополнительный внешний аттенюатор для уменьшения интегральной мощности входного сигнала¹⁾, то требуется ввести значения ослабления данного аттенюатора в таблицу «Компенсация внешней цепи» (соответственно для включения ДО или ПОСЛЕ ИУ, см. п. 7.9) на панели управления «Амплитудные параметры» (если ослабление введено только для одного значения частоты, то это ослабление будет использовано во всем диапазоне частот); если в измерительную схему включены до-

¹⁾Встроенным аттенюатором ПЧ можно устранить перегрузку измерительного канала по промежуточной частоте, о перегрузке сигнализирует индикатор ПЕРГРУЗКА на передней панели СК4. При перегрузке входных цепей необходимо применять дополнительный внешний аттенюатор, либо воспользоваться ослаблением по ВЧ.

полнительные переходы и ФНЧ, то возникающие при этом потери необходимо учесть таким же образом; подключение внешнего аттенюатора расширяет диапазон измерения КП; при измерении устройств с КП, превышающим 30 дБ, без использования внешнего аттенюатора требуется установить необходимое ослабление ПЧ на панели управления «Амплитудные параметры»¹⁾ и проверить отсутствие перегрузки входного усилителя СК4.

Шаг 6. Запустить измерения на СК4 командой меню «Управление > Измерение» или соответствующей кнопке панели инструментов. Убедиться, что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки.

Шаг 7. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

Если в процессе измерения требуется изменить значения каких-либо параметров СК4, то в общем случае калибровку измерительного тракта следует провести заново. Исключением можно считать ослабления ПЧ и ВЧ, устанавливаемые с целью устранения перегрузки АЦП и входных цепей СК4, соответственно. Не рекомендуется увеличивать ослабления ВЧ и ПЧ, если это не является необходимым.

7.4 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ»)

Данный режим рассчитан, в основном, на использование НГШ, включение и выключение которых (т.е. имитация «горячего» и «холодного» источника шума, соответственно) осуществляется вручную. При этом функцию «горячего» источника выполняет согласованная нагрузка (СН) при комнатной температуре. Возможно использование ГШ других типов, например твердотельных (при этом нужно будет пересчитать ENR в шумовую температуру и ввести это значение в качестве температуры окружающей среды, а в таблицу температуры «холодного» источника внести значение фактической температуры среды, например, 290 К).

Измерения согласно данному подразделу рекомендуется проводить после этапа пользовательской калибровки (за исключением случаев, когда КП ИУ по мощности более 20 дБ) согласно п. 6.2.2. Предполагается, что при пользовательской калибровке и измерениях используется один и тот же эталонный ГШ.

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

¹⁾При этом изменение входной мощности наблюдаться не должно, т.к. будет осуществляться ее автоматический пересчет.

Процедура измерения КШ и КП

- Шаг 1.** Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подготовить к работе эталонный НГШ в соответствии с РЭ на него. Подготовить файл со значениями шумовой температуры (температура холодного источника) на него в формате *.gcold (см. п. 6.2.2 Шаг 2).
- Шаг 3.** Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.
- Шаг 4.** Собрать измерительную схему (рисунку 7.2) (для улучшения качества развязки (СН и НГШ) рекомендуется использовать вентиль):
- подключить ИУ (возможно через Атт, вентиль или фильтр) при измерении КШ и КП приёмно-усилительных устройств без преобразования частоты или с преобразованием, но имеющих внутренний генератор (гетеродин) и ФНЧ;
 - подключить НГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

❗ Внимание! *Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

❗ Внимание! *Если для подключения ГШ к ИУ используется переход, то S-параметры перехода повлияют на характеристику ИОШТ ГШ, что в свою очередь требует коррекции характеристики ГШ или его переопределения!*

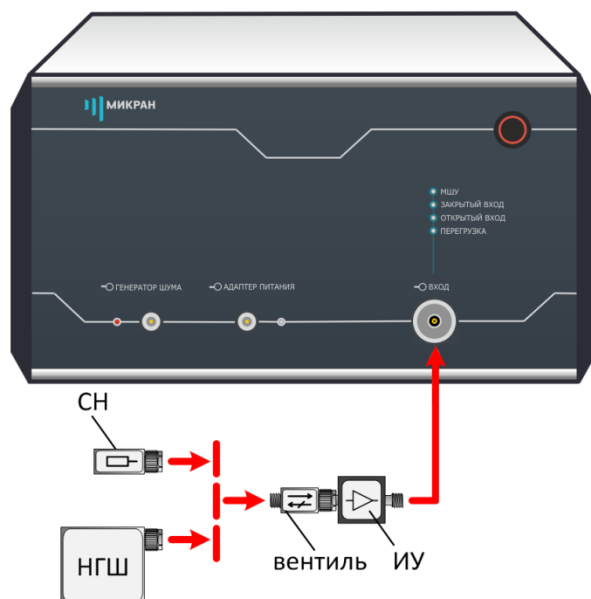


Рисунок 7.2 – Схема измерения КШ и КП ИУ
в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»

Шаг 5. Установить параметров измерения:

Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать частотный диапазон и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.14-б), об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1);
- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.14-а) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды (т.е. температуру «горячего» источника, в данном случае – это температура СН);
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.14-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- в случае, если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка».

i *Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели (см. таблицу 4.2).*

- если при измерении используется дополнительный внешний аттенюатор для уменьшения интегральной мощности входного сигнала¹⁾, то требуется ввести значения ослабления данного аттенюатора в таблицу «Компенсация внешней цепи» (соответственно для включения ДО или ПОСЛЕ ИУ, см. п. 7.9) на панели управления «Амплитудные параметры» (если ослабление введено только для одного значения частоты, то это ослабление будет использовано во всем диапазоне частот); если в измерительную схему включены дополнительные переходы и ФНЧ, то возникающие при этом потери необходимо учесть таким же образом; подключение внешнего аттенюатора расширяет диапазон измерения КП; при измерении устройств с КП, превышающим 30 дБ, без использования внешнего аттенюатора требуется установить необходимое ослабление ПЧ на панели управления «Амплитудные параметры»²⁾ и проверить отсутствие перегрузки входного усилителя СК4.

Шаг 6. На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Температура хол. источника...». При этом должна появиться таблица со значениями шумовой температуры, зависящими от частоты. Сравнить, если требуется, эти значения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

i *При использовании ГШ других типов (например, твердотельных) необходимо пересчитать ИОШТ в шумовую температуру и ввести это значение в качестве температуры окружающей среды, а в таблицу температуры «холодного» источника внести значение фактической температуры среды, например, 290 К).*

Шаг 7. Запустить измерения на СК4 командой меню «Управление > Измерение» или соответствующей кнопкой панели инструментов. Убедиться,

¹⁾Встроенным аттенюатором ПЧ можно устранить перегрузку измерительного канала по промежуточной частоте, о перегрузке сигнализирует индикатор ПЕРГРУЗКА на передней панели СК4. При перегрузке входных цепей необходимо применять дополнительный внешний аттенюатор, либо воспользоваться ослаблением по ВЧ.

²⁾При этом изменение входной мощности наблюдаться не должно, т.к. будет осуществляться ее автоматический пересчет.

что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки.

Шаг 8. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

Если в процессе измерения требуется изменить значения каких-либо параметров СК4, то в общем случае калибровку измерительного тракта следует провести заново. Исключением можно считать ослабления ПЧ и ВЧ, устанавливаемые с целью устранения перегрузки АЦП и входных цепей СК4, соответственно. Не рекомендуется увеличивать ослабления ВЧ и ПЧ, если это не является необходимым.

 *Можно запустить измерение с использованием мастера измерения КШ (через главное меню «Управление > Мастер измерения КШ»).*

7.5 Градуировка генераторов шума

7.5.1 Общая информация

Измерения, приводимые в данном подразделе, следует проводить после выполнения подготовительных работ, описанных в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ.

Генераторы шума можно градуировать разными методами, например: в модуляционном режиме или в немодуляционном (т.е. когда напряжение питания ГШ автоматически модулируется либо управление питанием осуществляется вручную); в условиях комплексно-сопряжённого согласования (результатом будут номинальные значения ИОШТ) или на нагрузку 50 Ом (результатом будут эффективные значения ИОШТ). Также следует различать градуировки однотипных ГШ (т.е. когда эталонный и испытуемый ГШ одного типа и с одинаковыми номинальными значениями ИОШТ) и ГШ разного типа. Наиболее простой является градуировка однотипных полупроводниковых ГШ в модуляционном режиме.

Во время градуировки с помощью ПО *Graphit* используется метод сравнения с мерой (эталонным ГШ), поэтому под этапом пользовательской калибровки понимается измерение ИОШТ эталонного ГШ.

ПО *Graphit*, в основном, рассчитано на использование твердотельных ГШ; тем не менее, возможно применение и других типов. Вычисление ИОШТ (*ENR*) в ПО *Graphit* основано на предположении идеального согласования ГШ с СК4, а также на предположении постоянства КСВН выходов ГШ во включённом и выключенном состояниях.

В этом подразделе описаны процедуры градуировки полупроводниковых ГШ на нагрузку 50 Ом в модуляционном режиме с помощью мастера градуи-

ровки. По умолчанию в качестве стандартной температуры используется $T_0 = 290$ К.

i Для ГШ с номинальными значениями ИОШТ 15 дБ для достижения показателей точности, указанных в технических характеристиках, рекомендуется градуировку проводить с накрученным на СВЧ вход СК4 аттенуатором 10 дБ (поставляется в комплекте для опции «ГРП»)¹⁾.

Более подробное описание мастера градуировки приведено в п. 7.5.2.1.

7.5.2 Измерения в режиме «Градуировка генераторов шума» (опция «ГРП»)

7.5.2.1 Описание мастера градуировки ГШ

Градуировка ГШ проводится с помощью мастера градуировки, для запуска которого необходимо в главном меню выбрать «Управление > Мастер градуировки ГШ...» или нажать кнопку «Градуировка ГШ» на соответствующей панели инструментов.

7.5.2.1.1 Первый этап мастера

На первом этапе мастера можно выбрать метод градуировки: метод дополнительной калибровки (позволяет компенсировать нестабильность собственного КП измерительного тракта СК4) или метод согласно методике поверки. Также на этом этапе устанавливается количество циклов измерений, которое определяет количество подключений градуируемого ГШ к СК4.

7.5.2.1.2 Второй этап мастера

На втором этапе мастера (рисунок 7.3) в группе «Градуируемый генератор шума (ГШ)» можно ввести потери и указать переход в том случае, если в ходе всей градуировки к исследуемому ГШ прикручен, например, аттенуатор и/или переход. Потери в переходах можно учитывать двумя способами – параметрически или с помощью файла *S2P* с *S*-параметрами (рекомендуется). Одно-

¹⁾При градуировке ГШ в сечении 7/3,04 на СК4 с опцией «11Р» можно использовать аттенуатор из комплекта поставки, для этого необходим дополнительный переход ПК2-18-11Р-13, либо аттенуатор Д2М-18-10-11Р-11 в сечении 7/3,04 (такие переходы и аттенуаторы в комплект поставки не входят).

временно можно учитывать потери от двух устройств: одного – с помощью установки флажка «Потери» и загрузки соответствующего файла *S*-параметров, а второго – с помощью поля со списком «Используемый переход:» параметрически или так же с помощью файла *s2p*. В случае параметрического учёта потерь параметры перехода можно задавать вручную, для этого в поле со списком «Используемый переход:» необходимо выбрать «пользовательский».

Аналогичным образом учитываются потери для эталонного ГШ.

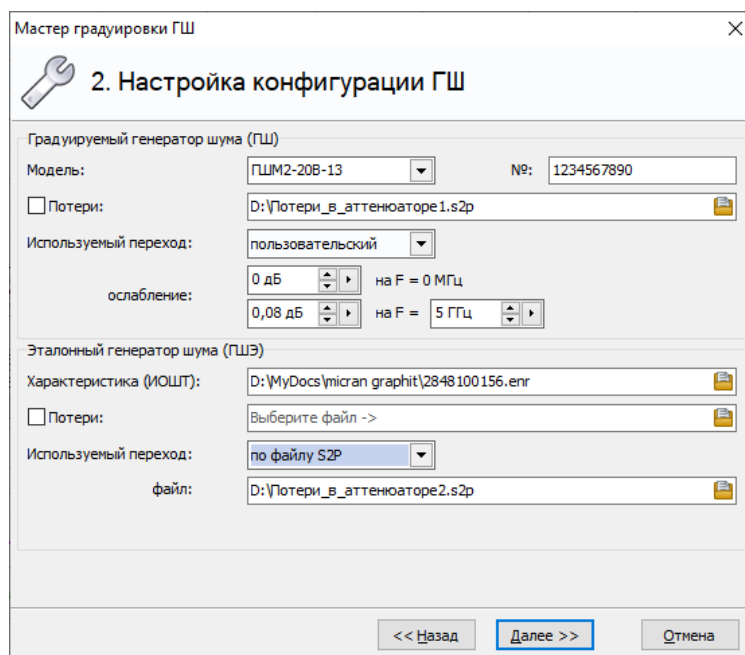


Рисунок 7.3 – Пример заполнения полей на втором этапе мастера градуировки

7.5.2.1.3 Третий этапа мастера

На следующем этапе задаются условия окружающей среды и даты, а также отображается информация об эталонном ГШ, считанная из файла (при её наличии).

7.5.2.1.4 Четвёртый этап мастера

На четвёртом этапе мастера можно задать параметры, которые необходимо контролировать в ходе градуировки в случае проведения допускового контроля; также можно задать вид и каталоги сохраняемых результатов измерений (рисунок 7.4).

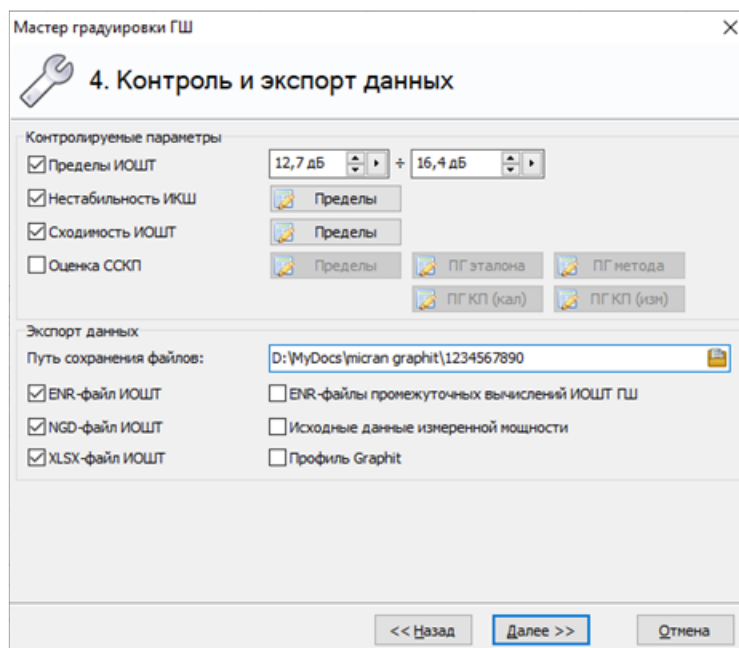


Рисунок 7.4 – Четвёртый этап мастера градуировки

Пределы допускаемых значений можно задать, нажав соответствующие кнопки «Пределы».

Если в ходе градуировки контролируемые величины выходят за установленные пределы, появится предупреждение. Если флажки для контролируемых параметров не установлены, то эти величины в ходе градуировке не отслеживаются.

«Нестабильность ИКШ» позволяет контролировать КП измерительного тракта СК4 путём сравнения измеренного значения ИОШТ эталонного ГШ либо в начале градуировки и по её окончании (т.е. ИОШТ ГШЭ и ГШЭ*), либо в начале и в конце каждого цикла (в зависимости от выбранного метода градуировки). Если контроль нестабильности не установлен, то измерение эталонного ГШ на последнем шаге (т.е. ГШЭ*) не проводится.

«Сходимость ИОШТ» представляет собой разность в дБ между измеренными значениями ИОШТ градуируемого ГШ в двух разных циклах. Для метода дополнительной калибровки она считается удовлетворительной, если хотя бы для одной пары циклов это значение не выходит за установленные пределы. В этом случае результатом измерения будет среднее значение ИОШТ из этой пары, а процесс градуировки может быть завершён преждевременно.

При установке флажка «Оценка ССКП» по итогам градуировки контролируется суммарная средняя квадратическая погрешность. Этот флажок по умолчанию устанавливается при градуировке согласно методике поверки.

В поле ввода «Путь сохранения файлов:» указывается каталог для сохранения результатов измерения. После завершения работы мастера будут помещены файлы с данными, для которых были установлены флажки в группе «Экспорт данных».

7.5.2.1.5 Результаты измерений

Результирующие значения ИОШТ градуируемого ГШ будут сохранены в файлы **.enr* и **.ngd* в каталог, указанный на четвёртом этапе мастера (если на этом шаге были установлены соответствующие флажки, рисунок 7.4), а также будет находиться в трассе «ГШ_итог» верхней диаграммы. Значения в этой трассе, в свою очередь, представляют собой средние значения ИОШТ трасс (в отн. ед.), полученных в отдельных циклах измерений; т.е. трасса «ГШ_итог» является средним между трассами «ГШ_ц1», «ГШ_ц2» и т.д.

Если был установлен флажок «Оценка ССКП», то на диаграмме помимо трассы «ГШ_итог» трасса «ССКП» также будет заполнена данными (в противном случае трасса не будет заполнена данными), которые будут представлять собой суммарную среднюю квадратическую погрешность.

Если на четвёртом этапе мастера (рисунок 7.4) были установлены все флажки в группе экспорта данных, а также флажок «Оценка ССКП», то указанный каталог должен содержать следующие файлы:

- файлы с итоговым значением ИОШТ градуируемого ГШ: *серийный_номер_ГШ.enr*, *серийный_номер_ГШ.ngd* и *серийный_номер_ГШ.xlsx*;
- файлы с ИОШТ, полученными отдельно в каждом цикле: *серийный_номер_ГШ_stage1.enr*, *серийный_номер_ГШ_stage2.enr* ... и *серийный_номер_ГШ_stage1.ngd*, *серийный_номер_ГШ_stage2.ngd* ...;
- файлы с измеренными мощностями исследуемого ГШ во включённом («hot») и выключенном («cold») состояниях: *cycle1_dut_cold.tr*, *cycle1_dut_hot.tr*, *cycle2_dut_cold.tr*, *cycle2_dut_hot.tr*, ...;
- файлы с измеренными мощностями эталонного ГШ во включённом («hot») и выключенном («cold») состояниях: *cycle1_ref1_cold.tr*, *cycle1_ref1_hot.tr*, *cycle1_ref2_cold.tr*, *cycle1_ref2_hot.tr*, *cycle2_ref1_cold.tr*, *cycle2_ref1_hot.tr* ...;
- файл со значениями суммарной средней квадратической погрешности в дБ: *серийный_номер_ГШ_RMS.trc*;
- профиль ПО Graphit: *тип_ГШ.gpr*.

7.5.2.2 Градуировка однотипных ГШ

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения ИОШТ однотипных ГШ

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к

проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.*enr* или *.*ngd* (см. п. 6.2.1 Шаг 2 – делается, например, в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», либо вручную).

Шаг 3. Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.

Шаг 4. Остановить измерения командой меню «Управление > Измерение», либо соответствующей кнопкой панели инструментов (см. таблицу 4.3).

Шаг 5. Выполнить команду меню «Профиль > Восстановить начальные параметры».

Шаг 6. На панели управления «Частота» включить «Сканирование по списку», нажать кнопку «Список...» и ввести вручную или загрузить из файла необходимый список частот, на которых будет проводиться градуировка.

 *Кроме файлов ПО Graphit с расширением freqlist список частот можно также загрузить из файлов данных ИОШТ с расширениями ngd и enr.*

Шаг 7. На панели управления «Измерение» установить значения «Полоса фильтра ПЧ» 3 МГц и «Степень усреднения» 18.

Шаг 8. Запустить измерения командой меню «Управление > Измерение» и выдержать СК4 в режиме измерений не менее 10 мин.

Шаг 9. Выполнить команду меню «Управление > Мастер градуировки ГШ...».

Шаг 10. На первом этапе Мастера:

- в поле со списком «Метод градуировки» выбрать «Метод дополнительной калибровки (рекомендуется)»;
- в поле ввода «Количество циклов измерений» задать значение 2;
- нажать «Далее >>».

Шаг 11. На втором этапе Мастера:

- ввести данные об используемых ГШ; в качестве потерь, при необходимости, загружаются фалы *Touchstone S2P* с *S*-параметрами используемых переходов; в качестве характеристики эталонного ГШ (значений ИОШТ) загружаются файлы *.*enr* или *.*ngd*;

 Если в загружаемом файле значение величины (*S*-параметра или ИОШТ) указано лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

- нажать «Далее >>».

Шаг 12. На третьем этапе Мастера:

- ввести данные об окружающей среде и даты;
- нажать «Далее >>».

Шаг 13. На четвертом этапе Мастера:

- при необходимости допускового контроля итоговых значений ИОШТ указать пределы допускаемых значений напротив флажка «Пределы ИОШТ»; в противном случае снять флажок;
- при необходимости контроля нестабильности КП измерительного тракта СК4 (используется в основном для метода дополнительной калибровки) установить флажок «Нестабильность ИКШ» и задать пределы КП с помощью соответствующей кнопки «Пределы»;
- при необходимости контроля сходимости результатов измерений ИОШТ ИУ в разных циклах измерения (используется в основном для метода дополнительной калибровки) установить флажок «Сходимость ИОШТ» и задать пределы сходимости с помощью соответствующей кнопки «Пределы»;
- при необходимости расчета и контроля суммарной средней квадратической погрешности (используется в основном для метода «Согласно методике поверки ГШМ2») установить флажок «Оценка ССКП» и задать значения ее пределов и значения ее составляющих с помощью соответствующих кнопок справа;
- в группе «Экспорт данных» в поле ввода «Путь сохранения файлов:» указать каталог для сохранения результатов измерений, также установить флажки для тех данных, которые требуется сохранить после окончания измерений;
- нажать «Далее >>».

Шаг 14. Следуя указаниям Мастера, провести измерения.

❗ Внимание! *Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

❗ Внимание! *Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!*

7.5.2.3 Градуировка разнотипных ГШ

Основное отличие градуировки разнотипных ГШ от градуировки однотипных ГШ заключается в том, что предварительно на выход ГШ, номинальные значения ИОШТ которого больше, накручивается аттенюатор соответствующего номинала таким образом, чтобы номинальные значения генераторов стали максимально близки. Например, если проводится градуировка 6-ти децибельного ГШ относительно эталонного 15-ти децибельного ГШ, то на последний следует накрутить аттенюатор с ослаблением 10 дБ. Если значения ИОШТ эталонного ГШ меньше номинальных значений градуируемого ГШ, то применение аттенюатора не требуется. Ниже приведен порядок измерения с применением аттенюатора.

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения ИОШТ разнотипных ГШ

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.enr или *.ngd (см. п. 6.2.1 Шаг 2 – делается, напри-

мер, в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», либо вручную). Также подготовить аттенюатор и файл формата *s2p* с измеренными значениями его *S*-параметров. Подключить аттенюатор к эталонному ГШ.

❗ Внимание! *Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

Шаг 3. Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.

Шаг 4. Остановить измерения командой меню «Управление > Измерение», либо соответствующей кнопкой панели инструментов (см. таблицу 4.3).

Шаг 5. Выполнить команду меню «Профиль > Восстановить начальные параметры».

Шаг 6. На панели управления «Частота» включить «Сканирование по списку», нажать кнопку «Список...» и ввести вручную или загрузить из файла необходимый список частот, на которых будет проводиться градуировка.

i *Кроме файлов ПО Graphit с расширением *freqlist* список частот можно также загрузить из файлов данных ИОШТ с расширениями *ngd* и *enr*.*

Шаг 7. На панели управления «Измерение» установить значения «Полоса фильтра ПЧ» 3 МГц и «Степень усреднения» 18.

Шаг 8. Запустить измерения командой меню «Управление > Измерение» и выдержать СК4 в режиме измерений не менее 10 мин.

Шаг 9. Выполнить команду меню «Управление > Мастер градуировки ГШ...».

Шаг 10. На первом этапе Мастера:

- в поле со списком «Метод градуировки» выбрать «Метод дополни-

- тельной калибровки (рекомендуется)»;
- в поле ввода «Количество циклов измерений» задать значение 2;
- нажать «Далее >>».

Шаг 11. На втором этапе Мастера:

- ввести данные об используемых ГШ; в группе «Эталонный генератор шума (ГШЭ)» установить флажок «Потери», а в поле ввода справа загрузить файл *Touchstone S2P* с *S*-параметрами аттенюатора, нажав соответствующую кнопку «Выбрать файл»; в качестве характеристики эталонного ГШ (значений ИОШТ) загружаются файлы *.enr или *.ngd;

 Если в загружаемом файле значение величины (*S*-параметра или ИОШТ) указано лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

- нажать «Далее >>».

Шаг 12. На третьем этапе Мастера:

- ввести данные об окружающей среде и даты;
- нажать «Далее >>».

Шаг 13. На четвертом этапе Мастера:

- при необходимости допускового контроля итоговых значений ИОШТ указать пределы допускаемых значений напротив флажка «Пределы ИОШТ»; в противном случае снять флажок;
- при необходимости контроля нестабильности КП измерительного тракта СК4 (используется в основном для метода дополнительной калибровки) установить флажок «Нестабильность ИКШ» и задать пределы КП с помощью соответствующей кнопки «Пределы»;
- при необходимости контроля сходимости результатов измерений ИОШТ ИУ в разных циклах измерения (используется в основном для метода дополнительной калибровки) установить флажок «Сходимость ИОШТ» и задать пределы сходимости с помощью соответствующей кнопки «Пределы»;
- при необходимости расчета и контроля суммарной средней квадратической погрешности (используется в основном для метода «Согласно методике поверки ГШМ2») установить флажок «Оценка ССКП» и задать значения ее пределов и значения ее составляющих с помощью соответствующих кнопок справа;
- в группе «Экспорт данных» в поле ввода «Путь сохранения файлов:» указать каталог для сохранения результатов измерений, также

- установить флажки для тех данных, которые требуется сохранить после окончания измерений;
- нажать «Далее >>».

Шаг 14. Следуя указаниям Мастера, провести измерения.

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

7.6 Измерение фазового шума (опция ИФШ)

7.6.1 Общая информация

Измерение фазового шума проводится в режиме «СК4М. Измерение фазового шума». Стоит отметить, что в данном режиме присутствуют некоторые отличия в наборе доступных функций и параметров СК4, обусловленные спецификой ИФШ.

i Для активации программной опции ИФШ необходимо однократно добавить файл-ключ лицензии (см. п. 3.4).

Измерение фазового шума (однополосный фазовый шум, SSB) источника гармонического сигнала производится методами прямого измерения спектра и синхронного детектирования (требуется ПО *Graphit* версия 2.6.3 и выше):

- настройка СК4 на частоту гармонического сигнала F_H ;
- оценка уровня мощности гармонического сигнала;
- измерение спектра в диапазоне частот, соответствующего заданным частотным отстройкам;
- расчёт спектральной плотности мощности шума (дБм/Гц) и значения фазового шума (дБн/Гц).

Метод синхронного детектирования позволяет разделять амплитудную и фазовую составляющие спектральной характеристики, а также значительно сокращает время измерения и обработки данных. Недостатком данного метода является ограничение максимальной отстройки значением половины полосы одновременного анализа (1,5 МГц для СК4).

7.6.2 Настройка и запуск измерений

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения фазового шума

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подключить источник сигнала к входу СВЧ СК4.

! *Внимание! запрещается подавать на вход «→ ВХОД» СК4 мощность и постоянное напряжение, превышающие предельные значения; для сохранности входных цепей, уровень сигнала на входе «→ ВХОД» СК4 должен быть меньше значения, указанного на передней панели СК4 рядом со знаком  (выбирается одно из указанных значений в зависимости от состояния индикаторов) при этом мощность на первом смесителе должна быть меньше 0,01 Вт; для определения этой мощности необходимо пересчитать мощность на входе «→ ВХОД» к выходу ВЧ-аттенюатора на величину его текущего номинального ослабления (отображается на боковой статусной панели в виде ); для обеспечения корректности измерений входная мощность не должна превышать значение опорного уровня; в случае наступления перегрузки АЦП, в программе управления на боковой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки .*

! *Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.*

Шаг 3. Задать параметры «Частота несущей» и «Мощность сигнала» (рисунки 4.15), либо воспользоваться функцией «Автонастройка», если уровень сигнала превышает минус 40 дБм.

- Шаг 4.** Задайте начальную и конечную отстройки измерения ФШ (диапазон допустимых значений – от 1 Гц до 100 МГц для метода прямого измерения спектра и от 10 Гц до 1,5 МГц для метода синхронного детектирования).
- Шаг 5.** При необходимости включить или отключить функцию «Автоподстройка частоты сигнала» (подробное описание и пример в п.7.6.3).
- Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Измерение», либо кнопкой (см. таблицу 4.3).

 *Необходимо отметить, что скорость измерений зависит от ширины заданного диапазона отстроек и увеличивается в области дальних отстроек.*

На диаграмме в виде таблицы будут отображены значения характеристики ФШ¹⁾, а также информация о частоте и уровне несущей (рисунок 7.5). Включение/отключение данной возможности осуществляется через контекстное меню трассы «Фазовые шумы > Таблица ФШ» или на панели управления «Функции трасс» (рисунок 4.15-в). В случае анализа сложных сигналов (например, модулированных) или при наличии паразитных спектральных составляющих можно прибегнуть к функции «Обработка гармоник» (см. п. 7.6.4).

¹⁾По умолчанию в режиме измерения ФШ на диаграмме отображаются две трассы – «Трс1» (с включённым усреднением 20) и «Трс2» (текущие измеренные значения).



Рисунок 7.5 – Результат измерения фазового шума

7.6.3 Функция «Автоподстройка частоты сигнала»

Функция «Автоподстройка частоты сигнала» (АПЧ) – программная функция ПО *Graphit*. Принцип её работы заключается в следующем: перед каждым циклом измерения прибор выполняет поиск и измерение частоты сигнала счётчиком частоты. Разрешение счётчика, следовательно, и скорость подсчёта зависят от заданных параметров «Начальная отстройка» и «Конечная отстройка». Таким образом, для максимально быстрой работы счётчика частоты важно, чтобы значение «Начальная отстройка» было максимально возможным в рамках выполнения задачи измерения.

Функция АПЧ включается установкой переключателя «Автоподстройка частоты сигнала» на панели «Частота» (рисунок 4.15-б). Пронаблюдать работу функции АПЧ можно следующим образом:

Шаг 1. Подать сигнал с частотой 3000 МГц на вход СВЧ. При нажатии на кнопку «Автонастройка» (рисунок 4.15-а) сигнал будет обнаружен при условии, что уровень его мощности не ниже минус 40 дБм.

Шаг 2. Установить необходимый диапазон отстроек от несущей частоты, задав значения в полях «Начальная/конечная отстройка» (рисунок 4.15-б), в данном примере – от 0,1 кГц до 100 кГц.

Шаг 3. Сохранить измеренную трассу ФШ в память (трасса синего цвета на рисунке 7.6).

Шаг 4. Скачком установить частоту сигнала 3000,5 МГц. Из рисунка 7.6 видно, что значение несущей частоты в таблице ФШ измерительной трассы (красного цвета) обновилось, а характеристика ФШ изменилась незначительно. Следовательно, СК4 перестроился на изменённую частоту сигнала.

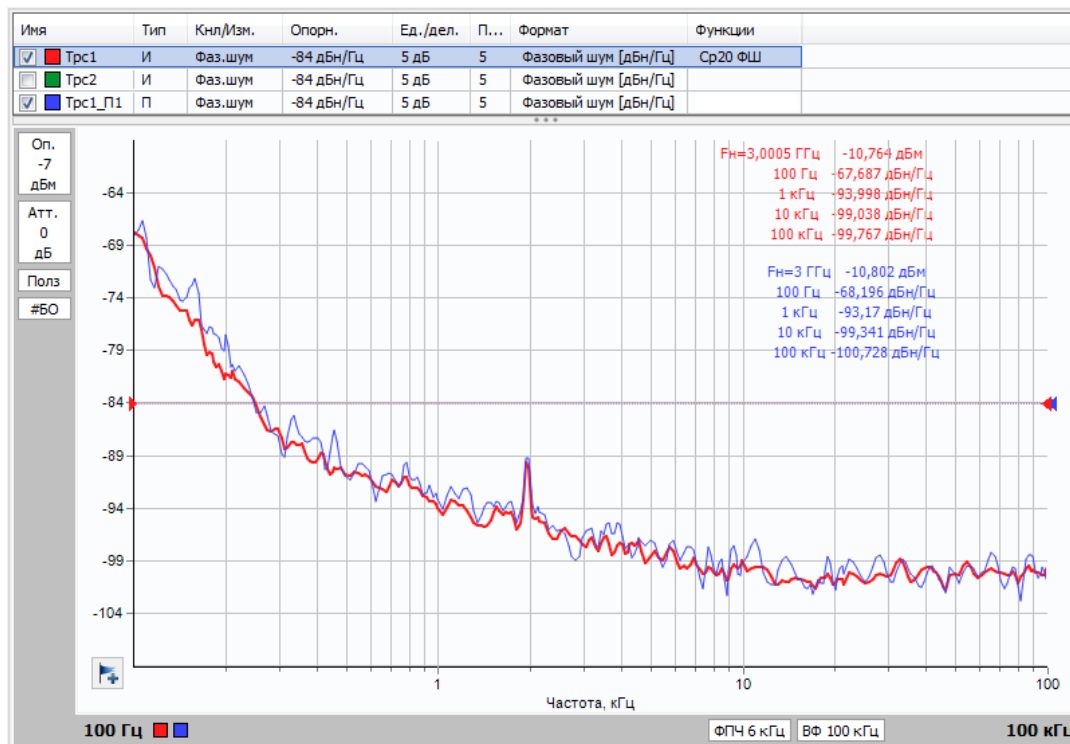


Рисунок 7.6 – Работа функции АПЧ

7.6.4 Функция «Обработка гармоник»

Данная функция трассы производит поиск гармонических составляющих в спектре (с учётом значения допуска, заданного пользователем) и выполняет одно из следующих действий:

- отображение гармонической составляющей на графике с её реальной амплитудой, то есть без нормировки к эффективной/шумовой полосе фильтра ПЧ (режим «абс.уровень», рисунок 4.15-в);
- подавление гармонической составляющей на графике (режим «подавление»).

Результат работы функции продемонстрирован на рисунке 7.7. В качестве примера используется результат измерения/анализа ФШ источника амплитуд-

но-модулированного сигнала (частота модуляции равна 75 кГц, коэффициент модуляции – 50%). В измерительной трассе «Трс1» (красного цвета) включена функция «Обработка гармоник» в режиме «абс.уровень» – на графике видны гармонические составляющие на частотах 75 и 150 кГц, а также случайная паразитная составляющая на ближней отстройке (обозначены дополнительными маркерами в виде ромбов). В режиме «подавление» (трасса синего цвета) эти спектральные составляющие заменяются средним (на данном участке спектра) уровнем шума. Стоит отметить, что при чрезмерно большом значении допуска функция может «не заметить» гармоническую составляющую, а при слишком малом – принять за неё локальные максимумы фазового шума.

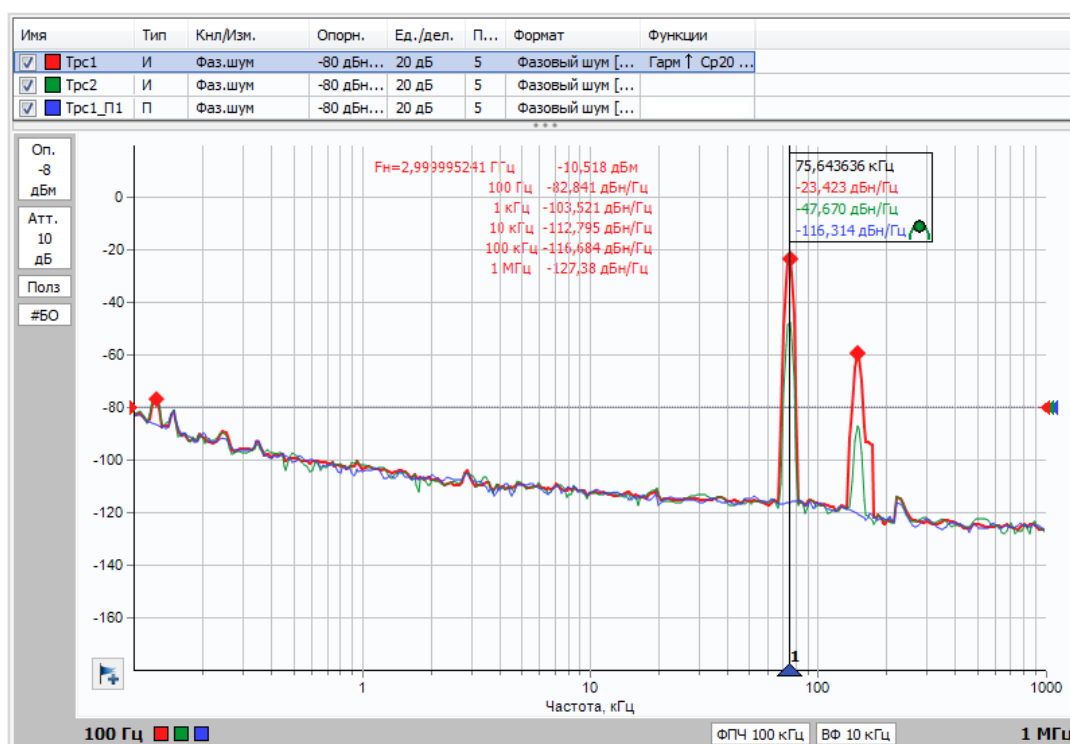


Рисунок 7.7 – Работа функции «Обработка гармоник»

7.7 Аналоговая демодуляция (опция АДП)

7.7.1 Общая информация

Аналоговая демодуляция проводится в режиме «СК4М. Аналоговая демодуляция». Стоит отметить, что в данном режиме присутствуют некоторые специфические отличия в наборе доступных функций и параметров СК4.

i Для активации программной опции АДП необходимо однократно добавить файл-ключ лицензии (см. п. 3.4).

Аналоговая демодуляция АМ, ЧМ или ФМ сигнала производится следу-

ющим образом:

- настройка СК4 на несущую частоту модулированного сигнала;
- измерение сигнала в заданной полосе частот и длительностью с необходимым разрешением;
- расчёт и отображение спектра модулированного (ВЧ) сигнала;
- предварительная фильтрация и преобразование квадратурных составляющих оцифрованного сигнала в соответствии с выбранным типом модуляции;
- нормирование и отображение огибающей демодулированного (НЧ) сигнала;
- расчёт и отображение спектра НЧ-сигнала;
- оценка и отображение параметров модуляции и искажений.

7.7.2 Настройка и запуск измерений

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура аналоговой демодуляции

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подключить источник сигнала к входу СВЧ СК4.

 **Внимание!** *запрещается подавать на вход «→ ВХОД» СК4 мощность и постоянное напряжение, превышающие предельные значения; для сохранности входных цепей, уровень сигнала на входе «→ ВХОД» СК4 должен быть меньше значения, указанного на передней панели СК4 рядом со знаком  (выбирается одно из указанных значений в зависимости от состояния индикаторов) при этом мощность на первом смесителе должна быть меньше 0,01 Вт; для определения этой мощности необходимо пересчитать мощность на входе «→ ВХОД» к выходу ВЧ-аттенюатора на величину его текущего номинального ослабления (отображается на боковой статусной панели в виде ); для обеспечения корректности измерений входная мощность не должна превышать значение опорного уровня; в случае наступления перегрузки АЦП, в программе управления на боковой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки . При необходимости усиления включите МШУ.*

- Шаг 3.** На панели управления «Частота» (рисунок 4.16-б) задайте параметры ВЧ-сигнала «Центр» (частота несущей) и «Полоса», на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.12-в) установите значение опорного уровня СК4, соответствующее ожидаемому уровню сигнала, либо воспользуйтесь функцией «Автонастройка», если уровень сигнала превышает минус 40 дБм.
- Шаг 4.** Задайте начальную и конечную частоты НЧ-спектра (максимальное значение ограничивается половиной установленной полосы ВЧ-сигнала).
- Шаг 5.** Выберите тип модуляции и задайте время развёртки демодулированного сигнала на панели управления «Измерение» (рисунок 4.16-а).
- Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Измерение», либо кнопкой (см. таблицу 4.3).

 *Необходимо отметить, что скорость измерений одновременно зависит от нескольких параметров – анализируемой полосы ВЧ-сигнала, времени развёртки демодулированного сигнала, а также используемых фильтров разрешения ВЧ и НЧ-спектров.*

На рисунке 7.8 представлен пример демодуляции ФМ-сигнала – помимо его спектра (левое верхнее окно) отображаются огибающая (правая диаграмма) и спектр (нижнее левое окно) НЧ-сигнала, а также окно «Параметры модуляции» (информационная панель), содержащее оценку следующих параметров (соответствующие формулы приведены в ч. I настоящего РЭ, см. приложение с описанием основных видов измерений и формулами):

- «Пик+» – максимальная амплитуда НЧ-сигнала;
- «Пик-» – минимальная амплитуда НЧ-сигнала;
- «Размах/2» – половина размаха амплитуды НЧ-сигнала, соответствующая коэффициенту АМ, девиации частоты (ЧМ) или фазы (ФМ);
- «СКЗ» – среднеквадратическое значение (*root-mean-square, RMS*) НЧ-сигнала;
- «Мощность несущей» – максимальный уровень сигнала в ВЧ-спектре на входе СК4 (отображается в единицах мощности трассы ВЧ-спектра);
- «Смещение несущей» – оценка смещения несущей частоты относительно центральной частоты СК4 (только для ЧМ и ФМ сигналов, см. п. 7.7.3);
- «Частота модуляции» – частота модулирующего сигнала (определяется как частота составляющей НЧ-спектра с максимальной амплитудой);

- «ОСШИ» – отношение сигнал/шум с учётом искажений (*signal-to-noise and distortion ratio, SINAD*);
- «ОСШ» – отношение сигнал/шум (*signal-to-noise ratio, SNR*);
- «КИ» – коэффициент искажений (*Total Vrms*);
- «КГИ» – коэффициент гармонических искажений (*total harmonics distortion, THD_F*).

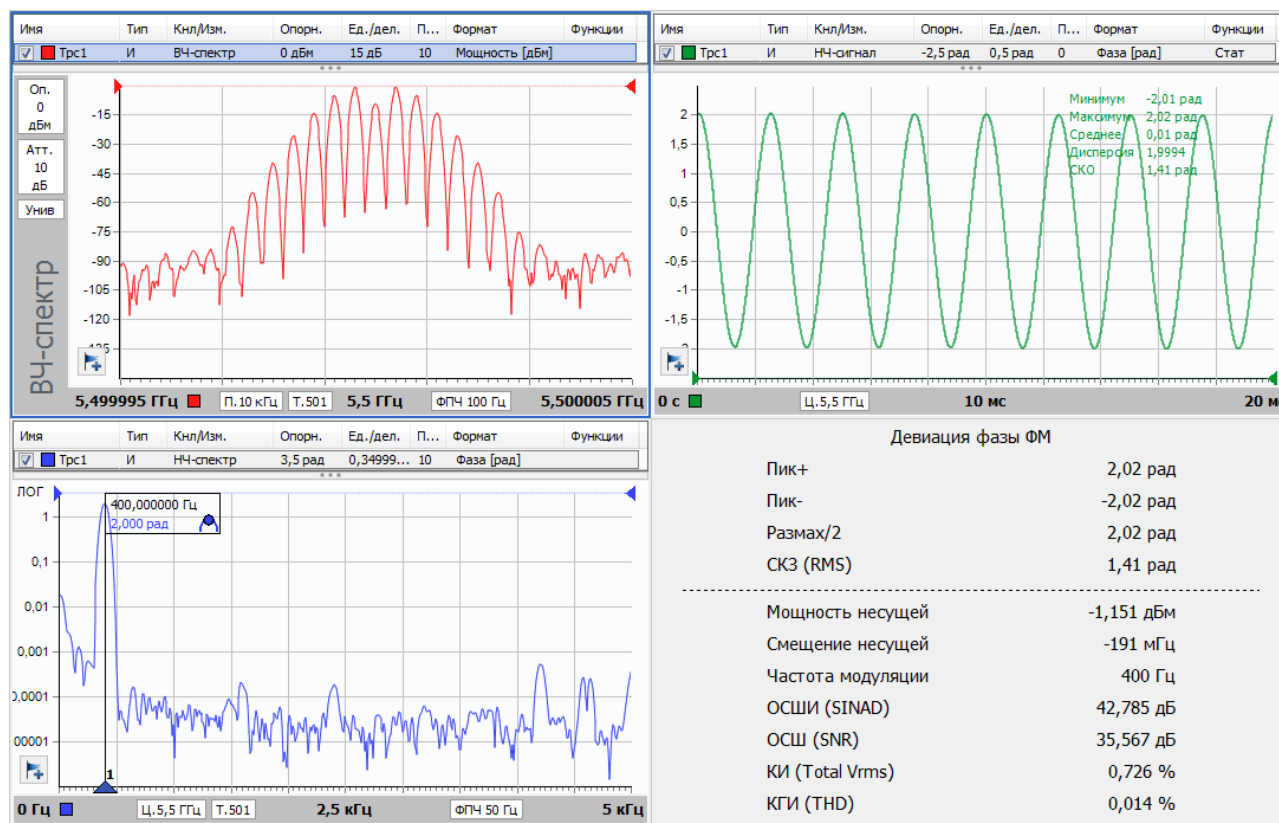


Рисунок 7.8 – Результат демодуляции ФМ-сигнала

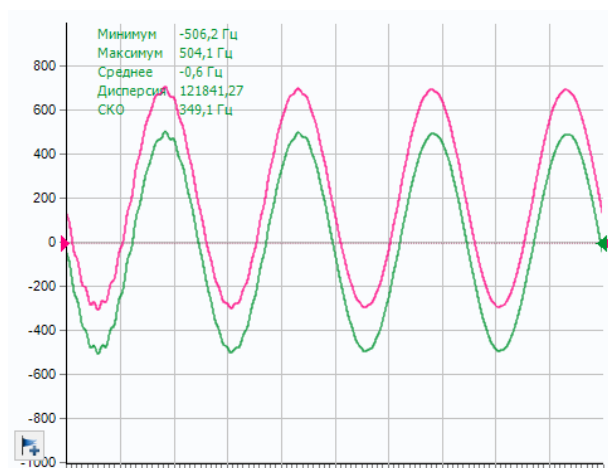
7.7.3 Компенсация смещения несущей частоты

Несовпадение частоты настройки СК4 и несущей частоты модулированного сигнала приводит к следующим эффектам:

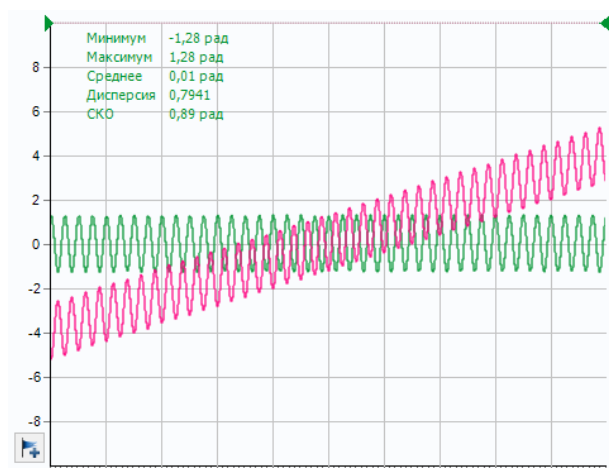
- смещение огибающей демодулированного ЧМ-сигнала по оси ординат (появление постоянной составляющей, в том числе в НЧ-спектре), что приводит к некорректной оценке параметров «Пик+», «Пик-», СКЗ, ОСШИ и других;
- наличие постоянного набега фазы демодулированного ФМ-сигнала, который способствует внесению значительных ошибок в оценку большинства параметров модуляции.

Функция компенсации смещения несущей частоты (рисунок 4.16-б) вы-

ключена по умолчанию, но может быть использована в автоматическом или ручном режимах. В автоматическом режиме ПО *Graphit* производит оценку смещения несущей частоты и корректирует форму демодулированного сигнала. На рисунках 7.9 красным трассам соответствуют измерения с выключенной компенсацией смещения, зелёным трассам – измерения с компенсацией в режиме «Авто». В ручном режиме компенсация производится с учётом смещения частоты, задаваемым пользователем.



а) ЧМ-сигнал



б) ФМ-сигнал

Рисунок 7.9 – Автоматическая компенсация смещения несущей частоты

7.8 Измерение времени развертки

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

Настройка маркеров для измерения времени развертки производится в следующем порядке.

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Провести запуск СК4 в необходимом режиме измерения.

Шаг 3. Добавить два маркера, с помощью которых будет проводиться измерение времени развертки (о работе с маркерами см. п. 4.10), и установить связь между ними (см. п. 4.10.4).

Шаг 4. В контекстном меню связанного маркера выбрать сохраненную формулу «Время последнего свипа» или «Время свипа». Снять показания связанного маркера.

7.9 Исключение/встраивание цепей, компенсация

Описываемые в данном подразделе функции доступны в режимах «СК4М. Анализатор спектра», «СК4М. Аналоговая демодуляция», «СК4М. Модуляционный метод ИКШ».

Если калибровка выполнена в одном тракте, а измерять необходимо в другом, либо во время измерения необходимо перенести опорную плоскость (т.е. сечение, в котором проводятся измерения), 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» или, как частный случай, «компенсация внешней цепи» (рисунок 7.10).

Функция «встраивание цепи», наоборот, вносит влияние несуществующей при измерениях цепи (рисунок 7.10). Это может быть полезно при настройке устройства, которое будет включено в блок, содержащий некоторые корректирующие цепи или нагрузки. Данная функция для СК4 в явном виде не предусмотрена, тем не менее, ее можно косвенно использовать, задавая при компенсации внешней цепи вместо КП цепи $G_{\text{дц}}$ величину обрутную (т.е. вместо $G_{\text{дц}}[\text{отн.ед.}]$ задавать $1/G_{\text{дц}}[\text{отн.ед.}]$) и далее применять функцию компенсации.

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

В режимах «СК4М. Анализатор спектра» и «СК4М. Аналоговая демодуляция» включение функции компенсации цепи осуществляется через панель управления «Амплитудные параметры > Компенсация внешней цепи» с помощью соответствующего переключателя (ВКЛ/ВЫКЛ) (рисунок 4.12-в).

В режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» вместо функции «Компенсация внешней цепи» аналогичным образом можно включить функции «Компенсация внешней цепи до ИУ» и «Компенсация внешней цепи после ИУ». Это обусловлено тем, что формула коррекции результата измерения КШ зависит от того, где именно располагается дополнительная цепь – до или после ИУ.

Характеристика внешней цепи задается в таблице окна, открывающегося при нажатии кнопки «Таблица КП...» (рисунок 7.11). Характеристика формируется путём кусочно-линейной аппроксимации заданных точек. Вне заданного

диапазона, значение корректирующего коэффициента экстраполируется путём сохранения уровня ослабления крайних заданных значений. Сортировка характеристики по значениям частот происходит автоматически после закрытия окна. Указанная таблица позволяет задавать частотные коэффициенты передачи внешних цепей, подключаемых к входу (или выходу) ИУ, с целью учёта этих параметров и коррекции отображаемого уровня, например, для компенсации потерь сигнала в кабеле и т.п.

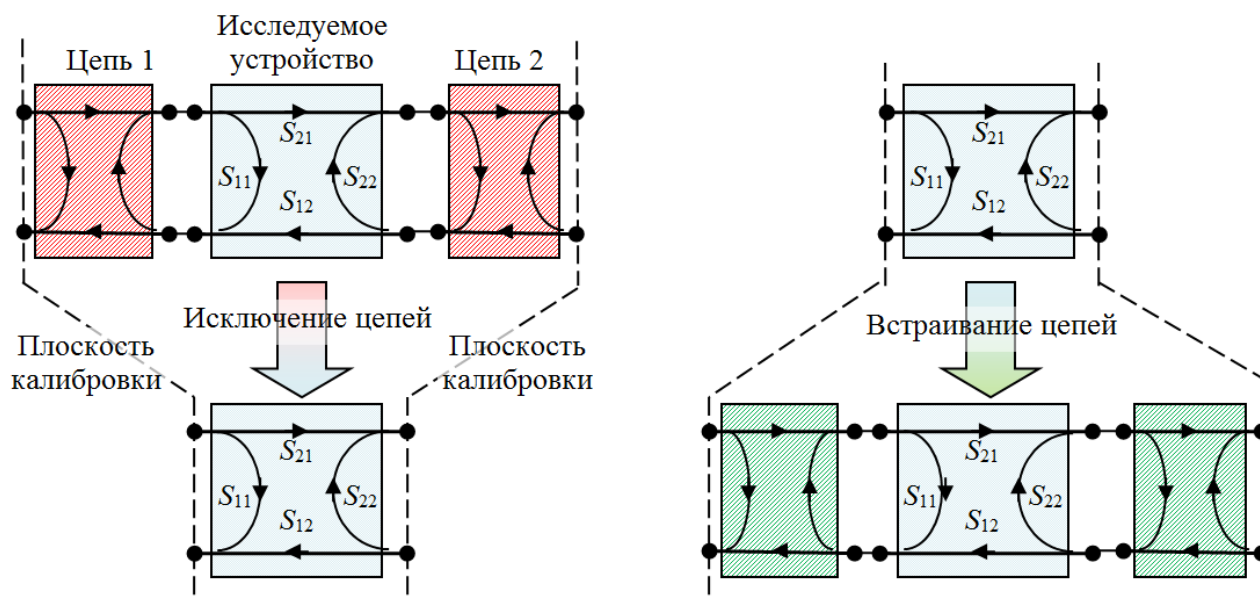
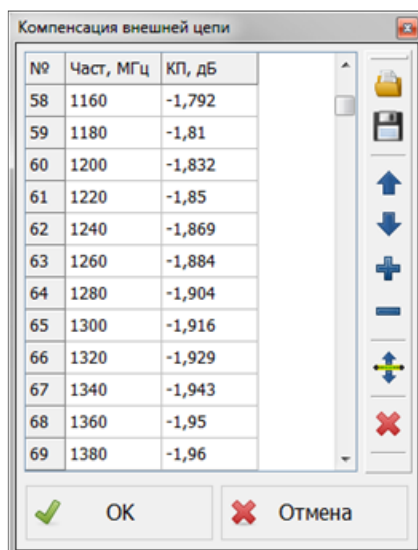


Рисунок 7.10 Встраивание и исключение цепей

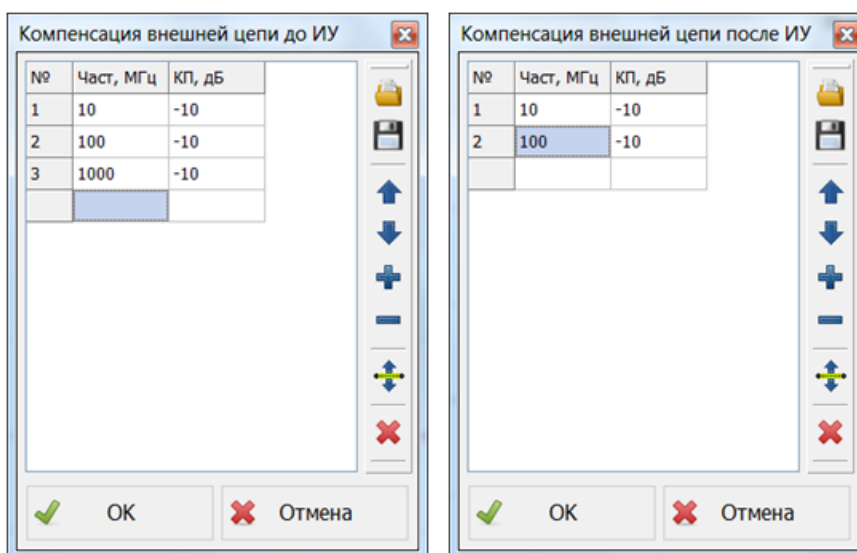
Используя кнопки в правой части окна, можно сохранить сформированную таблицу в файл, а также загрузить характеристику из файла трассы (формат *.tr), или файла стандартного текстового формата S-параметров Touchstone® (*.s2p), либо другого текстового файла, содержащего два столбца значений, разделённых символами табуляции или запятыми (*.csv)¹⁾. С помощью кнопок можно редактировать таблицу в окне, перемещаясь по строкам, добавляя или удаляя строки. Можно также очистить всю таблицу.

При включении данной функции на боковой статусной панели отобразится соответствующий индикатор  (см. таблицу 4.2).

¹⁾В том случае, если в диалоге открытия файла в поле со списком расширений файлов («Тип файлов») отсутствует расширение «*.csv» или «*.*», необходимо в поле ввода «Имя файла» набрать «*.*» (без кавычек) и нажать клавишу **«Enter»**. После этого в диалоге открытия файлов будут отображаться файлы всех типов.



а)



б)

Рисунок 7.11 – Окно характеристики КП внешней цепи: а) в режимах «СК4М. Анализатор спектра» и «СК4М. Аналоговая демодуляция»; б) в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

7.10 Использование переходов

Разъёмы исследуемого устройства, калибровочных мер и кабельных сборок могут быть несовместимы друг с другом. Несовместимость может быть обусловлена различием как видов разъёмов (вилка или розетка), так и их типов

(3,5 мм; 2,92 мм; 2,4 мм, N, III и др.) Для соединения устройств с несовместимыми разъёмами используются переходы.

Переходы вызывают дополнительные отражения, задержку и ослабление сигнала. Это не оказывает влияния на результаты измерений, если переход постоянно присутствует в тракте, как при калибровке, так и при измерениях. Если переход вставляется или удаляется после калибровки, его влияние необходимо учитывать. Это можно сделать с помощью функции встраивания и исключения цепей (см. п. 7.9).

7.11 Система синхронизации СК4

В СК4 предусмотрено два вида синхронизации – цифровая и аналоговая. Система цифровой синхронизации предназначена для работы СК4 в комплексе с другими измерительными приборами (например для синхронной перестройки приборов по частоте) или для управления внешними устройствами – переключателями, модуляторами и т.п. Использование цифровой синхронизации предусмотрено только для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ». Для режима «СК4М. Анализатор спектра» цифровая синхронизация не предусмотрена ввиду того, что: а) частоты, на которых отображается спектр, не совпадают с частотами, на которых СК4 производит непосредственное измерение (ввиду необходимости обеспечения обнаружения сигнала вне зависимости от его частоты); б) часть фильтров ПЧ реализованы с помощью алгоритма БПФ, при этом перестройка по частоте происходит по алгоритму, отличному от типичной последовательной перестройки (как, например, в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»). Аналоговая синхронизация предназначена для синхронизации опорного генератора.

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

- «СИНХР » – выходы сигналов цифровой синхронизации (используется только для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»);
- «СИНХР » – вход сигнала цифровой синхронизации (используется только для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»);
- «ОГ » – выход опорного генератора частотой 10 МГц (аналоговая синхронизация);
- «ОГ » – вход опорного генератора частотой 10 МГц (аналоговая синхронизация).

Структурная схема системы синхронизации приведена на рисунке 7.12.

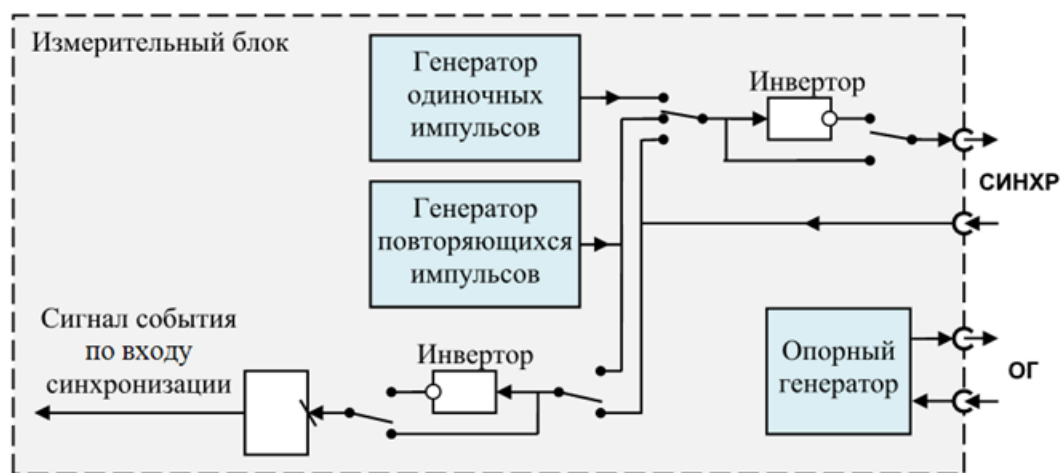


Рисунок 7.12 – Структурная схема системы синхронизации

Система аналоговой синхронизации

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

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

Система цифровой синхронизации (для режимов «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»)

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

Параметры системы синхронизации задаются на панели управления «Синхронизация», представленной на рисунке 4.17-б.

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

- «не используется» – на выходе устанавливается постоянное напряжение 0 В или 5 В, если установлен флажок «Инвертирование»;

- «старт развёртки» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с началом развёртки по частоте;
- «след. точка» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с началом перестройки на очередную частотную точку;
- «захват ФАПЧ» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, фронт которых совпадает с окончанием перестройки частоты;
- «транслируется вход» – на выход поступает ретранслированный сигнал с входа.

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

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

На рисунке 7.13 приведены эпюры напряжений на выходе синхронизации, формируемых в зависимости от режима синхронизации и выполняемой измерительным блоком операции.

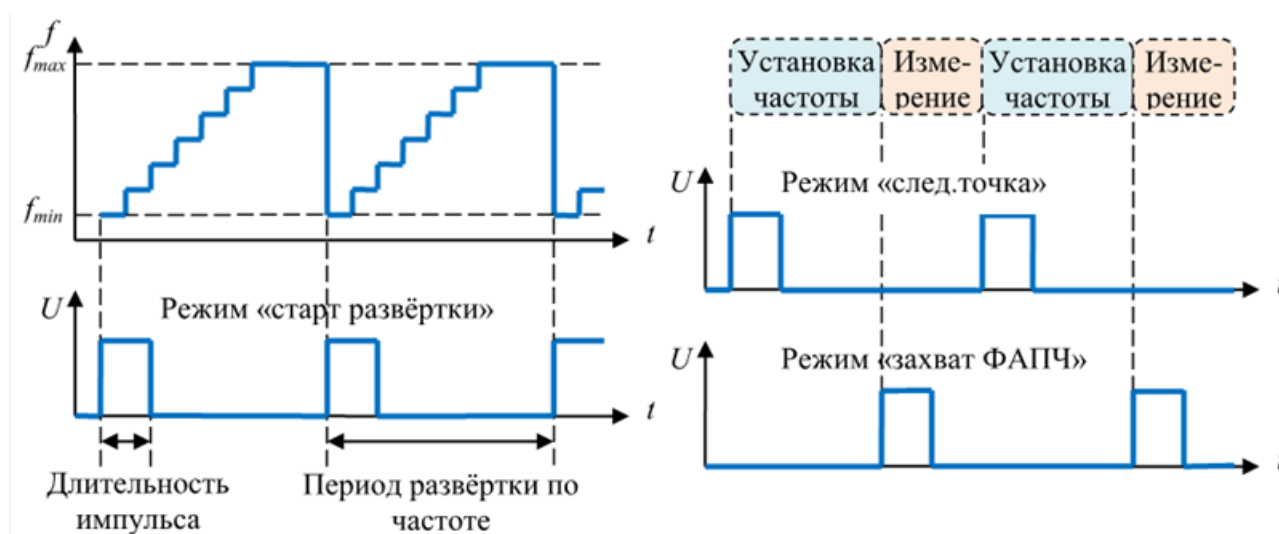


Рисунок 7.13 – Режимы работы выхода синхронизации

Вход синхронизации. По фронту поступившего на вход синхроимпульса фиксируется «Событие по входу синхронизации» (рисунок 7.12). Включение тумблера «Инверсия синхровыхода» 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.

На рисунке 7.14 показано изменение этапов работы измерительного блока в зависимости от режима синхронизации и поступления входных синхроимпульсов.

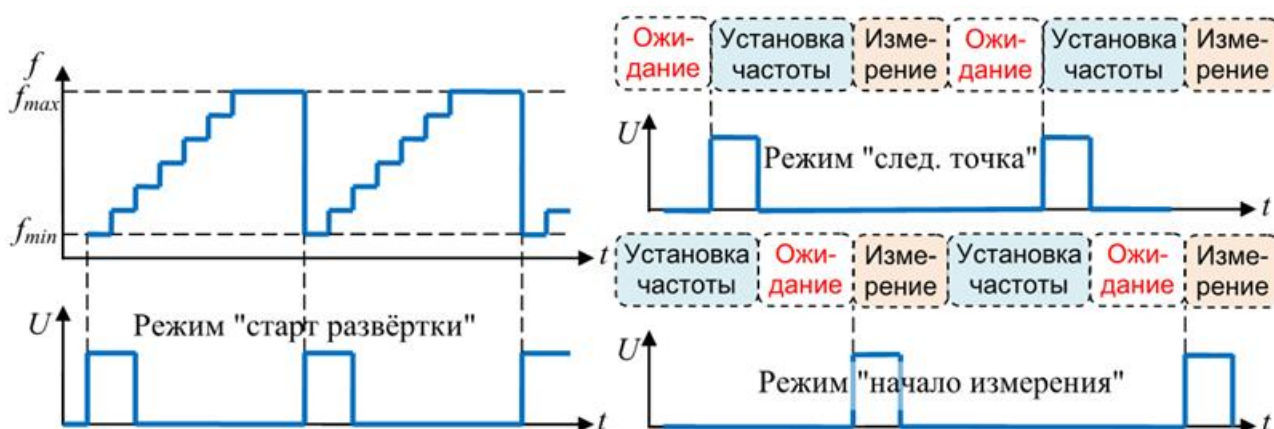


Рисунок 7.14 – Режимы работы входа синхронизации

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

- ширина полосы обзора и количество точек в настройках обоих приборов должны быть одинаковыми;
- при запуске сканирования существует возможность пропуска первого синхроимпульса, когда один прибор стартовал и уже сформировал синхроимпульс, а второй ещё не начал работу; поэтому первым следует запускать прибор, ожидающий первый синхроимпульс.

Рассмотрим пример синхронной работы некоторого СК4, выступающего в роли измерителя, и векторного анализатора Р42 в режиме генератора.

Входы и выходы синхронизации соединяются и настраиваются в ПО *Graphit* согласно схеме на рисунке 7.15.

Начать измерение в частотной точке можно в том случае, когда оба прибора закончили перестройку в данную точку, поэтому сигнал «Захват ФАПЧ» от Р42 должен запускать начало измерения в СК4. В рассматриваемом примере измерения следует запускать сначала на Р42.

В результате СК4 и Р42 будут работать следующим образом:

а) с началом перестройки на следующую частоту СК4 формирует синхроимпульс;

- б) Р42 по фронту синхроимпульса также начинает перестройку частоты;
- в) Р42, закончив перестройку частоты, формирует синхроимпульс;
- г) СК4, закончив перестройку частоты, ожидает прихода синхроимпульса, если тот не пришёл раньше, после чего начинает измерение.

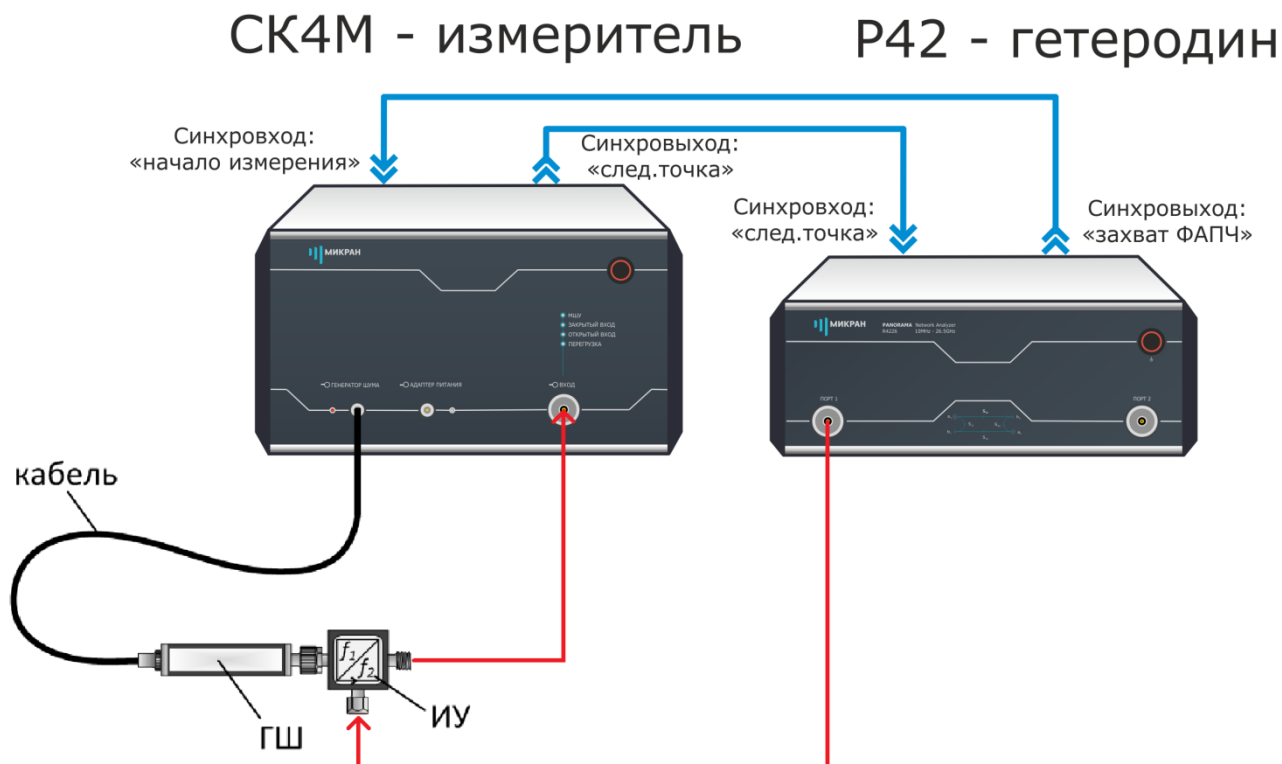


Рисунок 7.15 – Схема подключения входов и выходов синхронизации

7.12 Измерение устройств с преобразованием частоты

7.12.1 Общие сведения

Настройка параметров измерения устройств с преобразованием частоты (смесителей, конверторов и т.п.) производится на соответствующей панели управления (рисунок 4.20), описание доступных режимов преобразования приведено в таблице 7.1.

Для синхронной работы СК4 и внешнего гетеродина следует использовать систему цифровой синхронизации приборов (см. п. 7.11).

Для режимов преобразования **«вверх»** или **«вниз»** активируется поле «Частота гетеродина», от величины которой зависит диапазон частот на выходе ИУ (так называемые частоты ПЧ) и, соответственно, на входе СК4. Значение частоты гетеродина также учитывается при применении калибровочных данных и расчёте значений ИОШТ ГШ для получения трасс КП и КШ.

Т а б л и ц а 7.1 – Режимы преобразования частоты в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

Режим преобразования	Формула преобразования частоты, где f – входная ИУ, f' – преобразованная (ПЧ), f_{LO} – гетеродина	Примечание
«Не используется»	$f' = f$	
«Вверх»	$f' = f + f_{LO}, f_{LO} = const$	f' задаётся на панели управления «Частота» и соответствует входной частоте СК4
«Вниз»	$f' = f - f_{LO}, f_{LO} = const$	
«Фиксированная ПЧ»	$f' = f \pm f_{LO} = const$	f задаётся на панели управления «Частота» и соответствует входной частоте ИУ

В режиме «**Фиксированная ПЧ**» можно измерять характеристики ИУ с перестраиваемым гетеродином (например, синтезатором частот Г7М) и фиксированной ПЧ, значение которой задаётся в соответствующем поле.

Отображение трассы на диаграмме можно осуществить как на преобразованных частотах (частоты ПЧ на выходе ИУ, входные – для СК4), так и на частотах до преобразования (входные частоты ИУ) выбором соответствующего параметра в списке «**Отображаемые частоты**». В режиме «Фиксированная ПЧ» ось абсцисс всегда соответствует частоте до преобразования. Следует иметь в виду, что при отображении преобразованных частот частотное сканирование СК4 по-прежнему осуществляется в том диапазоне, который установлен на панели управления «Частота». После установления параметров гетеродина, из таблицы «Измерение > Характеристика ГШ...» берутся соответствующие значения ENR ГШ в диапазонах ПЧ и входных частот исследуемого преобразователя (ENR должен быть прописан как в диапазоне входных сигналов СК4 т.е. диапазон ПЧ преобразователя, так и в диапазоне входных сигналов исследуемого преобразователя). Знак «–» перед значениями преобразованных частот говорит об инверсии преобразованного спектра. Если после установления параметров гетеродина и отображаемых частот измерительные трассы не отображаются в области диаграммы, необходимо повторить ввод параметров гетеродина.

7.12.2 Измерение КШ и КП в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» ИУ с преобразованием частот на фиксированную ПЧ

Здесь, для примера, анализатор цепей Р2М используется как перестраиваемый гетеродин. Пример приведен для измерений в режиме «СК4М. Модуля-

ционный метод ИКШ».

Измерения согласно данному подразделу рекомендуется проводить после этапа пользовательской калибровки (за исключением случаев, когда КП ИУ по мощности более 20 дБ) согласно п. 6.2.1. Пользовательская калибровка измерительного тракта проводится на одной частоте, равной ПЧ ИУ. Для этого задается нулевая полоса сканирования с центром, равным ПЧ, при этом на панели «Преобразование частоты» в списке «Преобразование частоты» должно быть выбрано значение «не используется». Следует убедиться, что указанная характеристика ИОШТ ГШ содержит данные как на входных частотах ИУ, так и на ПЧ.

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения КШ и КП ИУ с преобразованием частот на фиксированную ПЧ

- Шаг 1.** Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.enr или *.ngd (см. п. 6.2.1 Шаг 2).
- Шаг 3.** Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.
- Шаг 4.** Собрать измерительную схему, соединить входы/выходы синхронизации и настроить их в ПО *Graphit* согласно схеме на рисунке 7.15:
- разъем питания ГШ соединить с разъемом ГЕНЕРАТОР ШУМА СК4 при помощи кабеля питания ГШ;

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

- подключить ИУ (возможно через Атт, вентиль или фильтр) как показано на рисунке 7.15. Если выходная мощность ИУ превышает допустимые входные значения, указанные в ТХ, или вызывает сра-

батывание индикатора перегрузки, то необходимо использовать соответствующий аттенюатор Атт;

- подключить ГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

❗ Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

❗ Внимание! Если для подключения ГШ к ИУ используется переход, то S-параметры перехода повлияют на характеристику ИОШТ ГШ, что в свою очередь требует коррекции характеристики ГШ или его переопределения!

Шаг 5. Установить параметры измерения:

❗ Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать в СК4 частотный диапазон, соответствующий входному сигналу ИУ (для этого случая он может быть больше, чем рабочий диапазон СК4), и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.13-б), об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1;
- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.13-б) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды;
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.13-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- в Р42 также выставить нужные диапазоны частот, при этом ширина полосы и количество точек должны быть такими же, как и в СК4;

- на панели «Преобразование частоты» в списке «Преобразование частоты» выбрать значение «Фиксированная ПЧ»; а в поле ввода «Фиксированная ПЧ» задать значение ПЧ; следует отметить, что установка частот СК4, находящихся за пределами его рабочего диапазона, возможна только в режиме «Фиксированная ПЧ»;
- в случае, если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка».

 *Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели (см. таблицу 4.2).*

Шаг 6. Запустить измерения сначала на Р42. Запустить измерения на СК4 командой меню «Управление > Измерение» или соответствующей кнопке панели инструментов. Убедиться, что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки СК4.

В результате полученные измерительные трассы КП и КШ будут соответствовать входным частотам ИУ, при том, что фактически СК4 будет настроен на одну частоту ПЧ.

Шаг 7. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

7.12.3 Измерения КШ и КП ИУ с преобразованием частот при фиксированной частоте гетеродина

В данном подразделе приведен пример измерения характеристик преобразователя частоты MD-138015-P1, который будет выступать в качестве ИУ. Пример приведен для измерений в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ».

Технические характеристики ИУ с преобразованием частоты:

Диапазон входных частот: 13,2–14,4 ГГц.

Частота внутреннего гетеродина: 15,3 ГГц.

Промежуточная частота: 0,9–2,1 ГГц.

Коэффициент шума: 2 дБ.

Коэффициент передачи: 55 дБ.

Измерения согласно данному подразделу рекомендуется проводить после этапа пользовательской калибровки (за исключением случаев, когда КП ИУ по

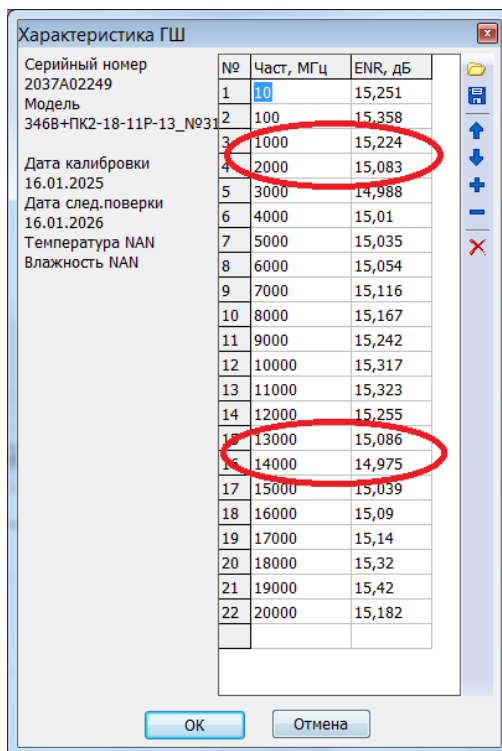
мощности более 20 дБ) согласно п. 6.2.1. Необходимо провести пользовательскую калибровку в диапазоне ПЧ: для нашего случая в необходимо установить диапазон частот от 500 до 2500 МГц.

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения КШ и КП ИУ с преобразованием частот при фиксированной частоте гетеродина

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего РЭ, и включить его.

Шаг 2. Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.enr или *.ngd (см. п. 6.2.1 Шаг 2). При этом ИОШТ должна быть прописана как в диапазоне входных сигналов СК4 (диапазон ПЧ конвертора), так и в диапазоне входных сигналов измеряемого конвертора, как показано рисунке 7.16.



№	Част, МГц	ENR, дБ
1	10	15,251
2	100	15,358
3	1000	15,224
4	2000	15,083
5	3000	14,988
6	4000	15,01
7	5000	15,035
8	6000	15,054
9	7000	15,116
10	8000	15,167
11	9000	15,242
12	10000	15,317
13	11000	15,323
14	12000	15,255
15	13000	15,086
16	14000	14,975
17	15000	15,039
18	16000	15,09
19	17000	15,14
20	18000	15,32
21	19000	15,42
22	20000	15,182

Рисунок 7.16 – Характеристика ГШ

Шаг 3. Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.

Шаг 4. Собрать измерительную схему:

- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА СК4 при помощи кабеля питания ГШ;

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

- подключить ИУ (возможно через Атт, вентиль или фильтр) ко входу СК4. Если выходная мощность ИУ превышает допустимые входные значения, указанные в ТХ, или вызывает срабатывание индикатора перегрузки, то необходимо использовать соответствующий аттенюатор Атт;
- подключить ГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

❗ Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

❗ Внимание! Если для подключения ГШ к ИУ используется переход, то S-параметры перехода повлияют на характеристику ИОШТ ГШ, что в свою очередь требует коррекции характеристики ГШ или его переопределения!

Шаг 5. Установить параметры измерения:

❗ Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать частотный диапазон и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.13-б), об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1;
- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.13-а) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды;
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.13-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- установить параметры измерения преобразователя на панели управления «Преобразование частоты» согласно рисунку 7.17 (более подробно о данной панели см. п. 4.6.6);
- в случае, если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка»;

i Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели (см. таблицу 4.2).

Шаг 6. Запустить измерения на СК4 командой меню «Управление > Измерение» или соответствующей кнопкой панели инструментов. Убедиться, что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки.

На рисунке 7.18 приведен результат таких измерений.

Шаг 7. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

Преобразование частоты

Преобразование частоты
Вверх

Частота гетеродина

15,3 ГГц

Фиксированная ПЧ

1 ГГц

Отображаемые частоты
Преобразованные

Рисунок 7.17 – Установка параметров на панели «Преобразование частоты»



Рисунок 7.18 – Результат измерения КШ и КП преобразователя частоты MD-138015-P1

7.12.4 Измерение КШ и КП ИУ с применением внешнего конвертера и фиксированной ПЧ

При измерении с использованием внешнего конвертера можно измерять КП и КШ устройств в более широком диапазоне частот, чем рабочий диапазон

частот СК4.

Здесь, для примера, анализатор цепей Р2М используется как перестраиваемый гетеродин. Пример приведен для измерений в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ».

Измерения согласно данному подразделу рекомендуется проводить после этапа пользовательской калибровки (за исключением случаев, когда КП ИУ по мощности более 20 дБ) согласно п. 6.2.1. Пользовательская калибровка измерительного тракта проводится на одной частоте, равной ПЧ ИУ. Для этого задается нулевая полоса сканирования с центром, равным ПЧ, при этом на панели «Преобразование частоты» в списке «Преобразование частоты» должно быть выбрано значение «не используется». Следует убедиться, что указанная характеристика ИОШТ ГШ содержит данные как на входных частотах ИУ, так и на ПЧ. При этом для процесса пользовательской калибровки следует использовать схему, приведенную на рисунке 7.19.

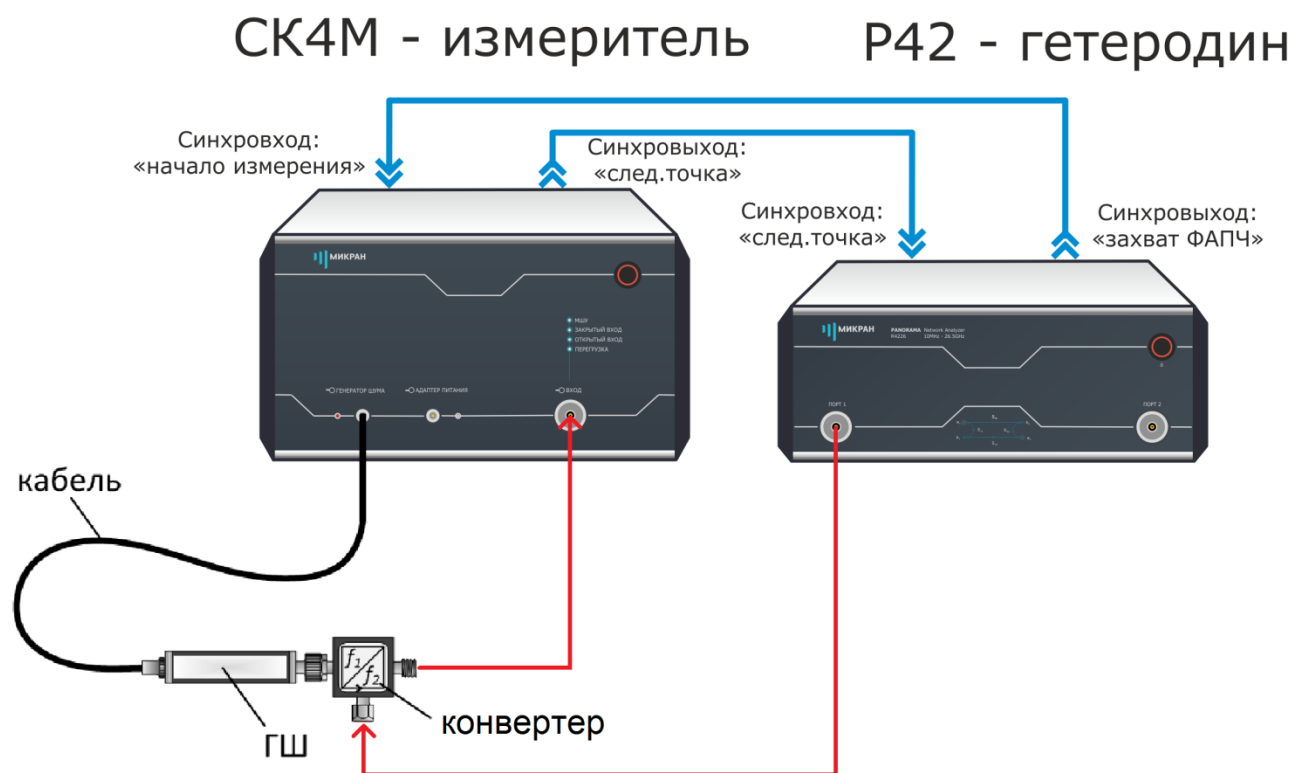


Рисунок 7.19 – Схема калибровки

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

Процедура измерения КШ и КП ИУ с применением внешнего конвертора и фиксированной ПЧ

Шаг 1. Проверить готовность СК4 к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в сведениях о порядке подготовки к проведению измерений из раздела о порядке работы ч. I настоящего

РЭ, и включить его.

- Шаг 2.** Подготовить к работе эталонный ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него. Подготовить файл со значениями ИОШТ на него в формате *.enr или *.ngd (см. п. 6.2.1 Шаг 2).
- Шаг 3.** Подготовить также ИУ; пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.
- Шаг 4.** Собрать измерительную схему, соединить входы/выходы синхронизации и настроить их в ПО *Graphit* согласно схеме на рисунке 7.20:
- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА СК4 при помощи кабеля питания ГШ;

❗ Внимание! Во избежание короткого замыкания между внутренним и внешним проводниками разъёма питания генератора шума СК4 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к СК4 без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC (вилка) – BNC (вилка) в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к СК4! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

- выход ИУ подключить (возможно, через Атт, вентиль или фильтр) ко входу внешнего конвертера, как показано на рисунке 7.20. Если выходная мощность ИУ превышает допустимые входные значения, указанные в ТХ, или вызывает срабатывание индикатора перегрузки, то необходимо использовать соответствующий аттенюатор Атт;
- подключить ГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

❗ Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе ч. I настоящего РЭ). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

Внимание! Если для подключения ГШ к ИУ используется переход, то S-параметры перехода повлияют на характеристику ИОШТ ГШ, что в свою очередь требует коррекции характеристики ГШ или его переопределения!

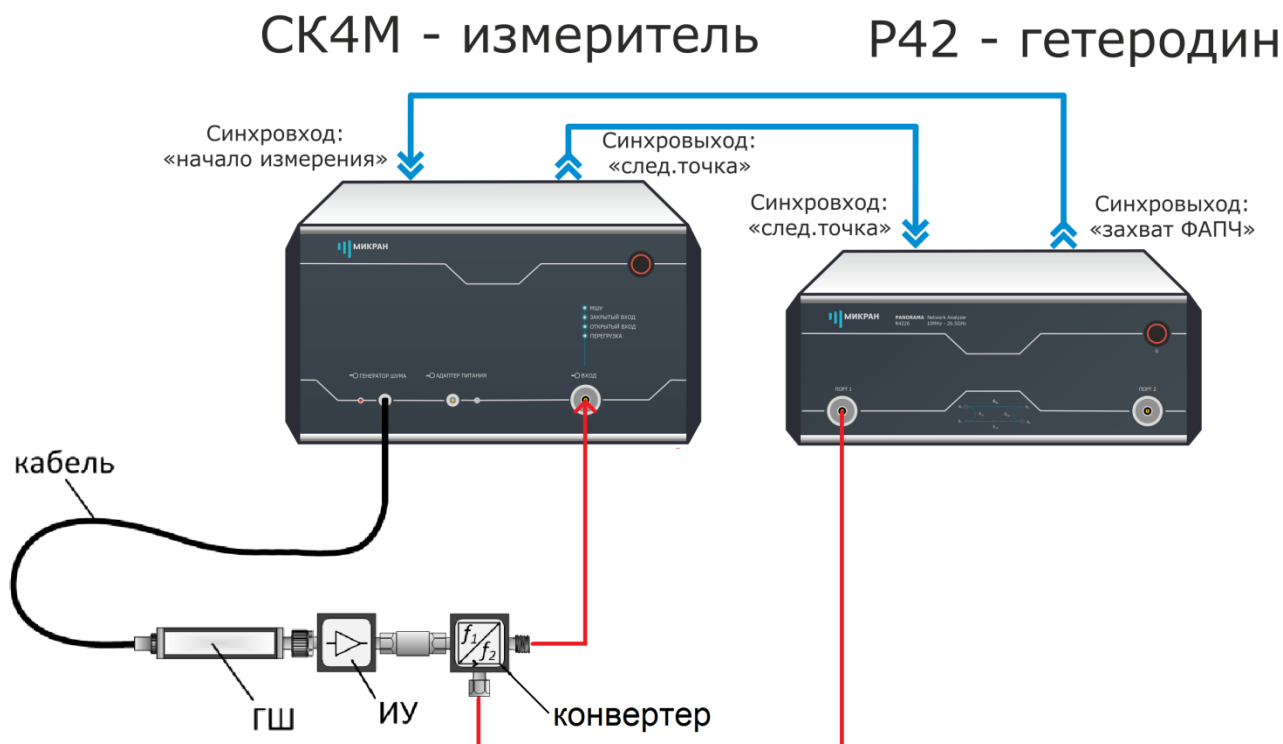


Рисунок 7.20 – Схема измерения ИУ с применением внешнего конвертера и фиксированной ПЧ

Шаг 5. Установить параметры измерения:

Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- задать в СК4 частотный диапазон, соответствующий входному сигналу ИУ (для этого случая он может быть больше, чем рабочий диапазон СК4), и количество точек, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (см. рисунок 4.13-б), об управлении параметрами СК4 указано в п. 5.1;
- на панели управления «Измерение» (рисунок 4.13-а) задать полосу

фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды;

- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 4.13-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- в Р42 также выставить нужные диапазоны частот, при этом ширина полосы и количество точек должны быть такими же, как и в СК4;
- на панели «Преобразование частоты» в списке «Преобразование частоты» выбрать значение «Фиксированная ПЧ»; а в поле ввода «Фиксированная ПЧ» задать значение ПЧ; следует отметить, что установка частот СК4, находящихся за пределами его рабочего диапазона, возможна только в режиме «Фиксированная ПЧ»;
- в случае, если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка».

 *Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели (см. таблицу 4.2).*

Шаг 6. Запустить измерения сначала на Р42. Запустить измерения на СК4 командой меню «Управление > Измерение» или соответствующей кнопке панели инструментов. Убедиться, что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки.

В результате полученные измерительные трассы КП и КШ будут соответствовать входным частотам ИУ, при том, что фактически СК4 будет настроен на одну частоту ПЧ.

Шаг 7. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

Приложение А (справочное) Форматы используемых файлов

А.1 Формат *SnP*-файлов

Формат *SnP*-файлов предназначены для описания многополюсников через либо *S*-, либо *Y*-, либо *Z*-, либо *G*-, либо *H*-параметры, а также через шумовые параметры.

Файл *SnP* должен соответствовать спецификации «Touchstone® File Format Specification». Согласно указанному документу *SnP*-файл – это текстовый файл, который может быть отредактирован в стандартном текстовом редакторе, например в Блокноте MS Windows®. Данный файл может иметь, например, следующий вид:

```
!Комментарии
!...
!Комментарии
# GHz S dB R 50
0.01 -42.163 1.456 -70.744 -0.599 -69.259 -7.190 -52.176 162.923
0.02 -41.878 1.297 -68.601 -2.742 -71.071 -5.366 -52.796 147.622
22 -41.699 1.083 -69.025 -5.857 -69.414 -1.914 -52.579 137.079
!Шумовые параметры
0.01 2 0.1 -45 20
18 2.7 0.46 -33 0.40
```

где используются следующие знаки и символы:

- ! – означает знак комментария, после которого может следовать произвольный текст;
- # – символ, означающий начало строки опций; строка опций для версии 1.0 и 1.1 должна быть первой некомментирующей и непустой строкой в файле; параметры в строке опций разделяются одним или несколькими пробелами; данная строка имеет для описания двухпортового устройства следующий шаблон:

```
# [Hz|kHz|MHz|GHz] [S|Y|Z|G|H] [DB|MA|RI] [R n];
```

где [Hz|kHz|MHz|GHz] – возможные значения единиц измерения частоты;

[S|Y|Z|G|H] – тип параметров, соответственно либо *S*-, либо *Y*-, либо *Z*-, либо *G*-, либо *H*-параметры;

[DB|MA|RI] – формат, в котором указаны комплексные параметры, соответственно либо в виде модуля в дБ и фазы в градусах, либо в виде модуля в отн. ед. и фазы в градусах, либо в виде реальной и мнимой части в отн. ед.

По умолчанию в версии 1.0 порядок указания комплексных параметров таков:

$$|N11| \varphi(N11) |N21| \varphi(N21) |N12| \varphi(N12) |N22| \varphi(N22),$$

где $|N_{xx}|$ и $|N_{yx}|$ – соответственно для S -параметров модуль КО и КП;
 $\varphi(S_{xx})$ и $\varphi(S_{yx})$ – соответственно для S -параметров фаза КО и КП.

Но в версиях 2.0 и выше для двухпортового устройства требуется ключевое слово [Two-Port Data Order] с указанием аргументов либо 21_12, либо 12_21. Использование ключевого слова [Two-Port Data Order] с аргументом 12_21 позволяет обратный порядок параметров, т.е.:

$$\langle \text{значение частоты} \rangle \langle N11 \rangle \langle N12 \rangle \langle N21 \rangle \langle N22 \rangle.$$

После строки опций должны следовать данные параметров цепей, отдельные данные разделяются пробелами. Значения частоты должны появляться только в начале строки с данными после знака окончания предыдущей строки.

Помимо S -, либо Y -, либо Z -, либо G -, либо H -параметров в файл могут быть добавлены шумовые параметры, но только для файлов, описывающих двухпортовые устройства. Шумовые параметры должны задаваться после данных с S -параметрами. Для версии 2.0 и 2.1 они должны начинаться после ключевого слова [Noise Data], а также при этом должно присутствовать ключевое слово [Number of Noise Frequencies] с числовым аргументом, означающим количество частотных точек для шумовых параметров. Частота первой точки для шумовых параметров должна быть меньше или равна последней частоте из данных S -параметров. Для шумовых параметров предполагается, что порт 1 – это источник. Шаблон строки данных для шумовых параметров следующий:

$$\langle \text{значение частоты} \rangle \langle Fmin \rangle \langle Mag \rangle \langle Ang \rangle \langle rn \rangle$$

где $Fmin$ – минимальный коэффициент шума в дБ;

$\langle Mag \rangle$ – модуль КО, соответствующий $Fmin$, отн.ед.;

$\langle Mag \rangle$ – фаза КО, соответствующая $Fmin$, градусы;

$\langle rn \rangle$ – эффективное шумовое сопротивление, Ом; для версии 1.0 оно нормализовано относительно сопротивления, указанного в строке опций или 50 Ом в случае отсутствия этого сопротивления.

А.2 Формат ENR-файлов

ENR-файлы используются для описания ИОШТ генераторов шума и представляют собой текстовый файл, который может быть отредактирован в стандартном текстовом редакторе, например в Блокноте MS Windows®. Данный файл может иметь, например, следующий вид:

```
# ENR Data File
! Created by Graphit NS (version 2.6.12) using SK4M-50/4 1117200015
# 02.02.2024 10:52:24
# Format is: Frequency (Hz), ENR (dB)
[Filetype ENR]
[Version 1.1]
[Serialnumber 3328A04705]
[Model 346C K01]
[Caldate 20240202.10:52:24]
[Calduedate 20250202]
[Temperature NAN]
[Humidity NAN]
10000000000, 20.669
200000000000, 15.101
500000000000, 6.901
```

ИЛИ

```
[Filetype ENR]
[Version 1.0]
[Serialnumber 3318A15364]
[Model 346B]
[Caldate 20000110.13:53:54]
[Temperature 24C]
[Humidity 40%]
! Frequency ENR Unc Refl. Coef. On Refl. Coef. Off
! MHz dB dB Mag Phase Deg Mag Phase Deg
10 MHz 15.281 .193 .0450 -136.0 .0330 -66.0
1000 MHz 15.118 .151 .0398 +39.6 .0107 +164.5
2000 MHz 14.999 .168 .0377 -85.7 .0266 +.9
```

где # или ! – символ комментария, за которым может следовать произвольный текст; строка комментария может появляться в любом месте файла;

[– знак начала поля заголовка; ключевые слова между знаками «[» и «]», а также необязательные параметры в строке должны разделяться пробелами; пробелы после «]» игнорируются;

[Filetype ENR] – обязательное поле заголовка, означающее тип файла;

[Version 1.1] – обязательное поле заголовка, означающее версию формата;

остальные поля заголовков – необязательны;

[Caldate ...] и [Calduedate...] – необязательные поля со временем и датой в формате YYYYMMDD[.hh:mm:ss], т.е. соответственно четыре цифры под год, и по две цифры под месяц, число, часы, минуты и секунды;

[Temperature ...] – необязательное поле температуры со значением и следующей за ней единицей измерения (C, F или K);

[Humidity ...] – необязательное поле влажности со значением и следующей за ней необязательным знаком «%».

Каждая строка должна быть не более 100 символов, включая символы переноса и окончания строки. Пустые строки (т.е. только с пробелами, табуляци-

ями) игнорируются. Каждая строка интерпретируется как строка одного из типов:

- строка комментария;
- поле заголовка;
- данные *ENR*.

Частоты должны идти в возрастающем порядке.

Строка с данными *ENR* в общем случае имеет следующий шаблон:

*Freq [Funit] ENR [Eunit] [Euncert [on_mag on_phase off_mag off_phase [Run-
cert]]]*.

где квадратные скобки означают необязательные поля.

Разделитель

Поля разделяются пробелами, также для этого допускается знак запятой.

Числовые значения

За исключением двух необязательных полей с единицами измерений (т.е. *[Funit]* и *[Eunit]*), все остальные поля – числовые значения; числа в общем случае имеют шаблон

[+/-][x...x][.y...y][Exxx],

где *x* – цифра целой части числа;

y – цифра дробной части;

E или *e* – знак экспоненты.

Частоты (*Freq*)

[Funit] – необязательное поле единиц измерения частоты (Hz, kHz, MHz, GHz, THz), по умолчанию – Гц;

Поле *ENR*

[Eunit] – необязательное поле единиц измерения ИОШТ; по умолчанию – дБ (на данный момент единственная поддерживаемая единица, остальные – *K*, *C*, *F* (т.е. Фаренгейты) – резервные и не поддерживаются на данный момент).

[Euncert] – необязательное поле с неопределенностью измерения, может присутствовать, если имеются данные по коэффициенту отражения;

Данные КО

Данные по КО необязательны, состоят из четырех полей:

on_mag, *off_mag* – соответственно модуль КО для включенного и выключенного состояния ГШ, отн.ед.;

on_phase, *off_phase* – соответственно фаза КО для включенного и выключенного ГШ, градусы.

Если присутствуют данные хотя бы для одно из перечисленных аргументов, то должны присутствовать и остальные.

[Runcert] – необязательный параметр, указывающий неопределенность КО; если приведены эти данные, то также должны присутствовать и остальные данные для КО.

Приложение Б (справочное) Перечень возможных неисправностей

Перечень возможных неисправностей, причин их возникновения, а также рекомендации по действиям при возникновении аварийных режимов приведены в таблице Б.1. При возникновении ошибок и неисправностей, не описанных ниже, пожалуйста, постарайтесь зафиксировать эти неисправности (желательно при этом сохранить и экспортировать в файл текущий профиль ПО *Graphit* (см. п. 4.9), а также скопировать изображение экрана монитора при помощи клавиши «**Print Screen**») и выслать эту информацию по электронному адресу, указанному на титульном листе, с подробным описанием возникшей проблемы.

Т а б л и ц а Б.1 – Возможные неисправности

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
Проблемы общего характера		
1 СК4 не включается	СК4 не включён в сеть или неисправен сетевой кабель	Включите в сеть либо замените неисправный кабель
	Сгорел плавкий предохранитель	Замените плавкий предохранитель на исправный (см. раздел с описанием текущего ремонта ч. I настоящего РЭ)
Ошибки программного обеспечения		
2 При запуске ПО <i>Graphit</i> появляется сообщение об ошибке	Сбой профиля настроек пользователя	Установить настройки по умолчанию, используя меню «Профиль > Восстановить начальные параметры», либо запустить программу <i>FlushGPR.exe</i> (см. п. 4.9), расположенную в папке установленного ПО <i>Graphit</i> , выполнив следующие действия: завершить работу ПО <i>Graphit</i> ; запустить программу <i>FlushGPR</i> ; выбрать в списке «Профили приборов» значение, содержащее «СК4М»; сохранить профиль в

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
		файл, нажав «Сохранить как...»; повторить эти действия для всех значений, содержащих «СК4М» и отправить полученные файлы по электронному адресу технической поддержки ПО pribor.soft@micran.ru (рекомендуется); удалить данные профили, нажав в <i>FlushGPR</i> кнопку «Удалить»; закрыть программу и повторить попытку запуска ПО <i>Graphit</i>
	Используется неподходящая операционная система	Установите программное обеспечение на ПК с операционной системой, соответствующей требованиям, указанным в п. 3
3 При первом запуске ПО <i>Graphit</i> и подключении к СК4 сообщение об ошибке не появляется, но программа не реагирует на действия оператора	Аппаратная несовместимость	Попробуйте повторить подключение. В случае отрицательного результата обратитесь в службу технической поддержки на предприятие-изготовитель (контактная информация указана на титульном листе)
4 В ПО <i>Graphit</i> периодически выскакивают ошибки различного рода, либо не удаётся запустить процесс измерений, либо возникают ошибки при измерениях, связанные с работой программы управления	Возможно, после сбоя и перезагрузки ПО <i>Graphit</i> , либо при его переустановке сбились настройки профиля программы управления	См. решение проблемы п. 2
5 При работе в ПО <i>Graphit</i> не удаётся остановить процесс измерений или закрыть ПО <i>Graphit</i>	Зависание ПО <i>Graphit</i>	Вызвать диспетчер задач, нажав « Alt+Ctrl+Del » и затем «Диспетчер задач»; на вкладке «Процессы» выбрать из списка процесс <i>launcher.exe</i> и далее нажать кнопку «Завершить процесс»

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
Проблемы подключения к ПК		
<i>Проблемы общего характера</i>		
6 При подключении к СК4 (см. п. 3.3) появляется сообщение об ошибке подключения	СК4 не включён	Включите СК4
	Неправильно выбраны настройки сетевого подключения либо внутренние настройки сети	См. п. 3.2, а также Приложение В
	Кабель <i>Ethernet</i> не подключён или неисправен	Подключите/замените кабель <i>Ethernet</i>
	СК4 старого типа и используется неподходящий кабель <i>Ethernet</i>	Используйте кабель <i>Ethernet</i> с соединением типа <i>cross-over</i>
7 При подключении СК4 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Свободен» но, тем не менее, подключиться не удаётся	В СК4 были прогружены неверные параметры до подключения	Перед подключением необходимо очистить профиль ПО <i>Graphit</i> (т.е. в запущенном ПО нажать кнопку «Восстановить начальные параметры»)
	У конфигулятора включён переключатель номер 1, т.е. СК4 присвоен пользовательский IP-адрес, и ОС <i>Windows</i> не удаётся установить соединение с СК4	Не выключая СК4, переведите все переключатели конфигулятора (рисунк 3.3) кроме второго в выключенное состояние. Включите и выключите переключатель номер 6. Примерно через 40 с повторите попытку подключения
	Физическое подключение по кабелю <i>Ethernet</i> было осуществлено после включения СК4, и в работе	В командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) набрать <code>ipconfig /flushdns</code> и, примерно, через 40 с попробовать подключиться заново

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	DNS-сервера произошёл сбой	
	Произошло зависание встроенного ПО СК4	Не выключая СК4, включить и выключить 6-й переключатель конфигуратора (рисунок 3.3) и, примерно, через 40 с попробовать подключиться снова. В случае неудачи выключить СК4, примерно через 30 с включить его снова, подождать около 40 с и повторить попытку подключения
	Проблемы контроллера сети СК4	Выключить СК4, примерно через 30 с включить его снова и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
8 При подключении к ПК СК4 не обнаруживается, либо обнаруживается, но при повторном осуществлении поиска в сети он исчезает	Возможно, СК4 имеет устаревшую конфигурацию оборудования	Попытаться выяснить IP-адрес СК4 и ввести этот адрес вручную в ПО <i>Graphit</i> , создав в диалоге подключения новую запись путём нажатия кнопки «Добавить» и заполнив соответствующие поля (см. п. 3.3). Попытаться снова подключиться через созданную запись
	Сбой в ПЛИС СК4	Выключить СК4, примерно через 30 с включить его и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
	Установлено соединение по протоколу <i>FTP</i>	Закройте активное соединение по протоколу <i>FTP</i> и попробуйте подключиться снова
<i>Проблемы прямого подключения к ПК (п. 3.2.2)</i>		
9 При прямом подключении к ПК не удаётся установить соединение с СК4 (появляется сообщение об ошибке подключения)	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение В
	Неправильные настройки конфигуратора	См. п. 3.2.2

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	Брандмауэр («файервол») <i>Windows</i> или антивирусные программы блокируют порт 8888, по которому осуществляется подключение СК4	Обратитесь к системному администратору (необходимо перенастроить перечисленные системы безопасности и попробовать подключиться снова)
	Перед прямым подключением СК4 подключался к ПК другим способом	Закрыть ПО <i>Graphit</i> , выключить СК4 и примерно через 30 с включить его снова; запустить ПО <i>Graphit</i> и, подождав около 40 с, повторить попытку подключения
10 При подключении СК4 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Занят», соответственно, подключиться не удаётся	Предыдущее аварийное завершение работы ПО <i>Graphit</i> не завершило соединение с СК4	Закрыть ПО <i>Graphit</i> . С помощью диспетчера задач (вызывается сочетанием клавиш « Ctrl+Shift+Esc »), на вкладке «Процессы» диспетчера проверить наличие процесса <i>launcher.exe</i> ; если процесс имеется, то его необходимо завершить; выключить и включить 6-й переключатель конфигулятора на задней панели СК4, запустить ПО <i>Graphit</i> и, подождав около 40 с, подключиться заново
<i>Проблемы подключения к ПК через локальную сеть (п. 3.2.3)</i>		
11 При подключении к ПК через локальную сеть СК4 при поиске обнаруживается под адресом по умолчанию	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение В
	Неправильные настройки конфигулятора	См. п. 3.2.3

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	При включении СК4 он делает 10 запросов на получение <i>IP</i> -адреса от <i>DHCP</i> -сервера, в случае неудачи устанавливается адрес по умолчанию. Возможно, соединение СК4 с ПК через <i>Ethernet</i> -кабель сделано после включения прибора	Проверьте качество <i>Ethernet</i> -соединения СК4 с локальной сетью, выключите СК4 и через 30 с включите его; подождите около 40 с, повторите попытку подключения
	В памяти СК4 отсутствуют необходимые файлы сетевых настроек <i>*.xml</i>	Обратитесь к технической поддержке завода-изготовителя СК4 (контактная информация указана на титульном листе)
	<i>DHCP</i> -сервер работает некорректно, либо отсутствует	Использовать <i>IP</i> -адрес по умолчанию
12 При подключении СК4 к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п. 3.3), отображается состояние «Занят», соответственно, подключиться не удаётся	К СК4 подключился другой пользователь	Обратитесь к системному администратору
	См. возможную причину и решение проблемы п. 10	—
13 При подключении СК4 к ПК через локальную сеть он обнаруживается в сети (после осуществления поиска, см. п. 3.3), но,	Возможно, клиент сервиса <i>DNS</i> запомнил предыдущее имя прибора, которое ему присваивал <i>DNS</i> -	Необходимо очистить кэш распознавателя <i>DNS</i> , выполнив в командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) <i>ipconfig /flushdns</i> и <i>arp -d</i> (требуют-

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
тем не менее, выдаёт ошибку подключения	сервер, в то время как имя сменилось	ся права администратора); подключиться заново. При отсутствии прав администратора (т.е. невозможности выполнить команду <i>arp -d</i>) можно отключить <i>Ethernet</i> -кабель от ПК, связывающий его с локальной сетью, на 5–10 мин и повторить попытку подключения
	Неисправный кабель <i>Ethernet</i>	Замените кабель <i>Ethernet</i>

Приложение В

(справочное)

Решение проблем при настройке сетевых параметров

СК4 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 СК4.

Кроме физического протокола *Ethernet* СК4 поддерживается ряд сетевых протоколов: *TCP* – для приёма команд и передачи результатов измерений; *UDP* – для обнаружения СК4 в сети; *ICMP* – для диагностики; *DHCP* – для автоматической конфигурации сетевых параметров и регистрации *host*-имени СК4 в *DNS*; *FTP* – для файлового доступа к параметрам и таблицам СК4; *HTTP* – для диагностики и задания параметров СК4 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 В.1 показан стек (иерархия) используемых протоколов.

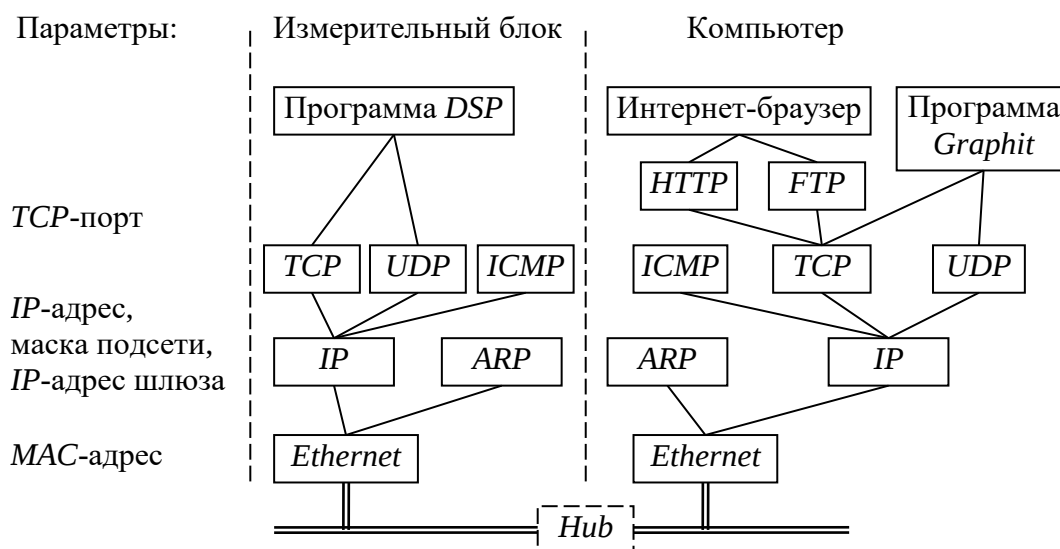


Рисунок В.1 – Используемые протоколы

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-

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 В.2.

IP-адрес:	&	№ подсети	№ узла
Маска:		11111111111111111111	0000000000
Результат:		№ подсети	0000000000
IP-адрес:	&	№ подсети	№ узла
Инvertированная маска:		00000000000000000000	1111111111
Результат:		00000000000000000000 № узла	

Рисунок В.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 В.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 СК4, 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 СК4 в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», выбираемых переключателем на задней панели СК4. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров СК4:

IP-адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
TCP-порт:	8888
MAC-адрес:	00.1e.0d.01.xx.xx
IP-адрес шлюза:	0.0.0.0
Сетевое имя:	sk4m-50-серийный номер (тип СК4 может отличаться)

Приведённые выше параметры обеспечивают прямое подключение СК4 к

компьютеру без каких-либо настроек, при условии, что параметры *IP*-протокола в компьютере установлены по умолчанию. Под параметрами по умолчанию понимается использование авто-конфигурации *IP*-протокола.

Для *Windows*® 7 после щелчка по кнопке «Пуск» следует щёлкнуть «Панель управления > Сеть и Интернет > Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

В *Windows*® 8 открыть «Панель управления» при помощи меню, вызываемого комбинацией клавиш « + X», далее перейти в «Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

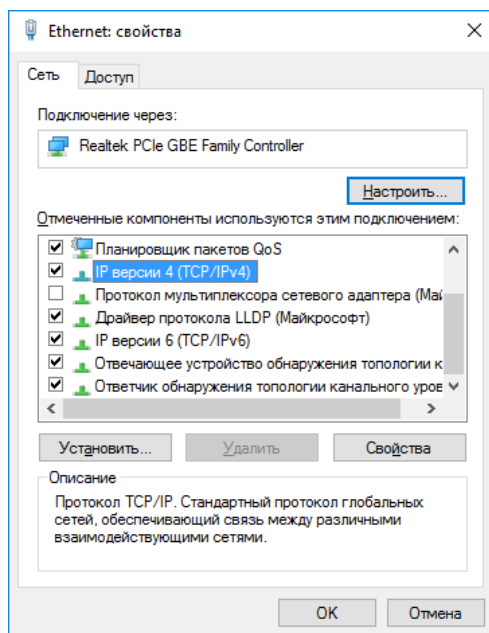
В *Windows*® 10 открыть окно «Параметры», кликнув по значку  в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся окне выбрать задачу «Настройка параметров адаптера».

В *Windows*® 11 открыть окно «Параметры», кликнув по значку в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся разделе выбрать задачу «Дополнительные сетевые параметры», далее перейти в раздел «Дополнительные параметры сетевого адаптера».

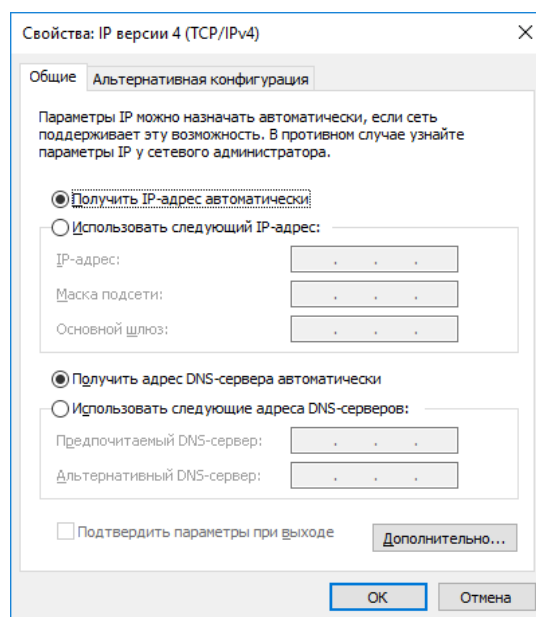
В появившемся окне «Сетевые подключения» щёлкнуть правой кнопкой мыши по пиктограмме «Подключение по локальной сети» и выбрать пункт контекстного меню «Свойства».

В открывшемся диалоге (рисунок В.3-а) выбрать «Протокол Интернета версии 4 (*TCP/IPv4*)» (либо «*IP* версии 4») и нажать кнопку «Свойства». По умолчанию пункт «Получить *IP*-адрес автоматически» (рисунок В.3-б) установлен, что разрешает использование протокола динамической конфигурации *DHCP* (*Dynamic Host Computer Configuration Protocol*). В локальной сети должен быть сервер *DHCP*, который выделяет рабочим станциям *IP*-адреса и сообщает им другие параметры (маску, шлюз и т.п.). Если в сети отсутствует *DHCP*-сервер, *Windows*® выбирает адрес из диапазона 169.254.0.1 ÷ 169.254.255.254. Такая ситуация возникает при прямом соединении СК4 и компьютера. Заданный в «Фабричных» сетевых параметрах *IP*-адрес СК4 принадлежит этому же диапазону. В результате компьютер и СК4 оказываются в одной подсети, что является необходимым условием для работы. Следует заметить, при отключении компьютера от локальной сети и подключении к СК4 *Windows*® требуется около минуты для переконфигурирования *IP*-протокола. Однако *Windows*® по ряду причин может не перейти на подсеть 169.254.0.0.

Описанные ниже команды вводятся в командной строке. Чтобы открыть консольное окно «Командная строка», следует выполнить команду *cmd*, введённую в окне «Запуск программы» (рисунок В.4), появляющееся при нажатии комбинации клавиш « + R».



а) Свойства сетевого адаптера



б) Настройка протокола TCP/IPv4

Рисунок В.3 –Параметры IP-протокола

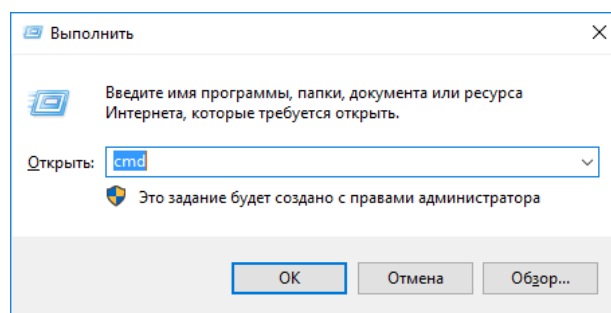


Рисунок В.4 –Окно «Выполнить»

Решение каких-либо проблем, связанных с работой сети, начинается с проверки работы самого низкого уровня – уровня IP-протокола. Текущие настройки IP-протокола можно видеть при помощи команды *ipconfig*:

```
C:\>ipconfig
Настройка протокола IP для Windows
Подключение по локальной сети - Ethernet адаптер:
    IP-адрес . . . . . : 192.168.118.21
    Маска подсети. . . . . : 255.255.255.0
    Основной шлюз. . . . . : 192.168.118.1
```

Расширенный вариант команды *ipconfig /all* позволит узнать, включено ли автоматическое конфигурирование – в строке «*DHCP* разрешён» должно быть «Да». Впрочем, если имеется возможность ручного задания параметров IP-протокола (права администратора), можно обойтись и без *DHCP*-сервиса.

Команда *ping* (от англ.: *Ping-Pong* – настольный теннис) позволяет по-

слать диагностический пакет на удалённую машину (в нашем случае – СК4), 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
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
```

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

Если СК4 ответил на команду *ping*, то с настройками сетевых параметров всё в порядке. В редких случаях ответ на команду *ping* может вернуть не СК4, а другое устройство в локальной сети, занявшее *IP*-адрес. Для проверки достаточно выключить СК4 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 on Interface 0x3
Адрес IP          Физический адрес      Тип
192.168.118.1     00-04-76-18-9d-b7     динамический
192.168.118.232   00-1e-0d-01-00-4f     динамический
```

MAC-адреса СК4, 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 СК4 с адресом из другой подсети. При этом нет желания или возможности изменять *IP*-адреса компьютера и СК4. Для примера рассмотрим следующую ситуацию. СК4 имеет *IP*-адрес 169.254.0.254 и в основном используется в прямом соединении с ноутбуком. Изредка СК4 подключают к локальной сети. Чтобы в этих редких случаях не менять адрес СК4, 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 СК4.

Номер интерфейса и *IP*-адрес компьютера можно узнать из приведённых выше листингов команд *arp* и *ipconfig*. Так для интерфейса 0x3 и *IP*-адреса компьютера 192.168.118.21 команда добавления маршрута до подсети 169.254.0.0 должна иметь вид:

route add 169.254.0.0 mask 255.255.0.0 192.168.118.21 if 0x3

Чтобы увидеть запись о добавленном маршруте, можно распечатать таблицу маршрутов командой *route* с аргументом *print* (добавленный маршрут выделен полужирным шрифтом):

```
C:\>route print
=====
Список интерфейсов
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x3 ...00 d0 b7 b1 27 7d ... Intel(R) PRO/100+ LAN Adapter
=====
Активные маршруты:
Сетевой адрес      Маска сети          Адрес шлюза          Интерфейс            Метрика
0.0.0.0             0.0.0.0             192.168.118.1        192.168.118.21       1
127.0.0.0           255.0.0.0           127.0.0.1            127.0.0.1             1
169.254.0.0         255.255.0.0         192.168.118.21       192.168.118.21       1
192.168.118.0       255.255.255.0       192.168.118.21       192.168.118.21       1
192.168.118.21      255.255.255.255     127.0.0.1            127.0.0.1             1
192.168.118.255     255.255.255.255     192.168.118.21       192.168.118.21       1
224.0.0.0           224.0.0.0           192.168.118.21       192.168.118.21       1
255.255.255.255     255.255.255.255     192.168.118.21       192.168.118.21       1
Основной шлюз: 192.168.118.1
=====
Постоянные маршруты:
Отсутствует
```

Чтобы удалить маршрут, следует выполнить команду:

route delete 169.254.0.0

Впрочем, маршрут исчезнет после перезагрузки компьютера.

Если в команду добавления маршрута добавить ключ *-p*, то маршрут станет постоянным, и не будет сбрасываться после выключения СК4 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 Г (справочное) Программный интерфейс управления

Г.1 Введение

Для внешнего управления измерительными приборами производства АО «НПФ «Микран» и функциями их ПО *Graphit* предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом SCPI-1999 (является дополнением спецификации *IEEE488.2*).

 *Полный список поддерживаемых команд, базовая информация по использованию SCPI и примеры программ, как правило, включены в дистрибутив соответствующего ПО, поставляемого с прибором, либо представлены на сайте www.micran.ru.*

Измерительные блоки анализаторов спектра (СК4М-18 и СК4М), скалярных анализаторов цепей (Р2М-18, -18А, -40), векторных анализаторов цепей (Р4М-18, Р4213, -26, -26А, Р44), измерителей коэффициента шума (Х5М-04, -18) и синтезаторов частот (Г7М-04, -20, -40) не поддерживают непосредственное управление SCPI командами, поэтому для них требуется соответствующее программное обеспечение (**сервер автоматизации**), роль которого выполняет либо ПО *Graphit*, или/и SCPI-драйвер (динамическая библиотека), работающий в связке с библиотекой *MiVISA* (см. таблицу Г.1).

Взаимодействие разработанного пользователем управляющего ПО (**программа-клиент**) с сервером автоматизации может осуществляться с помощью существующих готовых программных решений, например, библиотек VISA различных реализаций (*MiVISA* производства АО «НПФ «Микран», *AgVISA*, *NI-VISA* и др.). Подключение к серверу автоматизации (далее просто «подключение») может быть произведено двумя способами – непосредственно через библиотеку *MiVISA*, либо с использованием утилиты *Micran Instrument Connector* (сокращённо *MIC*, в данной инструкции описана версия *MIC 2.1*).

В случае если для управления прибором используется ПО *Graphit*, оно будет автоматически запущено в процессе подключения. Рекомендуются выбирать таймаут операции подключения (в функции *viOpen*) таким, чтобы его было достаточно для загрузки и инициализации ПО *Graphit* (например, 10 с или больше, в зависимости от производительности ПК), либо использовать функцию предзапуска ПО *Graphit* в утилите *MIC* (данная функция описана ниже).

Г.2 Подключение через библиотеку *MiVISA*

Библиотека *MiVISA* позволяет взаимодействовать с сервером автоматизации напрямую только в том случае, если программа-клиент находится на этом же ПК. Зачастую это упрощает процесс подключения – для этого в программеклиенте необходимо использовать библиотеку *MiVISA32.dll* (либо *MiVISA64.dll*, если приложение 64-х разрядное) и адрес подключения в формате:

TCPIP::<адрес>::<порт>::SOCKET::<суффикс>,

где <адрес> – IP-адрес или сетевое имя прибора;

<порт> – номер порта для подключения (обычно 8888);

<суффикс> – определяет тип прибора и режима измерения, варианты суффиксов представлены в таблице Г.1.

Т а б л и ц а Г.1

Режим измерения	Суффикс	Поддерживаемые типы приборов	Требуемое ПО
Векторный анализатор цепей	VNA	P4M-18, P4213, -26, -26A	Graphit P4M 2.2.50 - ; Graphit P4M 2.5 -
	VNA2	P4213, -26, -26A	Graphit VNA ²⁾
	VNA4	P44	
	FACW ¹⁾	P4213, -26, -26A	MiScpiFACW.dll
Скалярный анализатор цепей	SNA	P2M-18, -18A, -40	Graphit P2M 2.3.12 -
	SNM		MiVISA.dll+ MiScpiSNM.dll
Анализатор спектра	SA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.3 -, Graphit CK4M 2.5 -
	SAM		MiVISA.dll+MiScpiNFM.dll
Измерение коэффициента шума (опция)	NFA	X5M-04, -18	Graphit X5M 2.3 -
	NFM	X5M-04, -18; CK4M-18 и CK4M	MiVISA.dll+MiScpiNFM.dll
	NFSA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.3.16 -, Graphit CK4M 2.5 -
Измерение фазового шума (опция)	PNA	CK4M-18 и CK4M	Graphit CK4M 2.6.18 -
Синтезатор частот	GNM	Г7М-04, -20, -40; P2M-18, -18A, -40	MiVISA.dll+MiScpiGNM.dll

¹⁾Опция СИП – «Скоростные измерения».

²⁾Graphit VNA – новая линейка ПО Graphit для векторных анализаторов цепей с поддержкой многоканальных измерений.

Для режимов работы без ПО *Graphit* необходимо скопировать требуемую библиотеку (см. таблицу Г.1) в директорию программы-клиента (или в рабочую папку среды автоматизации), а также файл ключа лицензии с расширением *.lk*, если для используемого прибора режим является опциональным (более поздние версии библиотек способны обнаружить файл ключа в специализированной папке, если он был ранее добавлен в ПО *Graphit* или *Micran Instrument Connector*).

В случае, когда библиотека *MiVISA* «не смогла» обнаружить требуемую версию ПО на текущем ПК, функция *viOpen* вернёт код ошибки `VI_ERROR_LIBRARY_NFOUND (-1073807202)`.

Г.3 Доступ через *Micran Instrument Connector*

Для подключения через утилиту *MIC* необходимо настроить и активировать сессию (ожидание соединения) в следующем порядке:

а) Запустить данную утилиту из меню «Пуск»: «Все программы > *Micran Instrument Connector*», либо из соответствующего подменю «Пуск» установленной версии ПО *Graphit* (версии 2.6 и выше).

б) В появившемся окне (см. рисунок Г.1) в поле «Адрес прибора» указать IP-адрес или сетевое имя прибора; при нажатии на кнопку [...] можно выбрать прибор из открывшегося окна поиска или списка «Избранное».

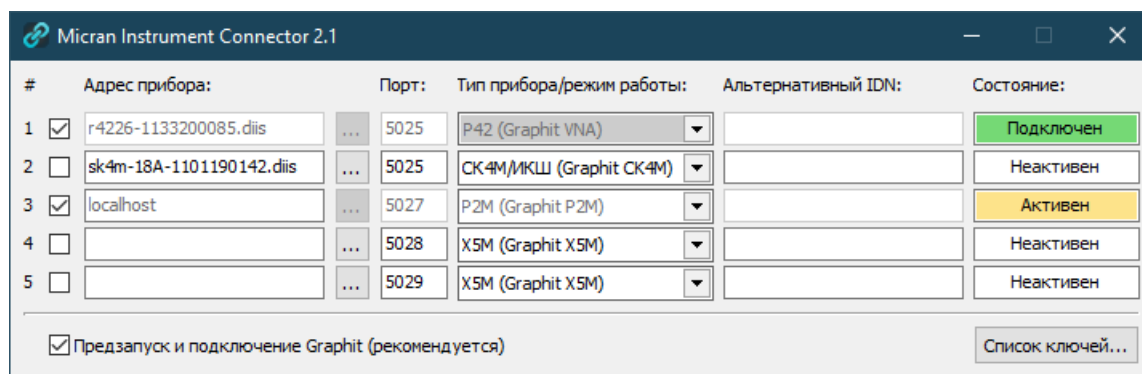


Рисунок Г.1– Главное окно программы *Micran Instrument Connector*

в) Задать порт подключения (по умолчанию 5025) в соответствующем поле; для любого последующего прибора необходимо использовать другое значение, например, увеличенное на единицу.

г) 4) Выбрать тип прибора и режим работы в соответствующем выпадающем списке.

д) В отдельном столбце «Альтернативный IDN» можно указать альтернативный идентификатор прибора, который возвращается в ответе на *SCPI*-запрос `*IDN?` вместо стандартного "Micran,<номер модели>,<заводской номер>,<версия ПО>". Он может пригодиться для обеспечения совместимости со сторонними

программными продуктами, разработанными для конкретных моделей анализаторов (например анализаторов спектра или цепей).

i В случае, когда требуется обеспечить минимальное время соединения из программы-клиента (например, значение таймаута подключения мало и недоступно для изменения), рекомендуется использовать **функцию предзапуска Graphit**. Для этого в нижней части окна МІС необходимо установить флажок «Предзапуск и подключение Graphit». Таким образом, после активации соединения (см. пункт з)) будет автоматически запущено ПО Graphit для указанного типа прибора и установлено подключение к выбранному прибору, а программа МІС перейдёт в режим ожидания подключения программы-клиента. Функция предзапуска работает не со всеми версиями ПО Graphit, более подробную информацию можно получить по адресу pribor.soft@micran.ru.

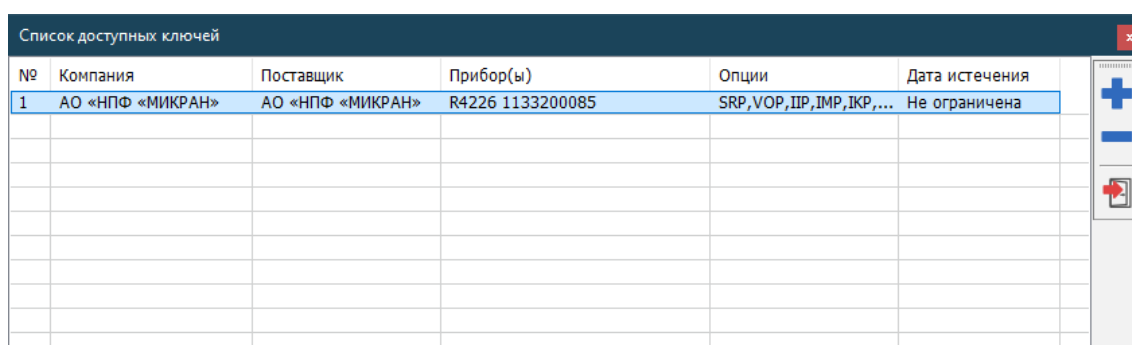
е) Установить флажок слева от строки с адресом; в поле «Состояние» отобразится сообщение «Активен» на жёлтом фоне, если:

- указанный прибор находится в сети и доступен (при отключённой функции предзапуска, либо прибор/режим её не поддерживает);
- запустилось ПО *Graphit* и осуществлено подключение к выбранному прибору (при включённой функции предзапуска).

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

ж) При использовании режима, являющегося программной опцией прибора (например, режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» для опции «ИКШ» СК4М) однократно добавить ключ её лицензии:

- нажать кнопку «Список ключей...» в главном окне МІС;
- нажать кнопку «+» в открывшемся окне списка ключей (см. рисунок Г.2);
- выбрать файл ключа лицензии (.lk).



№	Компания	Поставщик	Прибор(ы)	Опции	Дата истечения
1	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	R4226 1133200085	SRP,VOP,IP,IMP,IKP,...	Не ограничена

Рисунок Г.2 – Список ключей лицензий для программных опций

з) Запустить программу-клиент и установить подключение к прибору при

помощи функции *viOpen* библиотеки *VISA*, используя *IP*-адрес или сетевое имя ПК, на котором запущена утилита *MIC*, и заданный в программе для прибора номер порта:

TCP/IP::<адрес_ПК>::<порт>::SOCKET

Если программа-клиент и утилита *MIC* расположены на одном и том же ПК, то в качестве адреса подключения в функции *viOpen* необходимо указать *IP*-адрес данного компьютера.

 Для подключения из программ управления сторонних производителей необходимо использовать тип соединения «TCP/IP resource», возможно определение сессии по ответу на поисковый запрос *VXI-11*.