



АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА

СК4М

Руководство по эксплуатации

Часть I. Общие сведения

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 I. Общие сведения	7
1 Нормативные ссылки		7
2 Определения, обозначения и сокращения		8
3 Требования безопасности		10
4 Описание СК4 и принципов его работы		14
4.1 Назначение.....		14
4.2 Условия окружающей среды		15
4.3 Состав		16
4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации		17
4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности		21
4.6 Технические характеристики.....		21
4.7 Устройство и работа СК4		34
4.7.1 Структура.....		34
4.7.2 Особенности работы		37
5 Подготовка к работе.....		39
5.1 Эксплуатационные ограничения		39
5.2 Требования к рабочему месту		40
5.3 Контрольно-профилактические работы		40
5.3.1 Общие сведения о соединителях		41
5.3.2 Проверка внешнего вида.....		43
5.3.3 Чистка коаксиальных соединителей		45
5.3.4 Измерение присоединительных размеров.....		47
5.3.4.1 Калибровка.....		48
5.3.4.2 Проверка размера «А» соединителей		49
5.3.5 Сочленение коаксиальных соединителей		50
5.3.6 Расчленение коаксиальных соединителей		53
6 Средства измерений, инструменты и принадлежности		53
6.1 Обзор.....		53
6.2 Общие сведения о генераторах шума		56
6.2.1 Принципы работы и разновидности ГШ.....		56
6.2.2 Выбор генераторов шума.....		57
7 Порядок работы.....		58
7.1 Расположение органов управления и присоединения.....		58
7.1.1 Передняя панель		58
7.1.2 Задняя панель.....		61
7.2 Сведения о порядке подготовки к проведению измерений		64
7.3 Проведение измерений		66

8 Поверка	66
9 Техническое обслуживание	66
10 Текущий ремонт	66
10.1 Смена плавкого предохранителя блока питания	66
10.2 Смена плавкого предохранителя адаптера питания (опция «АПА») ..	67
10.3 Гарантийное и послегарантийное обслуживание	68
11 Хранение, транспортирование, упаковка.....	69
11.1 Хранение	69
11.2 Транспортирование	69
11.3 Упаковка	69
11.3.1 Распаковывание	70
11.3.2 Повторное упаковывание.....	70
12 Маркировка и пломбирование.....	71
13 Гарантии предприятия-изготовителя	72
14 Утилизация	73
Приложение А (обязательное) Основные виды измерений и формулы	74
А.1 Режим «СК4М. Анализатор спектра»	75
А.2 Режим «СК4М. Измерение фазового шума»	76
А.3 Режим «СК4М. Аналоговая демодуляция».....	76
А.4 Исключение/встраивание цепей, компенсация.....	78
А.5 Общие формулы шумовых измерений.....	79
А.6 Режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ».....	81
А.7 Режим «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»	83
А.8 Режим «Градуировка генераторов шума».....	83
А.9 Измерения с преобразованием частоты	86
Приложение Б (справочное) Краткая теория по измерению коэффициента шума	87
Приложение В Обзор факторов, влияющих на погрешность измерений ...	92
В.1 Общие сведения о погрешностях измерений КШ	92
В.2 Факторы, влияющие на погрешность	93
Приложение Г (обязательное) Оценка пределов абсолютной погрешности измерения КШ и КП.....	99
Приложение Д (справочное) Библиография.....	103

Анализаторы спектра СК4М выпускаются по техническим условиям ЖНКЮ.468166.024ТУ.

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения устройства, принципа действия, правил использования, транспортирования и хранения анализаторов спектра СК4М (далее – анализатор, или СК4, или АС¹⁾). Целью изучения является обеспечение безопасных для жизни и здоровья условий труда, уменьшение вероятности выхода из строя СК4, получение необходимых знаний для проведения корректных измерений с минимальной погрешностью и устранения возникших неисправностей, доведение до сведения рекламно-просветительской информации.

❗ Внимание! Перед ознакомлением и использованием настоящего документа необходимо проверить наличие его обновления на сайте предприятия-изготовителя (сайт указан на титульном листе) в разделе «Продукция» → «Измерительно-информационные системы» → «Контрольно-измерительная аппаратура СВЧ» → «Анализаторы спектра ...» → далее выбрать соответствующие подразделы.

Руководство по эксплуатации состоит из двух частей:

- Часть I. Общие сведения;
- Часть II. Использование по назначению.

В первой части содержатся общие сведения о СК4, приведены условия эксплуатации, транспортирования и хранения.

Во второй части приведена информация по работе с СК4, описание и установка программного обеспечения, методики калибровки и порядок проведения измерений.

Перед началом эксплуатации СК4 необходимо ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

Год изготовления СК4 должен быть указан на его задней панели и/или в его формуляре.

Предприятие-изготовитель оставляет за собой право, не уведомляя потребителя, вносить в конструкцию СК4 изменения, не влияющие на их метрологические характеристики.

❗ Внимание! Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации СК4, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.

¹⁾Здесь и далее по тексту при использовании термина «анализатор», или обозначения «СК4», описание операций, требований и т.д. относится ко всем исполнениям и модификациям СК4М. При описании требований, заданий параметров и т.д., относящихся к определенному типу и/или исполнению, и/или модификации, указывается обозначение типа и/или исполнения, и/или модификации, например, СК4М-18А/2.

К эксплуатации СК4 допускается персонал с соответствующей инженерной квалификацией, прошедший инструктаж и проверку знаний согласно «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок», обладающий базовыми навыками работы с ПК, также прошедший подготовку по работе с СК4 согласно настоящему РЭ и имеющий не менее второй группы допуска по работе с напряжением до 1000 В. К работе с использованием низкотемпературных генераторов шума допускается персонал, прошедший инструктаж по охране труда при работе с жидким азотом и сосудами Дьюара. К контрольно-профилактическим работам допускаются лица, дополнительно прошедшие инструктаж по охране труда при работе с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

❗ *Внимание! Не допускается использование настоящего РЭ без указания наименования данного документа и предприятия-изготовителя. Запрещается коммерческое использование данного документа без письменного согласия предприятия-изготовителя.*

Руководство по эксплуатации

Часть I. Общие сведения

1 Нормативные ссылки

ГОСТ 8.475 Стандартный коэффициент шума и эквивалентная шумовая температура усилительных и приёмных устройств. Методика выполнения измерений.

ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

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

ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

ГОСТ 5556-2022 Вата медицинская гигроскопическая. Технические условия.

ГОСТ 13317-89 Элементы соединения СВЧ трактов радиоизмерительных приборов. Присоединительные размеры.

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов.

ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения.

ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

ГОСТ Р 55878-2013 Спирт этиловый гидролизный ректификованный. Технические условия.

ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014 Оборудование электрическое для измерения, управления и лабораторного применения. Требования электромагнитной совместимости. Ч. 1. Общие требования.

МИ 2083-90. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей / НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». – Введ. 1992-01-01. – М: Ком. стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 10, [1] с. – (Государственная система обеспечения единства измерений).

ТР ТС 004/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности низковольтного оборудования = On safety of low-voltage equipment. – Утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 16.08.2011 г. N 768. – с изм. на 10.06.2022 г.

ТР ТС 020/2011. Технический регламент Таможенного союза. Электромагнитная совместимость технических средств. – Утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011 г. N 879. – с изм. на 10.06.2022 г.

IEEE Std 287-2007 IEEE Standard for Precision Coaxial Connectors.

2 Определения, обозначения и сокращения

В настоящем руководстве по эксплуатации использованы следующие определения, обозначения и сокращения:

анализатор: Анализатор спектра СК4 (т.е. одно из исполнений и/или модификаций – СК4М).

виртуальный прибор: Прибор, состоящий из измерительного блока, подключаемого к компьютеру, и программного обеспечения, реализующего часть функций прибора – управление, обработку и отображение результатов измерений.

измерительный блок: Аппаратная часть виртуального прибора, подключаемая к компьютеру.

метод двух отсчетов: Метод, при котором подача/отключение питания генератора шума осуществляется вручную (как правило, используется для измерения КШ и КП с помощью низкотемпературных ГШ).

модуляционный метод: Метод, при котором управляющее питание твердотельного генератора шума является модулированным (управление питанием генератора шума осуществляется автоматически с помощью СК4).

предприятие-изготовитель: АО «НПФ «Микран».

программа управления: ПО *Graphit*.

ремонт текущий: Ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности изделия и состоящий в замене и/или восстановлении отдельных частей.

техническое обслуживание: Комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

техническое обслуживание неплановое: Незапланированное техническое обслуживание, выполняемое по результатам оценки фактического технического состояния объекта.

фирменный метод ремонта: Метод выполнения ремонта предприятием-изготовителем.

фирменный метод технического обслуживания: Метод выполнения технического обслуживания предприятием-изготовителем.

АМ – амплитудно-модулированный, амплитудная модуляция.

АС – анализ спектра.

АХ – амплитудная характеристика.

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь.

БОЧ – блок опорной частоты.

БПФ – быстрое преобразование Фурье.

БС – блок синтезаторов.

БУ – блок управления.

БЦО – блок цифровой обработки.

ВЧ – высокие частоты.

ГШ – генератор шума.

ИКШ – измеритель коэффициента шума.

ИОШТ – избыточная относительная шумовая температура (excess noise ratio, ENR).

ИПР – измеритель присоединительных размеров.

ИУ – исследуемое устройство.

КО – коэффициент отражения.

КП – коэффициент передачи.

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению.

КШ – коэффициент шума.

ЛПД – лавиннопролетный диод.

МШУ – малошумящий усилитель.

НГШ – низкотемпературный генератор шума.

ОГ – опорный генератор.

ОС – операционная система.

ПГ – погрешность.

ПК – персональный компьютер.

ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема.

ПО – программное обеспечение.

ПЧ – промежуточная частота.

РПТ – радиоприемный тракт.

РЭ – руководство по эксплуатации.

СВЧ – сверхвысокие частоты.

СИ – средство измерения.

СН – согласованная нагрузка.

СПМШ – спектральная плотность мощности шума.

ССКП – суммарная средняя квадратическая погрешность.

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика.

ТУ – технические условия.

ТХ – технические характеристики.

ФАПЧ – система фазовой автоподстройки частоты.

ФМ – фазомодулированный, фазовая модуляция.

ФПЧ – фильтр промежуточной частоты.

ЧМ – частотно-модулированный, частотная модуляция.

ЭД – эксплуатационная документация.

ЭДС – электродвижущая сила.

ЭМС – электромагнитная совместимость.

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

3 Требования безопасности

❗ Внимание! *Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации СК4, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.*

При эксплуатации СК4 необходимо соблюдать «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» [2], «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии» [3] актуальные на момент использования СК4.

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

❗ Предостережение: *при работе с СК4 возможно поражение электрическим током.*

В измерительном блоке СК4 присутствует напряжение ~ 230 В 50 Гц 1 А, поэтому при эксплуатации и контрольно-профилактических работах, проводимых с СК4, строго соблюдайте соответствующие меры предосторожности:

- запрещается включать в сеть электропитания незаземлённый СК4;
- перед работой необходимо проверить наличие системы защитного заземления;
- перед подключением СК4 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо путем визуального осмотра убедиться в исправности кабеля питания и соединить зажим защитного заземления (далее – клемма заземления), обозначенный символом  и находящийся на задней панели СК4, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с зануленным зажимом питающей сети);
- по окончании работы и отключения СК4 от сети электропитания и от других приборов клемму защитного заземления следует отсоединить от системы заземления или зануления;
- запрещается заземлять СК4 через систему отопления и другие системы, не приспособленные для этой цели; при отсутствии системы заземления необходимо воспользоваться зануленным зажимом питающей сети; допускается не соединять клемму заземления  с системой заземления или зануленным зажимом питающей сети только в том случае, когда в сети электропитания предусмотрена жила защитного заземления; в этом случае нужно убедиться, что контакт за-

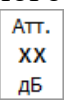
земления в розетке действительно обеспечивает требуемое сопротивление заземления;

❗ Внимание! При появлении запаха гари, дыма и т.п. незамедлительно обесточить СК4!

i При попадании статического разряда на СК4 программа управления может выдавать сообщение по центру экрана «Ошибка шины SATA», после чего может потребоваться вмешательство оператора с целью перезапуска ПО и/или измерения.

- запрещается нарушать защитные пломбы, производить самостоятельный ремонт;
- зажим защитного заземления следует отсоединять только после отключения СК4 от сети питания и от других приборов;
- 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 .

i Внимание! Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры (см. контрольно-профилактические работы в разделе подготовки к работе п. 5.3). Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка» (корпус изделия не вращать!), затягивание гайки осуществлять тарированным ключом.

Между выключением электропитания и последующим включением СК4, с целью сохранности блока питания, необходимо выдержать интервал не менее 30 с.

❗ 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!

❗ 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!

При использовании СК4 с опцией «АПА» на выход используемых генераторов шума рекомендуется накрутить конденсатор, предотвращающий попадание постоянного напряжения на его выход.

❗ Внимание: подача напряжения либо попадание статического разряда на соединитель адаптера питания (опция «АПА») при подсоединенном к соединителю «→ ВХОД» генераторе шума может привести к неработоспособности последнего!

i При использовании внешнего предусилителя из комплекта поставки, необходимо заземлить корпус предусилителя перед подключением его к сети электропитания.

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

❗ Внимание! При проведении всех видов работ с СК4 используйте антистатический браслет, подключённый к шине защитного заземления!

При чистке соединителей спиртом необходимо соблюдать следующие правила:

- рекомендуется использовать спирт согласно ГОСТ Р 55878;
- пары спирта взрывоопасны, поэтому чистку соединителей нужно проводить в хорошо проветриваемом помещении;
- хранить спирт необходимо в хорошо закрытых контейнерах;

- чистку соединителей СК4 проводить только при выключенном электропитании, избегая попадания спирта в глаза, на кожу, одежду и в дыхательные пути;
- спирт технический может являться причиной отравления при его попадании в органы пищеварения;
- во избежание случайного пролития и возгорания спирта чистку необходимо проводить на специально подготовленном чистом рабочем месте в отдалении от потенциальных очагов воспламенения (нагревательных приборов, открытого пламени, искрящихся контактов);
- при случайном пролитии спирта на рабочем месте необходимо немедленно протереть рабочее место легковпитывающим материалом и утилизировать данный материал надлежащим образом;
- при воспламенении спирта запрещается производить тушение водой и средствами на водной основе; тушение проводится порошковыми, углекислотными огнетушителями или песком.

При перемещении СК4 между рабочими местами, а также при длительном простое, коаксиальные соединители СК4 и комплекта принадлежностей должны быть закрыты защитными колпачками для исключения повреждения, воздействия на них влаги, пыли и других агрессивных сред и посторонних частиц.

 ***Не допускаются чрезмерные перегибы кабелей СВЧ, Ethernet и кабеля питания!***

При использовании в измерениях НГШ, заполняемых жидким азотом, необходимо соблюдать следующие правила:

- перед заливкой жидкого азота убедиться в отсутствии влаги на внутренней поверхности криостата НГШ;
- заливку азота производить только через воронку; поскольку в начале заливки происходит бурное кипение азота, его следует наливать малой струей (при этом в резервуаре устанавливается низкая температура), не допуская попадания брызг жидкости на одежду, обувь, открытые участки тела;
- первоначально вести заливку азота осторожно, заполняя криостат не более чем на 1/2 его объема и добавляя азот по мере его бурного выкипания;
- после установки режима спокойного кипения (примерно через 15 мин после начала заливки) долить азот до уровня 3-5 см ниже верхнего края горловины криостата; признаки работоспособности НГШ: а) в течение 3 ч времени спокойного кипения не должно наблюдаться признаков обмерзания горизонтальных поверхностей и днища криостата, волноводных фланцев, а также инея или конден-

сата на внутреннем проводнике выходного коаксиального соединителя, б) через 3 ч спокойного кипения волновод внутри НГШ должен быть полностью покрыт жидким азотом;

- заполненный генератор шума должен быть закреплен;
- запрещается сливать азот из НГШ;
- новую заливку следует производить только после полного испарения всего азота.

4 Описание СК4 и принципов его работы

4.1 Назначение

Наименование: Анализаторы спектра СК4М.

Обозначение: ЖНКЮ.468166.044 для СК4М-18А и ЖНКЮ.468166.024 – для СК4М-50.

Номер свидетельства об утверждении типа средства измерений (сертификата): 92098-24 для СК4М.

Регистрационный номер по Государственному реестру СИ: 92098-24 для СК4М.

Анализаторы спектра СК4 предназначены для измерения: частот отдельных гармонических составляющих спектра периодических сигналов; абсолютных и относительных уровней мощности; спектральной плотности мощности стационарных случайных процессов в широком диапазоне частот; параметров модуляции спектральных составляющих радиотехнических сигналов; коэффициента шума и модуля коэффициента передачи; фазовых шумов. А также для градуировки генераторов шума.

Область применения – разработка, производство, техническое обслуживание и контроль ВЧ и СВЧ устройств и оборудования, а также исследования и настройка СВЧ-узлов; используемых в радиоэлектронике, связи, приборостроении, измерительной технике, радионавигации, радиолокации, теле- и радиовещании, телекоммуникации; научные исследования, измерения внеполосных излучений, стандартизированные измерения, радиоконтроль и т.д. СК4 может эксплуатироваться в лабораторных и производственных условиях, в цехах, ремонтных мастерских и других закрытых помещениях при соответствующих условиях применения. Нормальные и рабочие условия применения приведены в п. 4.2.

Анализаторы спектра позволяют определять параметры устройств, работающих в линейном, нелинейном, а также квазилинейном режимах, пассивных и активных устройств, частотно-постоянных и частотно-преобразующих устройств (постоянные и управляемые аттенюаторы, смесители, умножители частоты, модуляторы, отрезки линий передачи, резонаторы, ответвители, делители,

фильтры, мосты, нагрузки, адаптеры, линии задержки, переключатели, усилители, генераторы и др.).

СК4 имеют соответствующие входы и выходы аналоговой и цифровой синхронизаций для работы с другими приборами в составе измерительных комплексов. Измерители работают под управлением внешнего ПК, который осуществляет функции управления СК4 и отображение результатов измерений (не входит в комплект поставки); для связи с ПК используется интерфейс *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*. Для управления СК4 предназначено ПО *Graphit* (программа управления); а с целью обеспечения возможности автоматизации измерений для внешнего управления СК4 и функциями программы управления предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд (подробное описание ПО приведено в ч. II настоящего РЭ).

4.2 Условия окружающей среды

Нормальные условия применения СК4 приведены в таблице 4.1

Т а б л и ц а 4.1 – Нормальные условия применения

Влияющая величина	Значение влияющей величины
Температура окружающего воздуха, °С:	
нижнее значение	15
верхнее значение	25
Относительная влажность воздуха, %, не более	80
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84–106 (630–795)

Анализаторы спектра СК4М соответствуют группе 3 по ГОСТ 22261: являются устойчивыми к воздействию внешних климатических факторов в рабочих условиях применения согласно таблице 4.2, и прочными к воздействию внешних климатических факторов в предельных условиях транспортирования согласно таблице 4.3, а также обладают прочностью к внешним механическим воздействиям при транспортировании в транспортной таре (т.е. должны выдерживать без повреждений механические удары многократного действия согласно таблице 4.3).

Т а б л и ц а 4.2 – Рабочие условия применения (климатические воздействия)

Влияющая величина	Значение влияющей величины
Температура окружающего воздуха, °С:	
нижнее значение	15

Влияющая величина	Значение влияющей величины
верхнее значение	40
Относительная влажность воздуха при 25 °С, %	90
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84,0–106,7 (630–800)

Т а б л и ц а 4.3 – Предельные условия транспортирования

Влияющая величина	Значение влияющей величины
Температура окружающего воздуха, °С:	
нижнее значение	–50
верхнее значение	70
Относительная влажность воздуха при 30 °С, %	95
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84,0–106,7 (630–800)
Механические удары многократного действия:	
число ударов в минуту	80
максимальное ускорение, м/с ² (g)	30 (3)
длительность импульса, мс	6
число ударов по каждому направлению воздействия	4000

Рабочие условия применения (эксплуатации) СК4М для режимов «СК4М. Анализатор спектра», «СК4М. Измерение фазового шума» (опция «ИФШ»), а также «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ»), должны соответствовать таблице 4.2 (следует иметь в виду, что метрологические и технические характеристики, приводимые в данном документе, даны без учета влияния условий окружающей среды на ГШ, используемые совместно с СК4); в остальных случаях, а также для режима «Градуировка генераторов шума» (опция «ГРП»), рабочие условия применения должны соответствовать нормальным условиям согласно таблице 4.1.

❗ Внимание! При градуировке генераторов шума в помещении не должно быть сквозняков и перепадов температуры более 2 °С!

4.3 Состав

Комплектность СК4М представлена в таблице 4.4.

Т а б л и ц а 4.4 – Комплект поставки СК4М

Наименование, тип	Обозначение	Количество, шт.
Анализатор спектра СК4М-18А ¹⁾	ЖНКЮ.468166.044	1
Анализатор спектра СК4М-50 ¹⁾	ЖНКЮ.468166.024	1
Усилитель LNA13-50 ²⁾	ЖНКЮ.434815.424	1
Кабель Ethernet	ЖНКЮ.685611.077	1
Кабель питания	ЖНКЮ.685631.067	1
Руководство по эксплуатации	ЖНКЮ.468166.024 РЭ	1
Формуляр	ЖНКЮ.468166.024 ФО/ ЖНКЮ.468166.044 ФО	1
ПО Graphit СК4М ³⁾	ЖНКЮ.02011-01	1
Аттенюатор Д2М-32-10-13Р-13 ⁴⁾	ЖНКЮ.434821.054-01	1
Переход коаксиальный ПК2-18-11-13Р ⁵⁾	ЖНКЮ.468562.013-03	1
Переход коаксиальный ПКН2-20-13РН-13Р ⁶⁾	ЖНКЮ.468562.036-01	1
Аттенюатор Д2М-50-3-05Р-05 ⁷⁾	ЖНКЮ.434821.043	1
Кабель СВЧ-RG58-20-20 ⁸⁾	ЖНКЮ.685671.078-03	1
¹⁾Модификация определяется при заказе. ²⁾Внешний предусилитель, только для анализаторов, имеющих одновременно опции «05Н», «МУА», «ИКШ» и (или) «ГРП». ³⁾ПО Graphit СК4М поставляется на цифровом носителе и/или публикуется на официальном сайте предприятия-производителя www.micran.ru. ⁴⁾Для анализаторов, имеющих одновременно опции «11Р» (или «13Н») и «ГРП». ⁵⁾Для анализаторов, имеющих одновременно опции «11Р» и «ГРП». ⁶⁾Для анализаторов, имеющих одновременно опции «13Н» и «ГРП». ⁷⁾Для анализаторов, имеющих одновременно опции «05Н» и «ГРП». ⁸⁾Для питания генераторов шума; только для анализаторов, имеющих опцию «ИКШ» и (или) «ГРП». П р и м е ч а н и е – Для опции «ИКШ» и/или «ГРП» с целью подключения генератора шума к анализатору рекомендуется дополнительно заказывать переход ПКН2-26-05РН-13Р ЖНКЮ.468562.093-01 для опции «13Н» и переход ПК2-50-05Р-05Р ЖНКЮ.468562.072 для опции «05Н».		

4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации

Общий вид СК4 (вид конкретного СК4 может незначительно отличаться) приведен на рисунках 4.1–4.3. Анализаторы спектра СК4М имеют два исполнения: СК4М-18А (для использования в коаксиальных трактах 7,0/3,04 мм и 3,5/1,52 мм) и СК4М-50 (для использования в коаксиальных трактах 2,4/1,04 мм). Каждая модификация характеризуется определенным набором конструктивных особенностей и возможностей (аппаратных опций), определяющих

функциональные возможности СК4. Модификации СК4 с указанием соответствующих им наборов опций, а также описание опций, приведены в таблицах 4.5–4.6.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.1 – Общий вид передней панели СК4М для исполнения СК4М-18А:
а) СК4М-18А/1, СК4М-18А/2; б) модификации СК4М-18А/3, СК4М-18А/4; в)
модификации СК4М-18А/5, СК4М-18А/6; г) модификации СК4М-18А/7,
СК4М-18А/8



а)



б)

Рисунок 4.2 – Общий вид передней панели СК4М для исполнения СК4М-50:
а) модификации СК4М-50/1, СК4М-50/2; б) модификации СК4М-50/3, СК4М-50/4



Рисунок 4.3 – Общий вид задней панели СК4 со схемой пломбировки от несанкционированного доступа (для СК4М допускается нанесение пломбы только в правом верхнем углу) и заводского номера

Т а б л и ц а 4.5 – Модификации СК4М

Наименование	Примечание	Наименование	Примечание
СК4М-18А/1	опция «11Р»	СК4М-18А/7	опции «13Н», «АПА»
СК4М-18А/2	опции «11Р», «МУА»	СК4М-18А/8	опции «13Н», «МУА», «АПА»
СК4М-18А/3	опции «11Р», «АПА»	СК4М-50/1	опция «05Н»
СК4М-18А/4	опции «11Р», «МУА», «АПА»	СК4М-50/2	опции «05Н», «МУА»
СК4М-18А/5	опция «13Н»	СК4М-50/3	опции «05Н», «АПА»
СК4М-18А/6	опции «13Н», «МУА»	СК4М-50/4	опции «05Н», «МУА», «АПА»

Т а б л и ц а 4.6 – Описание опций СК4

Опция	Описание опции
«11Р»	На измерительном входе СВЧ установлен соединитель типа <i>N</i> , розетка. Применимо только для СК4М и СК4М-18А. Наличие этой опции исключает опции «13Н» и «05Н»
«13Н»	На измерительном входе СВЧ установлен соединитель типа <i>NMD</i> 3,5 мм, вилка ¹⁾ . Применимо только для СК4М-18А. Наличие этой опции исключает опции «11Р» и «05Н»
«05Н»	На измерительном входе СВЧ установлен соединитель типа <i>NMD</i> 2,4 мм, вилка ²⁾ . Применимо только для СК4М-50. Наличие этой опции исключает опции «11Р» и «13Н»
«АПА»	Встроен отключаемый адаптер питания (для подачи электропитания на исследуемое устройство через соединитель измерительного входа СВЧ), который имеет встроенный разделительный конденсатор. Наличие этой опции исключает опцию «АДП»
«МУА»	Встроен отключаемый предусилитель для улучшения чувствительности анализатора, имеет встроенный разделительный конденсатор
«АДП»	Опция аналоговой демодуляции (АМ, ЧМ, ФМ). Позволяет измерять частоту модулирующего сигнала, коэффициент амплитудной модуляции (для АМ), девиации частоты (для ЧМ), девиации фазы (для ФМ)
«ИКШ»	Опция измерений коэффициента шума и коэффициента передачи
«ГРП»	Опция градуировки генераторов шума
«ИФШ»	Опция измерений фазовых шумов

Опция	Описание опции
	¹ Совместим с соединителем 3,5 мм розетка по ГОСТ РВ 51914-2002. Реализован согласно IEEE Std 287; по присоединительным размерам тип 3,5 мм соответствует типу IX Var. 3 по ГОСТ 13317, сечение тракта 3,5/1,52 мм, дюймовая резьба 1/4"-36UNS.
	² Совместим с соединителем 2,4 мм розетка по ГОСТ РВ 51914-2002.
	Примечания
	1 Опции «АДП», «ИКШ», «ИФШ» и «ГРП» являются программными и могут быть добавлены в заказ для любой модификации анализатора; опции «ИКШ» и «ГРП» используются совместно с опцией «МУА» для СК4М-18А и СК4М-50, и/или с дополнительным внешним малошумящим усилителем (МШУ) для СК4М-50.
	2 Для использования опции «ИКШ» требуется внешний генератор шума (ГШ) (не входит в комплект поставки при заказе опции). Для использования данной опции на частотах выше 20 ГГц рекомендуется использование внешнего предусилителя из комплекта поставки.
	3 Для использования опции «ГРП» необходимы дополнительные аттенюаторы и переходы (входят в комплект поставки при заказе опции). Для использования данной опции на частотах выше 20 ГГц рекомендуется использование внешнего предусилителя из комплекта поставки.

Далее при упоминании опций «АПА» и «МУА» подразумевается, что они установлены и включены.

4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности

По требованиям к ЭМС СК4 соответствуют ГОСТ Р МЭК 61326-1 (включенный в перечень стандартов ТР ТС 020), а по требованиям безопасности – ГОСТ 12.2.007.0 (включен в перечень стандартов ТР ТС 004).

4.6 Технические характеристики

Гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.7–4.8 с допусками или предельными значениями. Значения величин без допусков являются справочными. Далее представлены основные справочные и гарантированные характеристики СК4 (см. таблицы 4.7–4.10).

Для внешнего управления СК4 и функциями ПО *Graphit* предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом *SCPI* (см. приложение ч. II настоящего РЭ с описанием программного интерфейса управления). Открытый программный интерфейс, совместимый со стандартом *IVI-COM*, дает возможность пользователю управлять СК4 сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д.

Т а б л и ц а 4.7 – Метрологические характеристики СК4М

Наименование параметра или характеристики	Значение характеристики
1 Диапазон рабочих частот для наборов опций: СК4М-18А - опция «11Р» - опция «13Н» - при активных опциях «АПА», «МУА» СК4М-50 - при неактивных ²⁾ опциях «АПА», «МУА» - при активных опциях «АПА», «МУА»	от 100 Гц до 18 ГГц от 100 Гц до 20 ГГц от 20 ¹⁾ МГц до 18(20) ГГц от 100 Гц до 50 ГГц от 20 ¹⁾ МГц до 50 ГГц
2 Пределы допускаемой относительной погрешности частоты внутреннего опорного генератора в рабочем диапазоне температур (дог)	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$
3 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты (Fизм) в режиме частотомера (при отношении сигнал/шум не менее 25 дБ, для точности определения частоты $\Delta f_{\text{раз}}$, задаваемой в маркере), Гц	$\pm (\text{дог} \cdot F_{\text{изм}} + \Delta f_{\text{раз}})$
4 Диапазон измерения уровня мощности синусоидального сигнала, на частоте 100 МГц, дБм ³⁾	от (средний уровень шумов +6 дБ) до 30
5 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня мощности синусоидального сигнала 100 МГц в диапазоне уровней мощности, дБ - от минус 130 до минус 90 дБм - свыше минус 90 до 0 дБм - свыше 0 до 30 дБм	±0,6 ±0,3 ±0,6
6 Пределы допускаемой неравномерности относительной амплитудно-частотной характеристики (в зависимости от частоты f в ГГц) относительно опорного значения уровня мощности на частоте 100 МГц, при входном аттенюаторе 10 дБ, дБ: - при неактивной опции «МУА» и уровне мощности входного сигнала 0 дБм - при активной опции «МУА» и уровне мощности входного сигнала минус 30 дБм	$\pm (0,4 \cdot \sqrt{f} + 0,5)$ $\pm (0,47 \cdot \sqrt{f} + 0,75)$
7 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня мощности входного сигнала минус 30 дБм на частоте 100 МГц, дБ	±0,2

8 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня мощности входного сигнала из-за нелинейности шкалы анализатора на фиксированной частоте 100 МГц, при значении входного сигнала от минус 90 до 0 дБм, дБ	$\pm 0,1$	
9 Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерения отношения уровней мощности на фиксированной частоте, дБ, для неактивной опции «МУА» при значениях входного сигнала от минус 90 до 0 дБм ⁴⁾	$\pm 0,2$	
10 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня мощности входного сигнала из-за переключения фильтра промежуточной частоты (ФПЧ) относительно опорного значения полосы пропускания ФПЧ 3 МГц, дБ	$\pm 0,1$	
11 Пределы допускаемой погрешности измерений уровня мощности входного сигнала из-за переключения ослабления входного аттенюатора в диапазоне от 0 до 40 дБ на фиксированной частоте 100 МГц, дБ	$\pm 0,3$	
12 Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки опорного уровня на фиксированной частоте 100 МГц, дБ	$\pm 0,2$	
13 Пределы допускаемой относительной погрешности ширины полос пропускания ФПЧ по уровню минус 3 дБ, %: - от 1 Гц до 1 кГц - от 3 кГц до 300 кГц - от 1 МГц до 3 МГц	± 5 ± 10 ± 15	
14 Коэффициент прямоугольности фильтра ПЧ (минус 60 дБ/минус 3 дБ, фильтр ПЧ ≤ 3 МГц), не более	5	
15 Уровень помех, обусловленный гармоническими искажениями второго порядка, выраженном в виде точки пересечения второго порядка (SHI), при входном аттенюаторе 0 дБ, в диапазоне частот, дБм, не менее: - для опции «11Р» от 2 до 9 ГГц - для опции «13Н» от 2 до 10 ГГц - для опции «05Н» от 2 до 25 ГГц	опция «МУА» неактивна, уровень на входе минус 10 дБм	опция «МУА» активна, уровень на входе минус 50 дБм
	90	-5

16 Интермодуляционные искажения третьего порядка при двух тонах с разнесением по частоте более 5 кратной ширины полосы пропускания ФПЧ, при входном аттенюаторе 0 дБ в диапазоне частот от 20 МГц до 50 ГГц, дБм, не менее	опция «МУА» неактивна, уровень на входе минус 10 дБм	опция «МУА» активна, уровень на входе минус 40 дБм
	15	-20
17 Средний уровень собственных шумов, приведённых ко входу в полосе пропускания 1 Гц при входном ослаблении 0 дБ и согласованной нагрузке, подключенной ко входу анализатора, в диапазоне частот, дБм, не более		
опция «МУА» неактивна:		
- свыше 10 кГц до 10 МГц	-143	
- свыше 10 МГц до 1 ГГц	-148	
- свыше 1 до 3,2 ГГц	-145	
- свыше 3,2 до 14 ГГц	-140	
- свыше 14 до 18 ГГц	-137	
- свыше 18 до 20 ГГц	-135	
- свыше 20 до 32 ГГц	-138	
- свыше 32 до 40 ГГц	-133	
- свыше 40 до 50 ГГц	-128	
опция «МУА» активна, без внешнего предусилителя:		
- свыше 20 МГц до 3,2 ГГц	-164	
- свыше 3,2 до 14 ГГц	-162	
- свыше 14 до 25 ГГц	-160	
- свыше 25 до 35 ГГц	-158	
- свыше 35 до 44 ГГц	-154	
- свыше 44 до 50 ГГц	-150	
18 Уровень фазовых шумов на отстройках относительно несущей с частотой 1 ГГц, дБн/Гц, не более		
- 1 кГц	-110	
- 10 кГц	-115	
- 100 кГц	-120	
- 1 МГц	-135	
19 КСВН СВЧ входа при ослаблении входного аттенюатора 10 дБ (опции «АДП» и «АПА» неактивны), в диапазоне частот, не более:		
опция «МУА» не активна		
- от 0,01 до 18 ГГц для опции «11Р» и до 20 ГГц для опции «13Н» и «05Н»	2,0	

- свыше 20 до 50 ГГц для опции «05Н» опция «МУА» активна, без внешнего предусилителя	3,0
- от 0,02 до 18 ГГц для опции «11Р» и до 20 ГГц для опции «13Н» и «05Н»	2,1
- свыше 20 до 50 ГГц для опции «05Н» опция «МУА» активна, с внешним предусилителем из комплекта поставки	3,1
- свыше 14 до 50 ГГц для опции «05Н»	3,2
20 Номинальные значения полос пропускания ФПЧ по уровню минус 3 дБ, Гц	от 1 до 10^3 с шагом 1/2/3/5/7; от 10^3 до 10^7 с шагом 1/3; 140; 6366
21 Номинальные значения полос пропускания видеофильтров по уровню минус 3 дБ, Гц	от 1 до 10^3 с шагом 1/2/3/5/7; от 10^3 до 10^7 с шагом 1/3
Опция «ИКШ» (с активной опцией «МУА»)	
22 Частотный диапазон измерения коэффициента шума, МГц: - СК4М-18А с опцией «11Р» - СК4М-18А с опцией «13Н» - СК4М-50 с опцией «05Н»	от 10 до 18000 от 10 до 20000 от 10 до 50000
23 Собственный коэффициент шума F_2 , в диапазоне частот, дБ: без внешнего предусилителя - от 0,02 до 0,05 ГГц - свыше 0,05 до 0,1 ГГц - свыше 0,1 до 2 ГГц - свыше 2 до 3,4 ГГц - свыше 3,4 до 8 ГГц - свыше 8 до 14 ГГц - свыше 14 до 18 ГГц (до 20 ГГц – для опций «13Н» и «05Н») с предусилителем из комплекта поставки (только для опции «05Н») - свыше 14 до 20 ГГц - свыше 20 до 36 ГГц - свыше 36 до 42 ГГц - свыше 42 до 46 ГГц - свыше 46 до 50 ГГц	15,93 11,60 10,36 11,37 10,35 12,07 14,00 11,54 11,41 12,83 13,74 15,10

24 Диапазон измерения коэффициента передачи (КП)⁵⁾, дБ (от – не более, до – не менее), для избыточной относительной шумовой температуры (ИОШТ) генератора шума (ГШ) ENR [дБ] и ENR' [дБ] = $10 \cdot \lg(1 + ENR[\text{отн. ед.}])$, в диапазоне частот, МГц: без внешнего предусилителя - от 0,02 до 0,05 - свыше 0,05 до 14 - свыше 14 до 18 (до 20000 – для опций «13Н», «05Н») - свыше 20000 до 35000 (для опции «05Н») с предусилителем из комплекта поставки (только для опции «05Н») - от 14000 до 20000 - свыше 20000 до 40000 (для опции «05Н») - свыше 40000 до 50000 (для опции «05Н»)	от $(3 - ENR)$ до $(73 - ENR')$ от $(-1 - ENR)$ до $(70 - ENR')$ от $(2 - ENR)$ до $(71 - ENR')$ от $(6 - ENR)$ до $(71 - ENR')$ от $(-1 - ENR)$ до $(60 - ENR')$ от $(-1 - ENR)$ до $(61 - ENR')$ от $(1 - ENR)$ до $(59 - ENR')$
25 Диапазон измерения суммы коэффициента шума (КШ) и КП S_0 [дБ] = (КШ [дБ] + КП [дБ]), дБ (от – не более, до – не менее), в диапазоне частот, МГц⁵⁾, при КШ > 0 дБ: без внешнего предусилителя - от 0,02 до 0,05 - свыше 0,05 до 14 - свыше 14 до 18 (до 20000 – для опций «13Н», «05Н») - свыше 20000 до 35000 (для опции «05Н») с предусилителем из комплекта поставки (только для опции «05Н») - от 14000 до 20000 - свыше 20000 до 40000 (для опции «05Н») - свыше 40000 до 50000 (для опции «05Н»)	от 0 до 73⁶⁾ от 0 до 70⁶⁾ от 0 до 71⁶⁾ от 0 до 71⁶⁾ от 0 до 60⁶⁾ от 0 до 61⁶⁾ от 0 до 59⁶⁾
26 Пределы допускаемой абсолютной инструментальной погрешности измерений коэффициента шума, дБ	$\pm 0,03$
27 Пределы допускаемой абсолютной инструментальной погрешности измерений коэффициента передачи, дБ	$\pm 0,03$

28 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КИШ (для исследуемых устройств с КСВН не более 1,5 при использовании ГШ ГШМ2-20А или ГШМ2-20В, или при использовании других ГШ с погрешностью ИОШТ не более 0,4 дБ и с КСВН не более 1,45; для КСВН СВЧ-входа анализатора не более 2,1 без использования внешнего предусилителя и не более 3,2 с внешним предусилителем)⁷⁾	см. таблицу 4.9
Опция «ГРП» (с активной опцией «МУА»)	
29 Пределы допускаемой абсолютной погрешности градуировки генераторов шума (без учета погрешностей из-за рассогласования радиоизмерительного тракта и неопределенности температуры окружающего воздуха, а также ИОШТ используемого в качестве эталона генератора шума), в диапазоне частот, дБ⁸⁾ для опции «11Р», «13Н» - от 0,01 до 0,02 невл. ГГц ±0,460 - от 0,02 до 6 ГГц ±0,076 - свыше 6 до 12 ГГц ±0,060 - свыше 12 до 18 ГГц ±0,091 - свыше 18 до 20 ГГц (только для опции «13Н») ±0,097 для опции «05Н» без внешнего предусилителя из комплекта поставки - от 0,01 до 0,03 ГГц ±0,158 - свыше 0,03 до 14 ГГц ±0,079 - свыше 14 до 18 ГГц ±0,123 - свыше 18 до 20 ГГц ±0,132 для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки - от 0,2 до 0,35 ГГц ±0,290 - свыше 0,35 до 5 ГГц ±0,137 - свыше 5 до 15 ГГц ±0,075 - свыше 15 до 20 ГГц ±0,082 - свыше 20 до 26 ГГц ±0,066 - свыше 26 до 30 ГГц ±0,099 - свыше 30 до 32 ГГц ±0,126 - свыше 32 до 39 ГГц ±0,097 - свыше 39 до 43 ГГц ±0,104 - свыше 43 до 50 ГГц ±0,175	

30 КСВН аттенуаторов, входящих в комплект поставки при заказе опции, не более	
Д2М-32-10-13Р-13	
- от 0,01 до 20 ГГц	1,10
- свыше 20 до 32 ГГц	1,25
Д2М-50-3-05Р-05	
- от 0,01 до 20 ГГц	1,25
- свыше 20 до 50 ГГц	1,30
Опция «ИФС» (применяется только при неактивной опции «МУА»)	
31 Частотный диапазон измерения фазового шума, МГц:	
- СК4М-18А с опцией «11Р»	от 10 до 18000
- СК4М-18А с опцией «13Н»	от 10 до 20000
- СК4М-50 с опцией «05Н»	от 10 до 50000
32 Диапазон отстроек ΔF от частоты несущей при измерении фазового шума	от 10 Гц до 10 МГц
33 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения фазового шума при уровне измеряемого фазового шума на 6 дБ больше уровня собственных шумов ⁹⁾ , в диапазонах отстроек ΔF , дБ	
- от 0,00001 МГц до 1 МГц	$\pm 1,5$
- свыше 1 МГц	$\pm 2,0$
Опция «АДП»	
34 Частота модулирующего сигнала F_m , кГц	от 0,02 до 200
35 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты модулирующего сигнала F_m , Гц, для коэффициента амплитудной модуляции M в %:	
- в режиме АМ	$\pm(4 \cdot 10^{-5} \cdot F_m \cdot 100 \% / M)$
- в режиме ЧМ и ФМ	$\pm((2 \cdot 10^{-4} \cdot F_m) + 0,2)$
36 Диапазон измерений коэффициентов амплитудной модуляции M , %	от 0,1 до 100
37 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициентов амплитудной модуляции M , %	$\pm(0,006 \cdot M + 0,2)$
38 Уровень паразитной внутренней АМ, %	0,02
39 Коэффициент перехода частотной модуляции в амплитудную при $F_m = 1$ кГц, $\Delta f = 50$ кГц, %, не более	0,05
40 Диапазон измерений девиации частоты Δf , Гц	от 10 до $5 \cdot 10^6$

41 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений девиации частоты Δf , Гц	$\pm 0,006 \cdot (F_M + \Delta f)$
42 Уровень паразитной внутренней ЧМ, Гц	2,0
43 Диапазон девиации фазы φ , рад	от 1 до 100
44 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений девиации фазы $\Delta \varphi$, рад	$\pm 0,04 \cdot (\Delta \varphi + 2 \cdot 10^{-6} \cdot F_M)$
45 Диапазон отстройки от несущей частоты, Гц	от 1 до 10^7
¹⁾Для опции «ГРП» работает от 10 МГц. ²⁾Под неактивной опцией здесь и далее понимается либо отсутствие опции, либо ее выключенное состояние. ³⁾Здесь и далее «дБм» – дБ относительно 1 мВт. ⁴⁾Для активной опции «МУА» эта характеристика эквивалентна инструментальной погрешности измерений коэффициента передачи для опции «ИКШ». ⁵⁾Диапазоны определяются на гармоническом сигнале при ФПЧ = 100 кГц (при измерении с более широким ФПЧ верхний предел будет соответственно меньше); при нулевом ослаблении аттенюатора ПЧ. ⁶⁾Указанная верхняя граница $S_{0 \max}^H$ суммы $S_0 = (F_{иу} [\text{дБ}] + G_{иу} [\text{дБ}])$ приводится для $G_{иу} [\text{дБ}] \leq G_{иу \max} [\text{дБ}] - 10$, где $F_{иу}$ – КШ исследуемого устройства (ИУ), $G_{иу}$ – КП ИУ, а $G_{иу \max}$ – верхняя нормируемая граница КП ИУ для данного диапазона. Если $G_{иу} [\text{дБ}] > G_{иу \max} [\text{дБ}] - 10$, то верхняя граница $S_{0 \max}^{H*}$ суммы S_0 рассчитывается по формуле $S_{0 \max}^{H*} [\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot S_{0 \max}^H [\text{дБ}]} - G_{иу} [\text{отн. ед.}] \cdot ENR [\text{отн. ед.}])$. Нижнюю же границу суммы S_0 при КШ $F_{иу} = 0$ дБ следует считать равной $S_{0 \min}^{H*} = G_{иу}$. ⁷⁾При использовании исследуемых устройств и ГШ с меньшими значениями КСВН и погрешностями ИОШТ, а также при отклоне КСВН СВЧ-входа анализатора от 2, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ необходимо пересчитать по формулам, указанным в таблице 4.9. ⁸⁾Для градуировки методом «Метод дополнительной калибровки» с пределами нестабильности установленными в соответствии с указанным в данном пункте значениям; остальные параметры измерения – по умолчанию. ⁹⁾Под собственным шумом понимается преобладающий шум: либо фазовый, либо тепловой, либо паразитные спектральные составляющие и т.п.	

Т а б л и ц а 4.8 – Технические характеристики СК4М

Наименование характеристики	Значение характеристики
1 Уровень максимальной входной мощности (при включенном входном аттенюаторе не менее 10 дБ), Вт, не более	1
2 Напряжение питания генератора шума, В	28±0,2
3 Время установления рабочего режима, мин, не более	40
4 Продолжительность непрерывной работы, ч, не менее	16
5 Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм, не более	390×390×205

Наименование характеристики	Значение характеристики
6 Масса, кг, не более	20
7 Напряжение питания от сети переменного тока частотой 50 Гц, В	от 207 до 253
8 Потребляемая мощность, В·А, не более	300
9 Тип соединителя входа «СВЧ» опция «11Р» опция «13Н» опция «05Н»	N, розетка NMD 3,5, вилка NMD 2,4, вилка
10 Рабочие условия эксплуатации: - диапазон рабочих температур, °С - относительная влажность при температуре 25 °С, %, не более - атмосферное давление, мм рт. ст.	от 15 до 40 90 от 630 до 800

Т а б л и ц а 4.9 – Доверительные границы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ $\delta F_{\text{ИУ}}$ при вероятности 0,95 (для исследуемого устройства (ИУ) с КП $G_{\text{ИУ,дБ}}$ и КШ $F_{\text{ИУ}}$)

Частота	$F_{\text{ИУ}}^{(1)}$, дБ	$\delta F_{\text{ИУ}}^{(2)}$, дБ, для $G_{\text{ИУ,дБ}}$, дБ					
		7	10	15	20	25	св. 30
от 0,02 до 0,05 ГГц	1	-0,44; 0,40	-0,48; 0,43	-0,50; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,48; 0,43	-0,49; 0,44	-0,50; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,50; 0,45	-0,50; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46
	15	-0,50; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45
	св. 20	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45
от 0,05 до 0,10 ГГц	1	-1,98; 1,36	-0,99; 0,81	-0,58; 0,52	-0,53; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,86; 0,72	-0,61; 0,54	-0,52; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,56; 0,50	-0,52; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 0,10 до 2 ГГц	1	-0,78; 0,66	-0,58; 0,51	-0,52; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,55; 0,49	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 10	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 2 до 3,4 ГГц	1	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	5	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46
	св. 10	-0,65; 0,57	-0,54; 0,48	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,52; 0,46
свыше 3,4 до 8 ГГц	1	-0,52; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	5	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 10	-0,75; 0,64	-0,57; 0,51	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
свыше 8 до 14 ГГц	1	-0,55; 0,49	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	5	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,65; 0,57	-0,54; 0,48	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,52; 0,46

Частота	$F_{иу}^{1)}$, дБ	$\delta F_{иу}^{2)}$, дБ, для $G_{иу,дБ}$, дБ					
		7	10	15	20	25	св. 30
	св. 15	-0,52; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 14 до 18 ГГц для опции «11Р» и до 20 ГГц для опции «13Н» и «05Н»	1	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	5	-0,84; 0,71	-0,60; 0,53	-0,52; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	10	-0,57; 0,50	-0,52; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 14 до 20 ГГц (для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки)	1	-0,80; 0,68	-0,58; 0,51	-0,52; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,56; 0,49	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 15	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46
свыше 20 до 36 ГГц (для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки)	1	-0,78; 0,66	-0,58; 0,51	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,55; 0,49	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,45	-0,51; 0,46
свыше 36 до 42 ГГц (для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки)	1	-1,01; 0,82	-0,65; 0,56	-0,53; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,61; 0,54	-0,53; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 42 до 46 ГГц (для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки)	1	-1,22; 0,96	-0,72; 0,62	-0,54; 0,48	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,66; 0,58	-0,55; 0,49	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,53; 0,47	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
свыше 46 до 50 ГГц (для опции «05Н» с внешним предусилителем из комплекта поставки)	1	-1,69; 1,22	-0,87; 0,73	-0,56; 0,50	-0,52; 0,47	-0,52; 0,46	-0,52; 0,46
	5	-0,79; 0,67	-0,58; 0,52	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	10	-0,55; 0,49	-0,52; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	15	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46
	св. 20	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46	-0,51; 0,46

Частота	$F_{\text{ИУ}}^{1)}$, дБ	$\delta F_{\text{ИУ}}^{2)}$, дБ, для $G_{\text{ИУ,дБ}}$, дБ					
		7	10	15	20	25	св. 30
лем из ком- плекта по- ставки)							
¹⁾В диапазоне КШ исследуемого устройства $F_{\text{ИУ}}$ от 0,01 до 20 дБ предполагается использование ГШМ2-20А, а в диапазоне от 20 до 30 дБ – ГШМ2-20В или другие генераторы шума с аналогичными характеристиками или лучше. ²⁾Вычисление границ погрешности проводится в следующей последовательности (предполагается, что СКО $F_{\text{ИУ}}$ не более 0,05 дБ): 1) измерить собственный КШ анализатора (АС) F_2 [отн. ед.]; 2) рассчитать КШ всей измерительной системы, отн. ед., по формуле $F_{12} = F_{\text{ИУ}} + \frac{(F_2[\text{отн. ед.}] - 1)}{G_{\text{ИУ}}}$, где $F_{\text{ИУ}} = 10^{0,1 \cdot F_{\text{ИУ}}[\text{дБ}]}$, отн. ед.; $G_{\text{ИУ}} = 10^{0,1 \cdot G_{\text{ИУ,дБ}}}$, отн. ед.; 3) вычислить пределы погрешности рассогласования $\Delta_{\text{ГШ-ИУ}}$, $\Delta_{\text{ГШ-АС}}$ и $\Delta_{\text{ИУ-АС}}$ по формуле $\Delta_{\text{и1-и2}} [\text{отн. ед.}] = \rho_{\text{и1}}[\text{отн. ед.}] \cdot \rho_{\text{и2}}[\text{отн. ед.}]$, где «и1» и «и2» – соответствующие индексы, ρ – соответствующие коэффициенты отражения; 4) рассчитать границы погрешности измерения КШ измерительной системы, отн. ед., по формуле $\Delta F_{12} = 1,1 \cdot \sqrt{ \Delta_{\text{ГШ-ИУ}} ^2 + (F_{12} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta F_{\text{сист}}} - 1))^2 + (1 - S) \cdot (ENR_{\text{изм}} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{изм}}} - 1))^2}$, где $S = 1$ – для измерений без преобразования частот (в таблице приведены значения для этого случая), а $S = 0$ – с преобразованием, $\delta ENR_{\text{изм}}$ – предел погрешности ИОШТ $ENR_{\text{изм}}$, отн. ед., эталонного ГШ, использованного на этапе измерения, дБ, $\delta F_{\text{сист}}$ – предел абсолютной инструментальной погрешности измерения КШ, дБ; 5) определить границы погрешности измерения собственного КШ АС, отн. ед., по формуле $\Delta F_2 = 1,1 \cdot \sqrt{ \Delta_{\text{ГШ-АС}} ^2 + (F_2 \cdot (10^{0,1 \cdot \delta F_{\text{сист}}} - 1))^2 + (1 - S) \cdot (ENR_{\text{кал}} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{кал}}} - 1))^2}$, где $\delta ENR_{\text{кал}}$ – предел погрешности ИОШТ $ENR_{\text{кал}}$, отн. ед., эталонного ГШ, использованного на этапе калибровки, дБ; 6) вычислить границы погрешности измерения КП ИУ, отн. ед., по формуле $\Delta G_{\text{ИУ}} = 1,1 \cdot \sqrt{ \Delta_{\text{ГШ-ИУ}} ^2 + \Delta_{\text{ГШ-АС}} ^2 + \Delta_{\text{ИУ-АС}} ^2 + (G_{\text{ИУ}} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta G_{\text{сист}}} - 1))^2 + (1 - S) \cdot (ENR_{\text{изм}} \times (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{изм}}} - 1))^2}$, где $\delta G_{\text{сист}}$ – предел абсолютной инструментальной погрешности измерения КП, дБ; 7) рассчитать итоговые значения доверительных границ погрешности измерения КШ при вероятности 0,95 по формуле $\delta F_{\text{ИУ}}[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg \left\{ 1 \pm \frac{1}{F_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \cdot \sqrt{(\Delta F_{12}[\text{отн. ед.}])^2 + \left(\frac{\Delta F_2[\text{отн. ед.}]}{G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \right)^2 + \left(\frac{F_2[\text{отн. ед.}] - 1}{G_{\text{ИУ}}^2[\text{отн. ед.}]} \cdot \Delta G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}] \right)^2 + S \cdot 1,1^2 \cdot \left(F_{12}[\text{отн. ед.}] - \frac{F_2[\text{отн. ед.}]}{G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \right)^2 \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{изм}}[\text{дБ}]} - 1)^2} \right\}.$							

Таблица 4.10 – Дополнительные технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
1 Уровни напряжения управления внешним блоком питания (выход «ГШ 2  ») при нагрузке не менее 1 кОм по постоянному току соответствуют уровням ТТЛ, В: напряжение высокого уровня (логическая «1») напряжение низкого уровня (логический «0»)	от 2,4 до 5,5 не более 0,4

2 Параметры сигнала внешнего ОГ (для входа «ОГ →» на задней панели) на нагрузку 50 Ом: - частота, МГц - амплитуда напряжения сигнала, В	5 или 10 от 0,15 до 2,00
3 Параметры сигнала внутреннего опорного генератора (выход «ОГ →» на задней панели) для нагрузки 50 Ом: - частота, МГц - амплитуда напряжения сигнала, В	10 от 0,15 до 2,00
4 Номинальное сопротивление входа для сигнала внешнего ОГ (вход «ОГ →» на задней панели СК4), Ом	50
5 Номинальное сопротивление выхода внутреннего ОГ (выход «ОГ →» на задней панели СК4), Ом	50
6 Параметры импульсов синхронизации (на выходе «СИНХР →» задней панели): 1) напряжения высокого и низкого уровня (логических «1» и «0») при нагрузке не менее 1 кОм по постоянному току должны соответствовать; 2) минимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации, мкс; 3) максимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации, мкс; 4) длительность фронта и среза импульса, нс, не более	уровни ТТЛ (см. п. 1 настоящей таблицы) 1,0 ± 0,4 255 ± 10 100
7 Параметры импульсов синхронизации (на входе «СИНХР →» задней панели): 1) напряжения высокого и низкого уровня (логических «1» и «0»), при условии, что сопротивление источника сигнала по постоянному току должно быть не менее 100 кОм; 2) минимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации, мкс	уровни ТТЛ (см. п. 1 настоящей таблицы) 1,0 ± 0,4
8 Тип соединителей входа/выхода синхронизации, входа/выхода сигналов ОГ, выходов ГЕНЕРАТОР ШУМА и «ГШ 2 →»	BNC, розетка
9 Тип соединителей входа/выхода промежуточной частоты 70 МГц	SMA, розетка
10 Время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапазоне с требуемой степенью усреднения должно быть, мин, не более	40
11 Время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапа-	

зоне с требуемой степенью усреднения после предварительного прогрева СК4М во включенном состоянии, но без запущенного процесса измерения, в течение 30 мин, должно быть, мин, не более	
- для СК4М-18А	10
- для СК4М-50	20
12 Время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапазоне с требуемой степенью усреднения после предварительного прогрева СК4М во включенном состоянии, но без запущенного процесса измерения, в течение 1 ч, должно быть, мин, не более	10
13 Минимальный временной интервал между циклами непрерывной работы должен быть, ч, не более	2
14 Средний срок службы, лет	5
15 Уровень максимальной входной мощности на первом смесителе, Вт, не более	0,01
16 Уровень максимальной входной мощности на входном малошумящем усилителе, Вт, не более	10^{-4}

4.7 Устройство и работа СК4

4.7.1 Структура

СК4 построен по архитектуре виртуальных приборов. Согласно классификации документа WELMEC Guide 7.2 [4], такие средства измерений относятся к типу *U*, а именно к средствам измерений, использующим персональный компьютер. СК4 включает в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть выполняет набор базовых функций, определяющих режимы измерений. Программная часть обеспечивает реализацию выбранного пользователем режима измерений, управление и отображение результатов измерений.

Данная архитектура позволяет гибко увеличивать функциональность СК4 за счёт внедрения программных опций. Открытый программный интерфейс, совместимый со стандартом *IVI-COM*, дает возможность пользователю управлять СК4 сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д. Адаптивная система синхронизации позволяет обеспечить совместную работу СК4 с другими приборами в составе измерительных комплексов.

Компьютер обеспечивает панорамное отображение результата измерений и выполняет ряд вычислительных функций. Связь между СК4 и компьютером осуществляется по протоколу *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*.

СК4 относится к классу анализаторов спектра последовательного (сканирующего) типа.

Упрощённая структурная схема для СК4 приведена на рисунке 4.4. Схема содержит основные функциональные блоки и модули, непосредственно участвующие в процессе приёма и обработки измеряемого сигнала, с указанием тех функциональных узлов, описание которых необходимо для понимания принципа работы СК4.

Радиоприёмный тракт (РПТ) построен по супергетеродинной схеме с многократным преобразованием частоты, предназначен для преобразования измеряемого спектра сигнала на ПЧ, равную 70 МГц, а также для его фильтрации и регулировки уровня. Таким образом, РПТ обеспечивает избирательность по побочным каналам приёма и широкий динамический диапазон измеряемых сигналов. Имеет в своём составе входной ступенчатый ВЧ-аттенюатор, набор управляемых усилителей-аттенюаторов и аналоговых полосовых фильтров ПЧ, а также широкополосный перестраиваемый преселектор. Программные алгоритмы позволяют автоматически перераспределять коэффициент передачи в тракте для получения лучшей динамики и минимальных нелинейных искажений.

Блок синтезаторов (БС) представляет собой систему перестраиваемых и фиксированных гетеродинов с низким уровнем фазового шума, применяемых для преобразования частоты в РПТ. Обеспечивает сканирование СК4 по частоте. Многопетлевая система ФАПЧ в схеме перестраиваемого гетеродина позволяет по желанию пользователя оптимизировать уровень фазового шума СК4 на ближней и дальней отстройках.

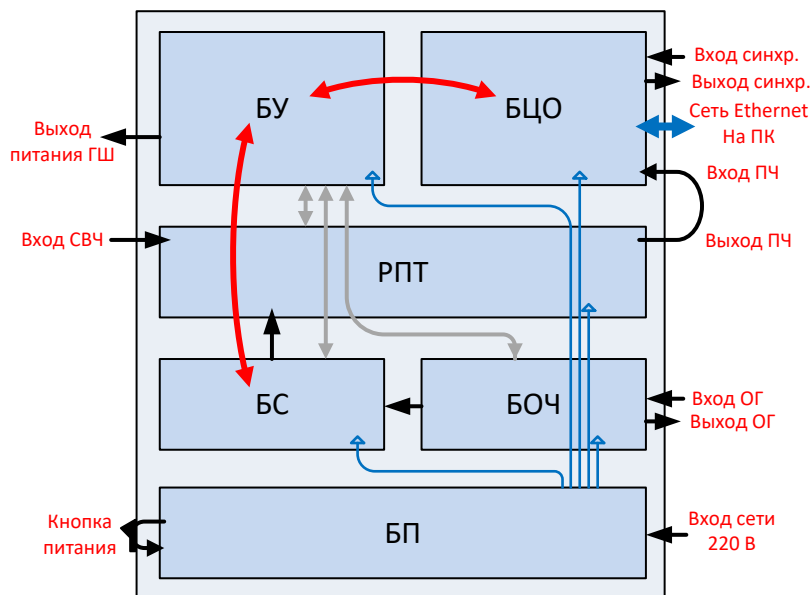


Рисунок 4.4 – Структурная схема СК4

Источником опорного сигнала для синтезаторов служит **блок опорной частоты (БОЧ)**, содержащий высокостабильный кварцевый генератор. Имеются возможности синхронизации сигнала БОЧ от внешних источников (частотами 1,

5, 10 и 100 МГц), а также использования этого сигнала (с частотой 10 МГц) в качестве опорного в других внешних устройствах.

Блок цифровой обработки (БЦО) содержит высокоскоростной АЦП для оцифровки сигнала ПЧ, встроенный микропроцессор и другие устройства запоминания и обработки данных. Оцифрованный измеряемый сигнал подвергается фильтрации для обеспечения частотной избирательности – с этой целью реализован набор цифровых фильтров, в том числе с применением алгоритмов быстрого преобразования Фурье. Далее сигнал обрабатывается детектором огибающей и видеофильтром для уменьшения дисперсии шума. Алгоритм обработки видеосигнала для отображения результата измерения на экране задаётся различными типами детекторов отображения.

Блок управления (БУ) предназначен для передачи сигналов управления различными функциональными узлами в РПТ, БС и БОЧ, а также для приёма и обработки сигналов текущего состояния этих блоков (перегрузка, захват ФАПЧ и т. п.). Кроме того, в БУ формируется сигнал управления генератором шума (+28 В), позволяющий применять СК4 для оценки коэффициента шума и коэффициента передачи различных радиотехнических устройств.

Блок питания (БП) обеспечивает электропитание всех составных частей СК4.

Работа блоков БЦО, БС и БУ объединена посредством обмена между ними специальными командами и данными. В БЦО осуществлён интерфейс с ПК через сеть *Ethernet*. Таким образом, обеспечивается передача в ПК предварительно обработанного измеряемого сигнала и других необходимых данных, а также осуществляется взаимодействие с СК4 с помощью элементов управления ПО *Graphit*.

В составе БЦО реализован приёмопередатчик прямоугольных импульсов цифровой синхронизации, с помощью которых можно объединять работу СК4 с другими приборами, например, осуществив их синхронную перестройку по частоте (только для опции «ИКШ»).

Один из вариантов структурной схемы цифровой обработки сигнала для режима измерения «СК4М. Анализатор спектра» представлен на рисунке 4.5.

В блоке расчета мощности производится вычисление значений мощности из сигнала на выходе фильтра ПЧ. В видеофильтре производится усреднение сигнала на фиксированной частоте. В детекторе отображения производится обработка измеренных мощностей по диапазону частот.

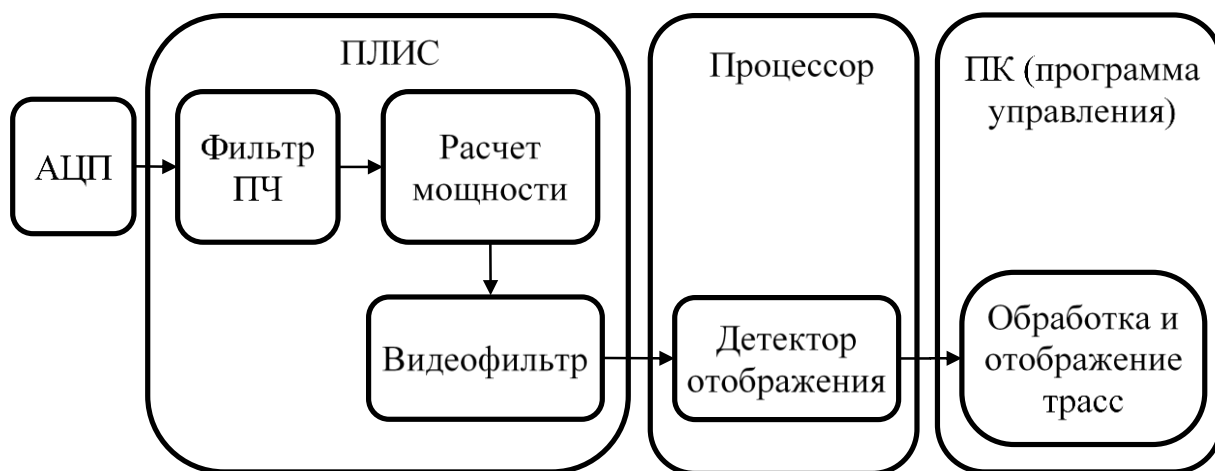


Рисунок 4.5 – Структурная схема цифровой обработки сигнала для режима измерения «СК4М. Анализатор спектра»

4.7.2 Особенности работы

Прогрев СК4. Перед началом необходимо прогревать прибор. Время прогрева, т.е. время установления рабочего режима, составляет 40 мин при запущенном процессе измерения, но возможны и другие режимы прогрева (см. таблицу 4.10 пп. 10–12).

i Для достижения наибольшей точности измерений и показателей, приведённых в технических характеристиках СК4, прогрев СК4 необходимо проводить при запущенном процессе измерения. Для СК4 это способствует более эффективному прогреву ЖИГ-преселектора (который работает в диапазоне частот выше 3200 МГц или 3400 МГц) и МШУ входной цепи, а также, соответственно, стабилизации КП тракта ВЧ СК4. Также рекомендуется запускать процесс измерений на 10 минут перед началом проведения измерений всякий раз после смены диапазона сканирования по частоте, полосы фильтра ПЧ (в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума») или степени усреднения (в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ», «Градуировка генераторов шума»), а также после изменения других параметров, прерывающих процесс перестройки гетеродина.

Если точность измерений не является критичной, допускается время прогрева уменьшать; тем не менее перед началом измерений в установленном частотном диапазоне следует запустить предварительно процесс измерений и осуществить два-три цикла перестройки частоты гетеродина СК4.

Спящий режим ПК. В случае длительной непрерывной работы СК4 необходимо отключить в ОС спящий режим, т.к., например в *Windows 7* после ухода ПК в спящий режим, связь программы управления и СК4 теряется, соответственно процесс измерения останавливается.

Дифференциальный КШ. При измерении КШ прямыми измерениями являются измерения мощности. Хотя измерения являются панорамными в заданном диапазоне частот, расчет КШ и КП осуществляется в достаточно узкой полосе, ширина которой выставляется программно на панели управления «Измерение» в поле со списком «Полоса фильтра ПЧ». Предполагается, что в этой узкой полосе значение КШ и КП постоянно, а шум является тепловым; т.е. осуществляется измерение так называемого дифференциального КШ [5].

КШ преобразователя. Существуют особенности при измерении КШ приемников с одно- (узко-) и двухканальным (широкополосным) режимами [5, 6]. В случае одноканального режима (ОР), как правило, предполагается, что прием сигнала осуществляется в основном канале, а шумы присутствуют как в основном, так и в зеркальном каналах. Во многих случаях с ОР преобразователю предшествует фильтр подавления зеркального канала. В двухканальном режиме (ДР) сигнал источника присутствует в двух каналах. Если характеристики преобразователя и источника сигнала на основной и зеркальной частотах одинаковы, то КШ для преобразователя с ДР будет на 3 дБ меньше, чем для преобразователя с ОР [5, 6]. Если этот факт не учитывать и проводить измерения КШ для ДР как для ОР, то в результате получится, что измеренный КШ окажется на 3 дБ больше, чем на самом деле. Т.о., КШ для ДР нуждается в коррекции. Подобную трехдецибельную коррекцию необходимо проводить вручную. Коррекцию проводят в тех случаях, когда сигнал от ГШ на этапе измерений присутствует как в основном канале, так и в зеркальном. Необходимость в такой коррекции связана с тем, что порядок калибровки для преобразователей с ОР и ДР совпадает, а на этапе измерений для ДР сигнал на входе СК4 оказывается в два раза больше (если характеристики преобразователя и источника сигнала на основной и зеркальной частотах одинаковы) ввиду того, что сигнал ГШ после преобразования попадает на вход СВЧ [5, 6] с основной и зеркальной частот. В этом случае с точки зрения ИКШ подобное увеличение сигнала воспринимается как собственный шум преобразователя; что, по сути, не соответствует действительности.

Интерполяция. Также следует заметить, что в заданном частотном диапазоне для режимов «СК4М. Анализатор спектра», «СК4М. Аналоговая демодуляция» и «СК4М. Измерение фазового шума» фактическая сетка частот сканирования (измерения) в общем случае не совпадает с сеткой частот, заданной пользователем (на панели управления «Частота» в поле ввода «Точек», см. ч. II настоящего РЭ), а определяется особенностью работы детектора отображения (задается

на панели управления «Измерение», см. ч. II настоящего РЭ). В режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» и «Градуйровка генераторов шума» заданная пользователем сетка частот фактически задает точки сканирования СК4. В любом случае на экран выводится непрерывная кривая, полученная путем интерполяции. Интерполированные точки на маркерах обозначаются знаком «(!)».

Аналогичная интерполяция проводится в том случае, если калибровка осуществлялась в одном частотном диапазоне, а измерения – в другом.

❗ ВНИМАНИЕ! КАЛИБРОВКУ И ИЗМЕРЕНИЕ НЕОБХОДИМО ПРОВОДИТЬ В ОДНОМ И ТОМ ЖЕ ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ!

Интерполяция так же применяется для данных ИОШТ ГШ в тех случаях, когда частоты, на которых проводятся измерения, не совпадают с частотами в характеристике ГШ. Если в характеристике ГШ установлена одна единственная частота и соответствующая ей ИОШТ, то это значение ИОШТ будет использовано во всем частотном диапазоне измерений.

Округление. После проведения калибровки в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» калибровочные коэффициенты сохраняются в «Калибровка > Калибровочные данные...» и отображаются в округленном виде; в процессе измерений используются неокругленные значения. После ручной правки таблицы «Калибровочные данные...» при измерениях будут использоваться данные, взятые из этой таблицы, соответственно, произойдет округление калибровочных коэффициентов. Данные из таблицы также начинают использоваться в измерениях после загрузки калибровочных данных с помощью команды «Открыть данные из файла» указанного диалога.

Основные виды измерений и формулы приведены в Приложение А.

5 Подготовка к работе

Сведения о распаковывании и повторном упаковывании СК4 приводятся в п. 11.3 настоящего РЭ.

5.1 Эксплуатационные ограничения

СК4 без упаковки не являются ударопрочными. В помещении, где будут проводиться работы, не должно быть значительных вибраций и ударных воздействий (например от работающего рядом станка), а также сильных электромагнитных полей и мощных импульсных помех.

Продолжительность непрерывной работы не менее 16 ч.

Временной интервал между рабочими циклами непрерывной работы не менее 2 ч.

При провалах напряжения сети электропитания длительностью от 1 периода во время работы СК4 возможна потеря связи с ПК, при этом требуется вмешательство оператора с целью перезапуска ПО и/или СК4 и переподключения к ПК.

Об особенностях прогрева СК4 перед началом работы см. п. 4.7.2.

5.2 Требования к рабочему месту

На рабочем месте должны обеспечиваться нормальные условия для режима «Градуировка генераторов шума» и рабочие условия применения – для остальных режимов работы согласно п. 4.2; система защитного заземления и электропитание $\sim (230 \pm 23)$ В 50 Гц 1 А.

В помещении, где будут проводиться работы, не должно быть значительных вибраций и ударных воздействий (например от работающего рядом станка), а также сильных электромагнитных полей и мощных импульсных помех.

Рабочее место должно быть хорошо проветриваемым для поддержания стабильности климатических условий и выветривания паров спирта при проведении чистки.

Перед установкой СК4 на рабочее место необходимо убедиться, что площадь поверхности рабочего стола достаточна для размещения на ней СК4, комплекта принадлежностей и ИУ, а также на рабочем месте выполнены требования раздела 3, относящиеся к рабочему месту.

5.3 Контрольно-профилактические работы

При измерениях на СВЧ не последнюю роль играют вопросы согласования, потеря, качества соединителей в измерительном тракте. Потери в СВЧ тракте увеличивают погрешность измерения. Поэтому при обнаружении жира, пыли, грязи, посторонних частиц на контактирующих поверхностях СВЧ соединителей необходимо проводить их чистку. Сочленение требуется проводить чётко, без перекосов состыковывать разъёмы, затяжку гаек осуществлять тарированными гаечными ключами. Необходимо проводить визуальный контроль целостности соединителей измерителя. В случае явных следов повреждения следует обратиться к группе технической поддержки предприятия-изготовителя (контактная информация указана на титульном листе).

В данном подразделе описаны контрольно-профилактические работы для соединителей коаксиальных трактов.

5.3.1 Общие сведения о соединителях

На предприятии-изготовителе приняты кодовые обозначения соединителей согласно таблице 5.1.

Т а б л и ц а 5.1 – Кодовые обозначения соединителей предприятия-изготовителя

Кодировка	Тип соединителя	Сечение тракта, мм	$F_{\max}^{1)}$, ГГц	Примечания
01 01P	III, Вар. 1, Вилка ²⁾ III, Вар. 1, Розетка ²⁾	7/3,04	18	Метрика (метрическая вилка механически совместима с дюймовой розеткой)
02 02P	IX, Вар. 1, Вилка IX, Вар. 1, Розетка	4,15/1,27	26	—
03 03P	IX, Вар. 3, Вилка IX, Вар. 3, Розетка	3,5/1,52	33	Метрика (метрическая розетка механически совместима с дюймовой вилкой)
05 05P	I, Вилка I, Розетка	2,4/1,042	50	Механически совместим с трактом 1,85/08 мм
05H 05PH	NMD 2,4 мм, Вилка NMD 2,4 мм, Розетка	2,4/1,042	50	Механически совместим с трактом 1,85/08 мм
11 11P	N, Вилка ³⁾ N, Розетка ³⁾	7/3,04	18	Дюйм (метрическая вилка механически совместима с дюймовой розеткой)

Кодировка	Тип соединителя	Сечение тракта, мм	$F_{\max}^{1)}$, ГГц	Примечания
12 12P	SMA, Вилка ³⁾ SMA, Розетка ³⁾	4,15/1,27	26	Дюйм (механически совместим с трактом 3,5/1,52 мм; вилка дюйм механически совместима с розеткой метрикой)
13 13P	3,5 мм, Вилка ³⁾ 3,5 мм, Розетка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм
13H 13PH	NMD 3,5мм, Вилка ³⁾ NMD 3,5мм, Розетка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм
14 14P	2,92 мм, Вилка 2,92 мм, Розетка	2,92/1,27	40	Дюйм (механически совместим с трактом 3,5/1,52 мм)
15 15P	1,85 мм, Вилка 1,85 мм, Розетка	1,85/0,804	67	Механически совместим с трактом 2,4/1,042 мм
16 16P 16O 16C	SMP, Вилка, <i>full detent</i> SMP, Розетка SMP, Розетка, <i>limited detent</i> SMP, Розетка, <i>smooth bore</i>	—	32	—

¹⁾ $F_{\max}$ – верхняя рабочая частота.

²⁾По ГОСТ 13317.

³⁾По IEEE Std 287-2007; тип N совместим с тип III, Вар. 3 по ГОСТ 13317, сечение тракта 7/3,04 мм, дюймовая резьба 5/8"-24UNEF; по присоединительным размерам тип 3,5 мм соответствует типу IX Вар. 3 по ГОСТ 13317, сечение тракта 3,5/1,52 мм, дюймовая резьба 1/4"-36UNS; тип SMA частично совместим с тип IX, Вар. 1 по ГОСТ 13317.

5.3.2 Проверка внешнего вида

Проверку внешнего вида соединителей необходимо проводить каждый раз при подготовке к измерениям. Проверка внешнего вида СК4 и аксессуаров, входящих в комплект поставки, проводится по следующей методике.

Шаг 1. Проверить внешний вид изделия путём визуального осмотра и сличения с соответствующими рисунками (см. рисунки 4.1–4.3).

Шаг 2. При первой работе с изделием необходимо сверить его заводской номер, указанный на корпусе, и номер, указанный в формуляре; при обнаружении несоответствий дальнейшая работа с изделием запрещается, оформляется акт несоответствия, проводится выяснение и устранение причин несоответствия.

Шаг 3. Провести визуальный контроль чистоты и целостности изделия. В случае обнаружения посторонних частиц и грязи провести чистку. Чистку соединителей проводить в соответствии с указаниями, приведёнными в п. 5.3.3.

Шаг 4. Проверить изделие на отсутствие:

а) механических повреждений;

 *Под механическими повреждениями понимаются глубокие царапины, заусенцы, сколы, деформации и вмятины на корпусе изделия и его креплениях (или кабеле), на рабочих поверхностях проводников всех соединителей, включая соединители кабеля питания, и иных составных частях; отклонения от профиля резьбы и острые кромки резьбы соединителей; а также другие повреждения, непосредственно влияющие на технические характеристики или гарантийные обязательства (для изделий, на которые такие распространяются), в частности для соединителей соосность внутреннего проводника (см. рисунок 5.1-а), б) или значительный уход ламелей соединителя-розетки друг от друга (рисунок 5.1-в).*

 *При острой необходимости подключения устройств с соединителями, соосность которых не соответствует требованиям, к изделию и устройствам из комплекта принадлежностей можно использовать защитный переход (сэйвер), который снимет часть отклоняющей нагрузки на внутренний проводник соединителя изделия и устройств из комплекта принадлежностей. В дальнейшем несоответствующий соединитель необходимо отремонтировать, а если это невозможно, то заменить.*

- б) шумов внутри корпуса изделия (или соединителей), обусловленных наличием незакреплённых деталей;
- в) повреждения лакокрасочных покрытий при их наличии;
- г) повреждения маркировки и пломб при их наличии (проверка не относится к вспомогательным аксессуарам);
- д) следов коррозии металлических деталей и следов воздействия жидкостей или агрессивных паров;
- е) сломанных, ржавых (в том числе с черными точками), незакрученных или плохо закрученных винтов.

Шаг 5. Результаты проверки считать положительными, если:

- а) внешний вид изделия в общем соответствует рисункам, приводимыми в настоящем РЭ;
- б) посторонние частицы, грязь, а также какие-либо повреждения на изделии отсутствуют;
- в) у изделия отсутствуют: механические повреждения; шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакреплённых деталей, сломанные, незакрученные или плохо закрученные винты;
- г) у изделия отсутствуют: следы коррозии металлических деталей и следы воздействия жидкостей или агрессивных паров; ржавые (в том числе с черными точками) винты. Лакокрасочные покрытия изделия, а также маркировка и пломбы не повреждены;
- д) отсутствуют следы вскрытия измерительного блока (для СК4).

При обнаружении несоответствий дальнейшая работа с изделием запрещается, оформляется акт несоответствия.

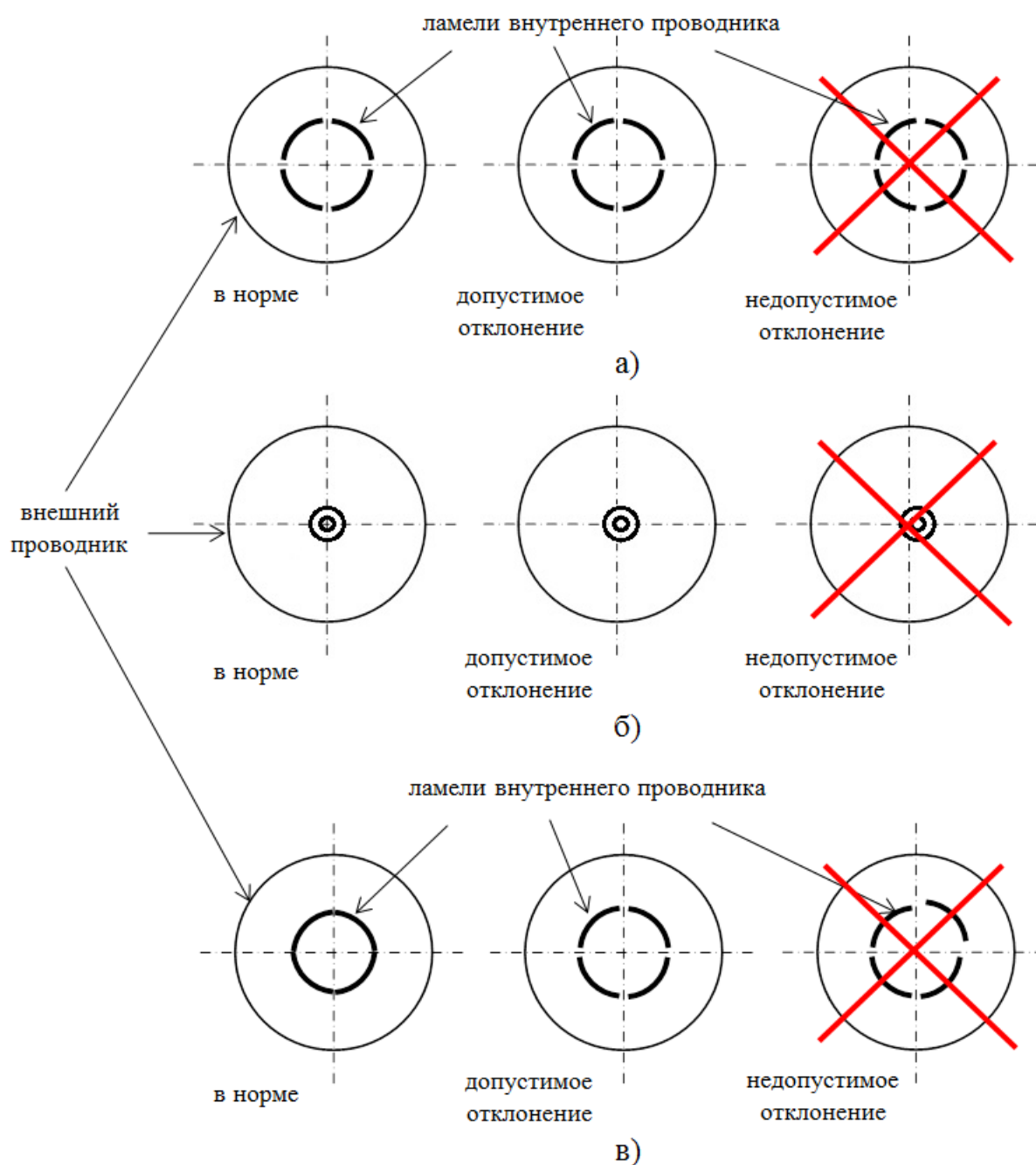


Рисунок 5.1 – Визуальный контроль соединителей: а) контроль соосности для «розетки»; б) контроль соосности для «вилки»; в) контроль неповрежденности

5.3.3 Чистка коаксиальных соединителей

Чистку соединителей необходимо проводить всякий раз при обнаружении жира, пыли, грязи и посторонних частиц на их поверхностях.

Чистка соединителей проводится в следующей последовательности:

- протереть поверхности соединителей, указанные стрелками на рисунке 5.2, зубочисткой с ватным тампоном (или бязью), смоченным в спирте (рекомендуемые средства для чистки приведены в таблице 6.1);

❗ Внимание! *Запрещается применять металлические предметы для чистки соединителей. Применение металлических предметов может привести к механическому повреждению соединителей.*

❗ Внимание! *Запрещается протирать внутренний проводник соединителей «розетка». Чистку внутреннего проводника соединителей «розетка» проводить продувкой воздухом.*

❗ Внимание! *Запрещается применять сильные растворители, например ацетон, так как можно повредить пластиковую диэлектрическую опору!*

- провести чистку остальных внутренних поверхностей соединителей, продув их воздухом;
- просушить соединители, убедиться в отсутствии остатков спирта внутри соединителей;
- провести визуальный контроль чистоты соединителей, убедиться в отсутствии посторонних частиц. В случае необходимости чистку повторить.

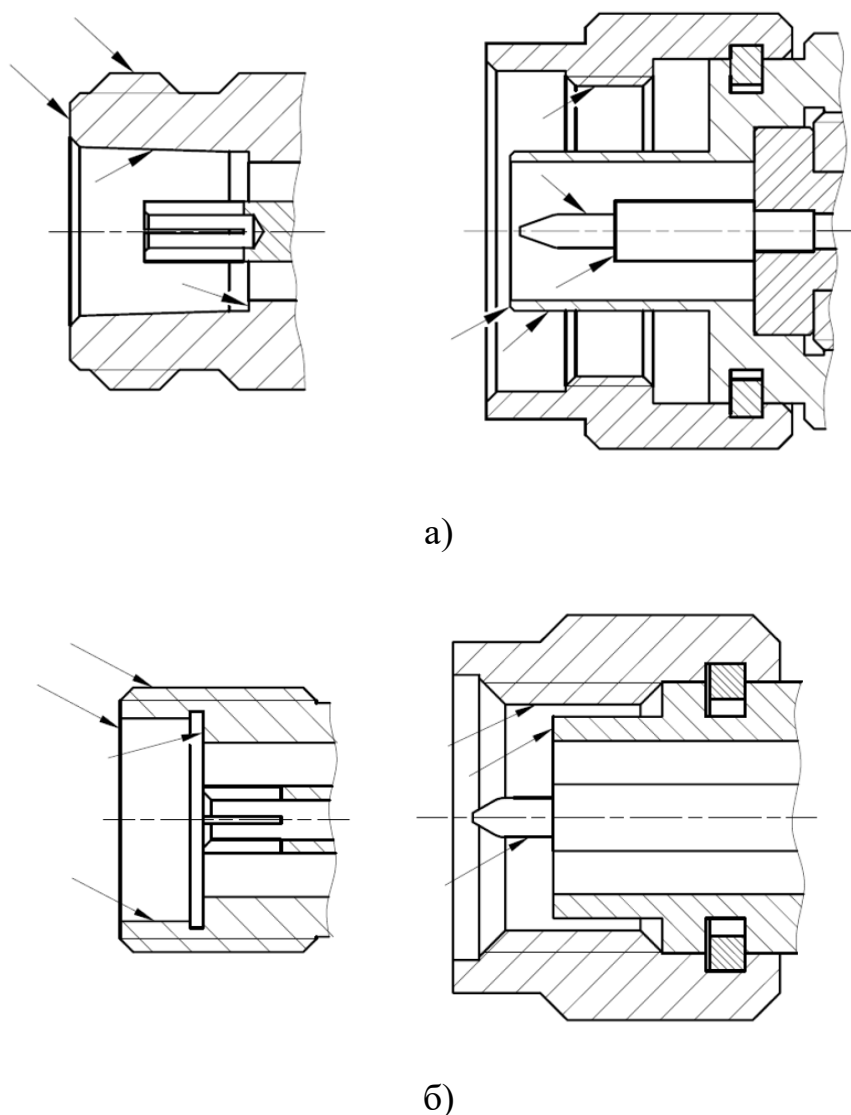


Рисунок 5.2 – Очищаемые поверхности: а) соединители типов *N* и *III*; б) соединители типов 3,5 мм и *IX*, вариант 3

5.3.4 Измерение присоединительных размеров

Цель данной проверки – не допустить к эксплуатации соединители с большой рецессией (утопание внутреннего проводника относительно внешнего) и соединители с наличием сколь угодно малой протрузии (выступление внутреннего проводника относительно внешнего), показанных на рисунке 5.3. При больших значениях рецессии при сочленении соединителей не получается хорошего контакта по внутренним проводникам, как следствие увеличивается КСВН и потери. При протрузии возможна поломка ответной части соединителя, вследствие давления на внутренний проводник ответной части.

 *Использование соединителя с неудовлетворительной протрузией может привести к повреждению других исправных элементов СВЧ-тракта.*

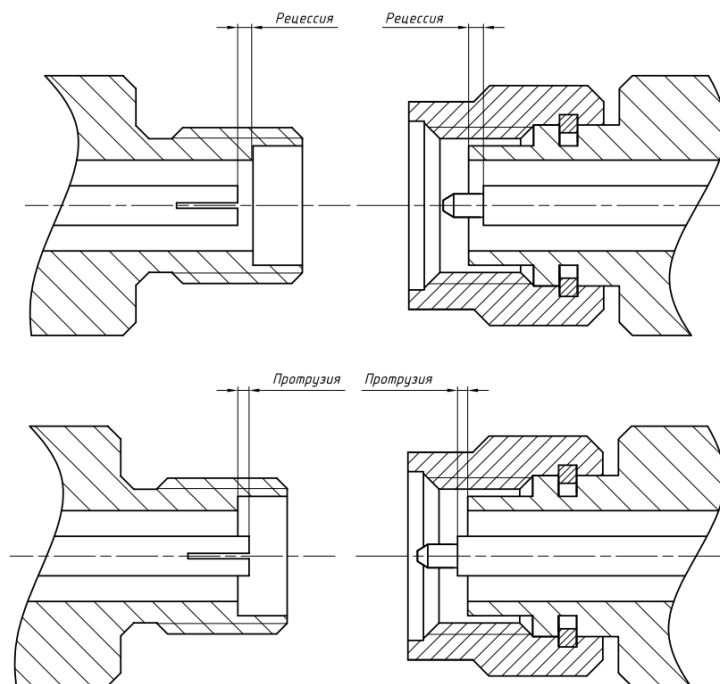


Рисунок 5.3 – Рецессия и протрузия соединителей

Контроль качества соединителей осуществляется через проверку присоединительных размеров «А» соединителей по ГОСТ 13317 с помощью комплекта измерителей присоединительных размеров (далее – ИПР). Рекомендуемые наборы ИПР указаны в таблице 6.1, при измерении присоединительных размеров с помощью другого оборудования методика проведения измерений может отличаться от приведённой ниже. Периодичность проверки присоединительных размеров соединителей СК4 и комплекта его принадлежностей определяется интенсивностью их использования (при средней интенсивности использования рекомендуется проводить проверку не реже одного раза в год, или одного раза на каждые 100 прикручиваний). Проверку присоединительных размеров соединителей устройств, подключаемых к СК4 и комплекту принадлежностей, необходимо проводить с периодичностью, указанной в соответствующей эксплуатационной документации, в случае отсутствия таковой проверку рекомендуется проводить с такой же периодичностью, что и для СК4.

5.3.4.1 Калибровка

Перед проведением измерений с помощью ИПР необходимо провести его калибровку или установку нуля. В результате проведения этой операции фикси-

руется «нулевой» уровень, от которого при измерениях будут проводиться отчёты измеряемых размеров. Калибровка проводится с помощью специальных калибров (см. ЭД на ИПР).

Рекомендуется после проведения измерений снова присоединить калибр, на который проводилась калибровка, и убедиться, что «нулевой» уровень не изменился. Для этого в момент присоединения калибра его положение по отношению к ИПР должно быть таким же, что и при калибровке.

5.3.4.2 Проверка размера «А» соединителей

Проверка присоединительного размера «А» (см. рисунок 5.4 и 5.5) проводится согласно ЭД на ИПР. При измерении, помимо инструкций в ЭД на ИПР, рекомендуется учитывать пункты следующей методики:

- взять устройство с проверяемым соединителем, ввести в него ИПР, как показано на рисунке 5.4 или 5.5; при этом для «розетки» (рисунок 5.4) втулка должна войти во внешний проводник соединителя, торец втулки должен плотно без перекосов соприкасаться с плоскостью внешнего проводника, контактная поверхность измерительного наконечника – с опорной плоскостью внутреннего проводника; а для «вилки» (рисунок 5.5) внутренний проводник соединителя «вилка» должен войти в отверстие измерительного наконечника, контактная поверхность измерительного наконечника должна соприкасаться с плоскостью внутреннего проводника, а торец втулки с опорной плоскостью внешнего проводника (сочленение торца втулки с опорной плоскостью внешнего проводника должно быть плотным, без перекосов);
- за результат измерений считать отклонение стрелок от «нулевого» положения;
- повторить предыдущие операции несколько раз (не менее трёх), каждый раз поворачивая ИПР на угол, приблизительно равный 120°;
- если хотя бы один результат выходит за пределы заданного поля допуска, указанного в ГОСТ 13317, то проверяемый соединитель считать непригодным;

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

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

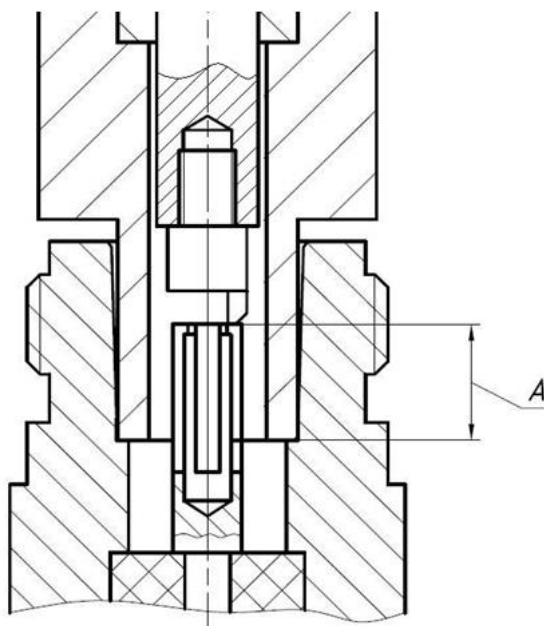


Рисунок 5.4 – Проверка размера «А» соединителя «розетка»

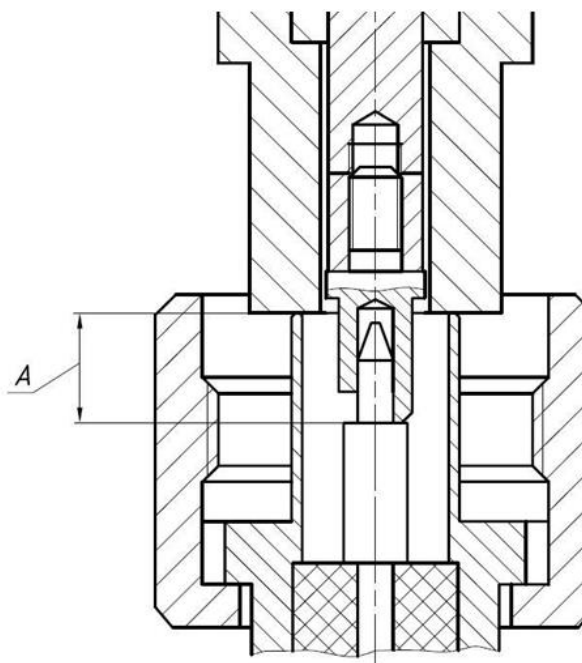


Рисунок 5.5 – Проверка размера «А» соединителя «вилка»

5.3.5 Сочленение коаксиальных соединителей

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

❗ Запрещается производить подключение:

- устройств с различными типами соединителей (механически несовместимых);
- устройств, у которых были обнаружены механические повреждения соединителей или посторонние частицы, которые не удаляются в процессе чистки;
- устройств, у соединителей которых выявлены несоответствия присоединительных размеров .

Невыполнение этих действий может привести к механическим повреждениям соединителей устройств.

При сочленении необходимо зафиксировать корпус одного из подключаемых устройств. Это необходимо для исключения его смещения при сочленении. Фиксация корпуса может достигаться несколькими способами:

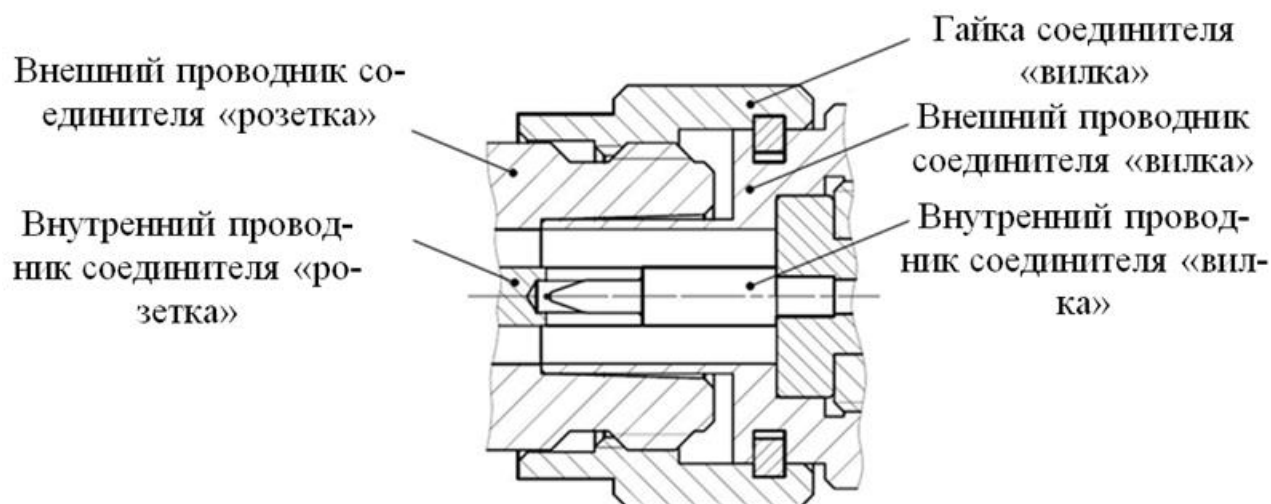
- фиксация устройства с помощью зажимов или ключей поддерживающих;
- фиксация может обеспечиваться массой и конструкцией самого устройства;
- фиксацию положения можно обеспечить, удерживая устройство руками.

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

Непосредственно сочленение проводить по следующей методике:

- аккуратно совместить соединители сочленяемых устройств;
- удерживая подключаемое устройство, руками накрутить гайку соединителя «вилка» на розетку устройства, к которому осуществляется подключение; при этом рабочие поверхности внутренних проводников и опорные плоскости внешних проводников должны соприкасаться, как показано на рисунке 5.6;

❗ Внимание! Сочленение осуществляется только вращением гайки соединителя «вилка».**❗ Запрещается вращать корпус подключаемого устройства. Вращение корпуса подключаемого устройства приводит к механическому повреждению внутренних проводников обоих устройств.**



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

Рисунок 5.6 – Сочленение соединителей типов III или N

- затянуть с помощью тарированного ключа (тарированные ключи подбираются в соответствии с типом соединителей, см. п. 6) гайку соединителя «вилка», при этом следует удерживать подключаемое устройство пальцами или с помощью ключа гаечного, предохраняя его от проворачивания. Окончательное затягивание гайки соединителя «вилка» проводить, удерживая тарированный ключ за канавкой на конце ручки в месте, указанном стрелкой на рисунке 5.7. Затягивание прекратить в момент излома ручки ключа.

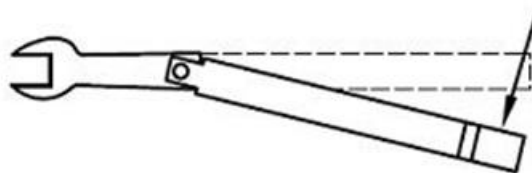


Рисунок 5.7 – Допустимый излом ключа

i Излом ручки ключа, изображённый на рисунке 5.7, достаточен для достижения требуемого усилия затягивания.

! **Внимание!** Не допускается проводить затягивание до чрезмерного излома ключа, изображённого на рисунке 5.8.

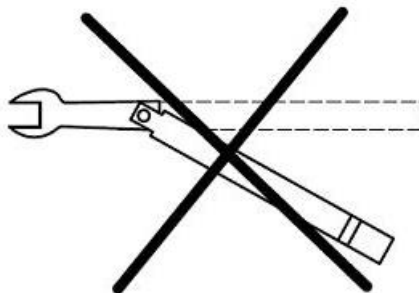


Рисунок 5.8 – Недопустимый излом ключа

5.3.6 Расчленение коаксиальных соединителей

Расчленение соединителей проводится в последовательности обратной сочленению.

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

Внимание: изменение положения внутренних проводников расчленяемых устройств может привести к механическому повреждению их соединителей.

Расчленение соединителей проводить по методике:

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

6 Средства измерений, инструменты и принадлежности

6.1 Обзор

В комплекте поставки по желанию пользователя может поставляться различное оборудование и принадлежности для работы СК4. Поставляемое оборудование служит для расширения функциональных возможностей, увеличения

количества решаемых задач (измерение разных типов ИУ, измерения ИУ с разными типами соединителей, в разных трактах и т.д.), а также повышает удобство и безопасность использования, а также скорости работы с СК4.

Средства, необходимые при эксплуатации и обслуживании, но которые могут отсутствовать в комплекте СК4, приведены ниже, а также в таблице 6.1 и в др. пунктах данного раздела:

- **Ключи тарированные** – требуются для выполнения качественных подключений к портам СК4. При использовании тарированных ключей подключение соединителей к портам СК4 будет всегда проводиться с одинаковым усилием, что улучшает повторяемость соединения и предотвращает поломку соединителей из-за чрезмерного усилия.
- **Ключи поддерживающие** – применяются как вспомогательное оборудование при сочленении соединителей. Ключи поддерживающие предотвращают проворачивание корпуса меры при сочленении, и как следствие проворачивание внутреннего проводника и стирание золотого покрытия (при наличии), обеспечивающего надёжный электрический контакт при сочленении.

Т а б л и ц а 6.1 – Инструменты и принадлежности

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
ПК (настольный или портативный) ¹⁾ в составе: - системный блок - экран (монитор) - клавиатура - манипулятор типа «МЫШЬ»	Минимальные системные требования к ПК приведены в разделе с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ	—
Комплект измерителей присоединительных размеров (для опции «05Н»)	Тракт 2,4/1,042 мм; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительного размера «А» $\pm 0,008$ мм	КИПР-05Р-05 (для соединителей тип I (2,4 мм))
Комплект измерителей присоединительных размеров (для опции «13Н»)	Тракт 3,5/1,52 мм; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительного размера «А» $\pm 0,008$ мм	КИПР-13Р-13 (для соединителей тип 3,5 мм); КИПР-03Р-03 (для соединителей тип IX)

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
Комплект измерителей присоединительных размеров (для опции «11Р»)	Тракт 7/3,04 мм; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительного размера «А» $\pm 0,02$ мм	КИПР-11Р-11 (для соединителей тип N); КИПР-01Р-01 (для соединителей тип III)
Ключ тарированный (для опции «13Н») для соединителей тип SMA; тип IX, вар. 1	Калиброванное усилие $(0,56 \pm 0,1)$ Н·м, размер зева 8 мм (для соединителей тип SMA)	Ключ тарированный КТ-1
Ключ тарированный (для опции «13Н» или «05Н») для соединителей 3,5 мм; тип IX, вар. 3	Калиброванное усилие $(0,9 \pm 0,1)$ Н·м, размер зева 8 мм	Ключ тарированный КТ-2
Ключ тарированный (для опции «13Н», «05Н») для соединителей тип NMD 2,4 мм и NMD 3,5 мм	Калиброванное усилие $(0,9 \pm 0,1)$ Н·м, размер зева 20 мм	Ключ тарированный КТ-3
Ключ тарированный (для опции «11Р» или «01Р») для соединителей тип N; тип III	Калиброванное усилие $(1,35 \pm 0,2)$ Н·м, размер зева 19 мм	Ключ тарированный КТ-4
Ключ поддерживающий (для опции «13Н» или «05Н») для соединителей тип I (2,4 мм); 3,5 мм; тип IX, вар. 3; тип SMA; тип IX, вар. 1	Размер зева 8 мм	Ключ поддерживающий КП-1
Ключ поддерживающий (для опции «11Р») для соединителей тип N; тип III	Размер зева 14 мм	Ключ поддерживающий КП-2
Ключ поддерживающий (для опции «13Н» или «05Н») для соединителей тип NMD 2,4 мм и NMD 3,5 мм	Размер зева 19 мм	Ключ поддерживающий КП-3
Генератор шума	Твердотельные, включаемые постоянным напряжением плюс 28 В (либо уровнями ТТЛ); низкотемпературные ГШ	ГШМ2-18 для опции «11Р», ГШМ2-20 для опции «13Н» и ГШМ3 или ГШМ4 для опции «05Н»
Вата медицинская гигроскопическая гигиеническая ²⁾	Согласно ГОСТ 5556	—

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
Спирт этиловый ректификованный технический ²⁾	Согласно ГОСТ Р 55878	—
Браслет антистатический	Согласно ГОСТ 12.4.124	—
Коврик антистатический	Согласно ГОСТ 12.4.124	—
¹⁾ Допускается вместо ПК использовать аналогичные устройства, позволяющие проводить установку ПО для управления и отображения измеренных данных и обладающие средствами подключения к СК4 по протоколу <i>Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)</i> . ²⁾ Вата и спирт необходимы для чистки соединителей от загрязнений, помимо этого могут применяться и другие средства, такие как ткань (ветошь), баллон со сжатым воздухом (резиновая груша), кисточка (щётка), деревянные палочки и т.п.		

6.2 Общие сведения о генераторах шума

6.2.1 Принципы работы и разновидности ГШ

Для измерений КШ и КП с помощью СК4 предполагается использование генераторов шума (ГШ), которые не входят в комплект поставки СК4 (рекомендуемые ГШ приведены в таблице 6.1). ГШ предназначены для использования в качестве меры перепада спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения при работе с ИКШ или иными приборами, при измерениях КШ и КП. Существуют ГШ различных типов, например: твердотельные ГШ, низкотемпературные ГШ (НГШ), газоразрядные.

Твердотельные ГШ, используемые с СК4, обычно состоят из лавинно-пролетного диода (ЛПД) и генераторной секции, служащей для согласования входного сопротивления p - n -перехода с сопротивлением нагрузки. Если на ЛПД подать напряжение смещения, то выходной сигнал будет соответствовать тепловому шуму высокой температуры, что обусловлено соответствующими генерациями диода. Это своего рода имитация горячей резистивной нагрузки. Источником шумового излучения в ЛПД являются дробовые флуктуации тока насыщения диода и флуктуации коэффициента умножения лавины. Если напряжение смещения отсутствует, то выходной сигнал будет соответствовать шуму согласованной нагрузки температуры окружающей среды (холодная резистивная нагрузка). Мощность, отдаваемая диодом в нагрузку с сопротивлением R , определяется выражением:

$$P_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{ш.о}} \cdot R \cdot A}{R + R_s}, \quad (6.1)$$

где $P_{\text{ш.о}}$ – минимальная мощность шумов, отдаваемая диодом в согласованную с его внутренним сопротивлением нагрузку;

A – КП по мощности от p - n перехода в нагрузку;

R_s – сопротивление растекания диода.

Такие ГШ могут работать как в режиме непрерывных колебаний, так и в режиме импульсной модуляции при длительности импульсов от нескольких долей микросекунд.

Низкотемпературные ГШ обычно состоят из сосудов Дьюара, наполненных жидким азотом, с помещенной в них согласованной нагрузкой. Сигнал, снимаемый с этой холодной нагрузки, соответствует тепловому шуму с шумовой температурой около 77 К. В качестве горячей нагрузки используется согласованная резистивная нагрузка комнатной температуры, либо аттенуатор номиналом не менее 30 дБ. В этом случае названия «холодная» и «горячая» в прямом смысле отражают физическую сущность процесса генерации. Относительно маленькая разница в шумовых температурах холодной и горячей нагрузок, а также потенциальная разница в КСВН, появляющаяся в результате прикручивания к разным физическим нагрузкам, обычно ограничивают этот метод до применения в калибровочных лабораториях и в приложениях миллиметрового диапазона.

Газоразрядные трубки, внедренные в волноводную структуру, способны производить шум за счет кинетической энергии плазмы. Традиционно они использовались в качестве источников шума миллиметрового диапазона. Постепенно они были вытеснены твердотельными шумовыми диодами на частотах ниже 50 ГГц. Шумовые диоды являются более простыми в использовании и, как правило, более стабильными источниками шума.

Возможно применение и других типов ГШ.

6.2.2 Выбор генераторов шума

Наиболее важными параметрами генераторов шума являются: величина ИОШТ (или ENR), КСВН выхода, величина напряжения питания, время установления уровня выходной мощности, степень стабильности характеристик, выходное сопротивление, способ генерации шумового сигнала и др.

Величина ИОШТ. Выходной сигнал источника шума характеризуется диапазоном рабочих частот и ИОШТ (ENR). Типичные номинальные значения ИОШТ (ENR): 15 дБ и 6 дБ. Обычно ИОШТ не превышает 22 дБ. От величины ИОШТ зависит диапазон КШ и КП, в пределах которого можно проводить измерения характеристик ИУ методом Y-фактор. Предельные значения ИОШТ, КШ и КП связаны между собой формулами (14.24) и (14.25). Также от номинального значения ИОШТ зависит, какие ГШ можно будет градуировать относительно данного генератора или относительно каких ГШ можно будет градуировать выбранный ГШ. При этом рекомендуется руководствоваться принципом однотипности.

Использовать источник шума с ИОШТ (ENR) 6 дБ правильнее при проведении измерений КШ:

- устройств, чувствительных к изменению импеданса источника шума;
- устройств с высоким КП (более 20...30 дБ), и на высоких частотах, где,

как правило, точка сжатия шумового приемника СК4 минимальна.

Однотипность. Для градуировки ГШ в качестве эталона и исследуемого ГШ следует выбирать однотипные ГШ, т.е. с одинаковыми номинальными ИОШТ, что может значительно уменьшать погрешность градуировки за счет нелинейности измерительного тракта приемника и другие погрешности.

КСВН. Качественные генераторы шума имеют низкий КСВН выхода. Если имеется существенное различие между значениями выходного сопротивления или КСВН во включенном и выключенном состояниях ГШ, возможно возникновение дополнительной погрешности измерений, связанной с зависимостью уровня собственного шума приемника от входного импеданса.

Зависимость от напряжения питания. Напряжением питания характеризуются, как правило, твердотельные ГШ. Измерители типа СК4 позволяют автоматически управлять включением и выключением подобных ГШ за счет подачи/отключения на них постоянного напряжения 28 В с соответствующего разъема передней панели СК4 (цифра 1 на рисунке 7.1), либо напряжения уровней ТТЛ с соответствующего разъема задней панели СК4 (цифра 8 на рисунке 7.2). Немаловажной характеристикой является зависимость ИОШТ от нестабильности напряжения питания, а также время установления выходной мощности при подаче/отключении напряжения питания (инерционность).

Характеристика ГШ. В комплект поставки ГШ должен входить сертификат калибровки или свидетельство о поверке, в котором указывается зависимость ИОШТ или шумовой температуры от частоты; такую зависимость называют характеристикой ГШ. При этом должен указываться диапазон температур, при которых получены эти данные, их точность и даты последней и следующей поверок/калибровок.

Шумовая температура является, зачастую, нормируемой величиной для НГШ. Для твердотельных ГШ шумовая температура непосредственно связана с ИОШТ по формуле (14.15).

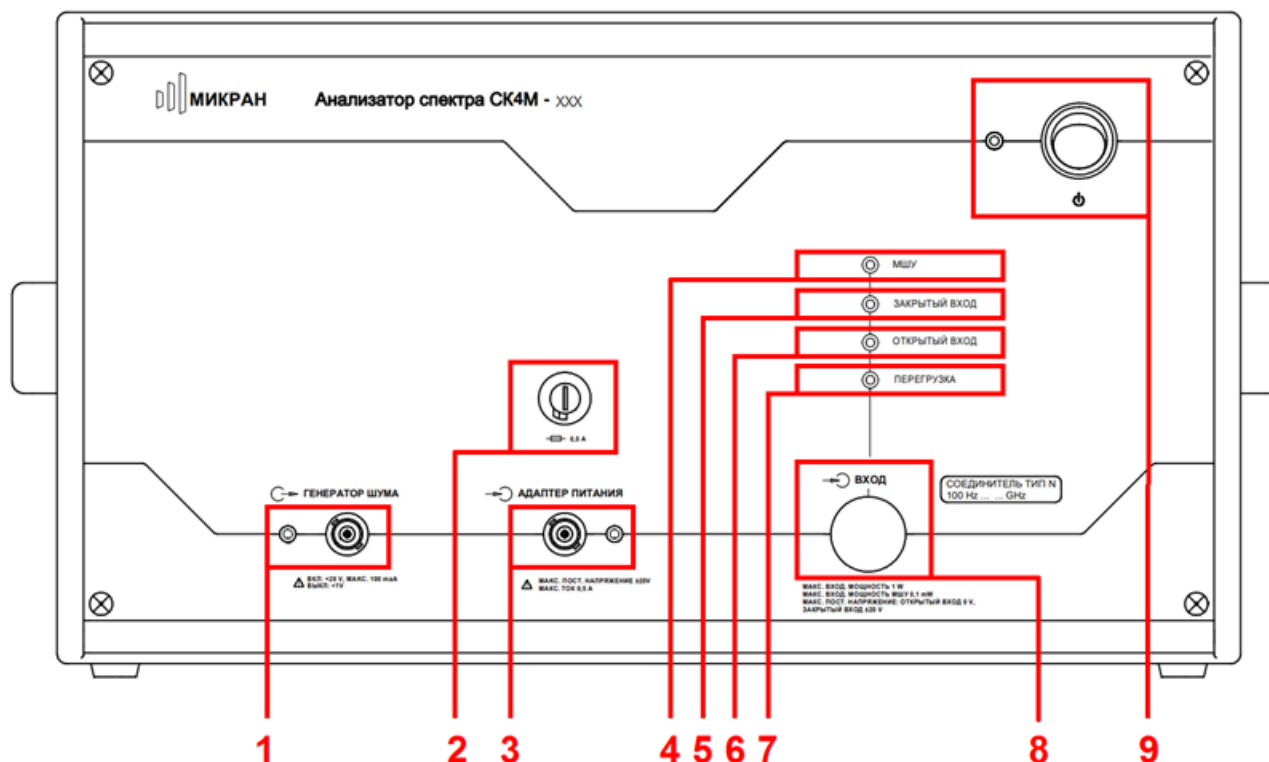
Типичные значения параметров различных ГШ можно найти, например, в ГОСТ 8.475.

7 Порядок работы

7.1 Расположение органов управления и присоединения

7.1.1 Передняя панель

Общий вид передней панели СК4 и расположение органов управления и присоединения представлены на рисунке 7.1.



- 1 – соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА и индикатор питания ГШ;
 2 – держатель предохранителя адаптера питания (опция «АПА»);
 3 – соединитель адаптера питания (опция «АПА») и индикатор включения адаптера питания (опция «АПА»);
 4 – индикатор МШУ;
 5 – индикатор «Закрытый вход»;
 6 – индикатор «Открытый вход»;
 7 – индикатор ПЕРГРУЗКА;
 8 – соединитель СВЧ-входа «→ ВХОД»;
 9 – выключатель питания «⏻» и индикатор включения питания СК4.

Рисунок 7.1 – Расположение органов управления и присоединения передней панели СК4

Назначение органов управления и присоединения следующее.

1а) Соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА (цифра 1 на рисунке 7.1) имеет тип *BNC*, розетка, для подачи на ГШ питающего постоянного/модулированного напряжения плюс 28 В.

1б) Индикатор питания ГШ (цифра 1 на рисунке 7.1) – во включенном состоянии информирует о подаче постоянного напряжения на соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА и в выключенном – об отсутствии напряжения.

2) Держатель предохранителя адаптера питания (опция «АПА») (цифра 2 на рисунке 7.1) – предохранитель предотвращает подачу тока больше 0,5 А через соединитель адаптера питания (опция «АПА») (цифра 3 на рисунке 7.1).

За) Соединитель адаптера питания (опция «АПА») (цифра 3 на рисунке 7.1) имеет тип *BNC*, розетка; предназначен для подачи напряжения до ± 20 В и 500 мА от внешнего источника питания на внутренний проводник входа СВЧ « ВХОД» (цифра 8 на рисунке 7.1); короткое замыкание между внутренним проводником входа « ВХОД» и внутренним проводником соединителя адаптера питания в СК4М устанавливается программно; о наличии короткого замыкания свидетельствует индикатор включения адаптера питания (опция «АПА») (цифра 3 на рисунке 7.1).

 **Внимание:** *подача напряжения либо попадание статического разряда на соединитель адаптера питания (опция «АПА») при подсоединенном к соединителю « ВХОД» генераторе шума может привести к неработоспособности последнего!*

3б) Индикатор включения адаптера питания (опция «АПА») (цифра 3 на рисунке 7.1) во включенном состоянии свидетельствует о наличии короткого замыкания между внутренним проводником соединителя адаптера питания (цифра 3 на рисунке 7.1) и внутренним проводником входа « ВХОД» (цифра 8 на рисунке 7.1); перед началом работы индикатор должен быть выключен.

4) Индикатор МШУ (цифра 4 на рисунке 7.1) – индикатор работы малошумящего усилителя (опция «МУА»), т.е. индикатор загорается при включении встроенного малошумящего усилителя.

5) Индикатор «Закрытый вход» (цифра 5 на рисунке 7.1) – индикатор работы входа СВЧ в закрытом режиме (опции «МУА» и/или «АПА» включены), т.е. индикатор загорается, если на входе СВЧ « ВХОД» присутствует разделительный конденсатор.

6) Индикатор «Открытый вход» (цифра 6 на рисунке 7.1) – индикатор работы входа СВЧ « ВХОД» в открытом режиме (опции «МУА» и/или «АПА» выключены), т.е. индикатор загорается, когда на входе СВЧ отсутствует разделительный конденсатор.

7) Индикатор ПЕРГРУЗКА (цифра 7 на рисунке 7.1) – (индикатор перегрузки приемного тракта; во включенном состоянии свидетельствует о превышении максимального уровня входной рабочей мощности (т.е. перегрузки входных цепей и/или АЦП), подаваемой на вход « ВХОД»).

8) Соединитель входа СВЧ « ВХОД» (цифра 8 на рисунке 7.1) – тип соединителя для СК4М определяется модификацией (см. таблицы 4.5–4.6, 5.1); предназначен для подачи входного сигнала СВЧ.

- ❗** *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 ); 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 .*

9а) Выключатель питания (цифра 9 на рисунке 7.1) перед подключением к сети электропитания должен находиться в положении «О» (выключенное состояние).

9б) Индикатор включения питания (цифра 9 на рисунке 7.1) – информирует о включенном/выключенном электропитании.

7.1.2 Задняя панель

Общий вид задней панели СК4 и расположение органов управления и присоединения представлены на рисунке 7.2.

Назначение органов управления и присоединения следующее.

1) Выключатель блока питания (цифра 1 на рисунке 7.2) – отключает/включает электропитание блока питания; в его выключенном состоянии включение СК4 с помощью выключателя на передней панели невозможно.

2) Колодка кабеля питания (цифра 2 на рисунке 7.2) ~ 230 В 50 Гц 1 А – содержит гнездо установки предохранителя блока питания (для получения большей информации о замене предохранителя см. п. 10.1).

3) Зажим (клемма) защитного заземления  (цифра 3 на рисунке 7.2) – предназначена для соединения с системой заземления (либо зануления).

❗ Внимание: перед подключением СК4 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо путем визуального осмотра убедиться в исправности кабеля питания и соединить зажим защиты  заземления (далее – клемма заземления), обозначенный символом  и находящийся на задней панели СК4, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с зануленным зажимом питающей сети)!

4) Входной соединитель опорного генератора «ОГ →» (цифра 4 на рисунке 7.2), тип *BNC*, розетка – вход опорного генератора частоты 10 МГц.

5) Выходной соединитель опорного генератора «ОГ ←» (цифра 5 на рисунке 7.2), тип *BNC*, розетка – выход опорного генератора частоты 10 МГц.

6) Выходной соединитель ПЧ «ПЧ ←» (цифра 6 на рисунке 7.2) тип *SMA*, розетка – выход сигнала промежуточной частоты 70 МГц; перед началом работы с СК4 «ПЧ →» и «ПЧ ←» должны быть соединены кабелем СВЧ, применяемым в качестве перемычки.

7) Входной соединитель ПЧ «ПЧ →» (цифра 7 на рисунке 7.2) тип *SMA*, розетка – вход сигнала промежуточной частоты 70 МГц; перед началом работы с СК4 «ПЧ →» и «ПЧ ←» должны быть соединены кабелем СВЧ, применяемым в качестве перемычки.

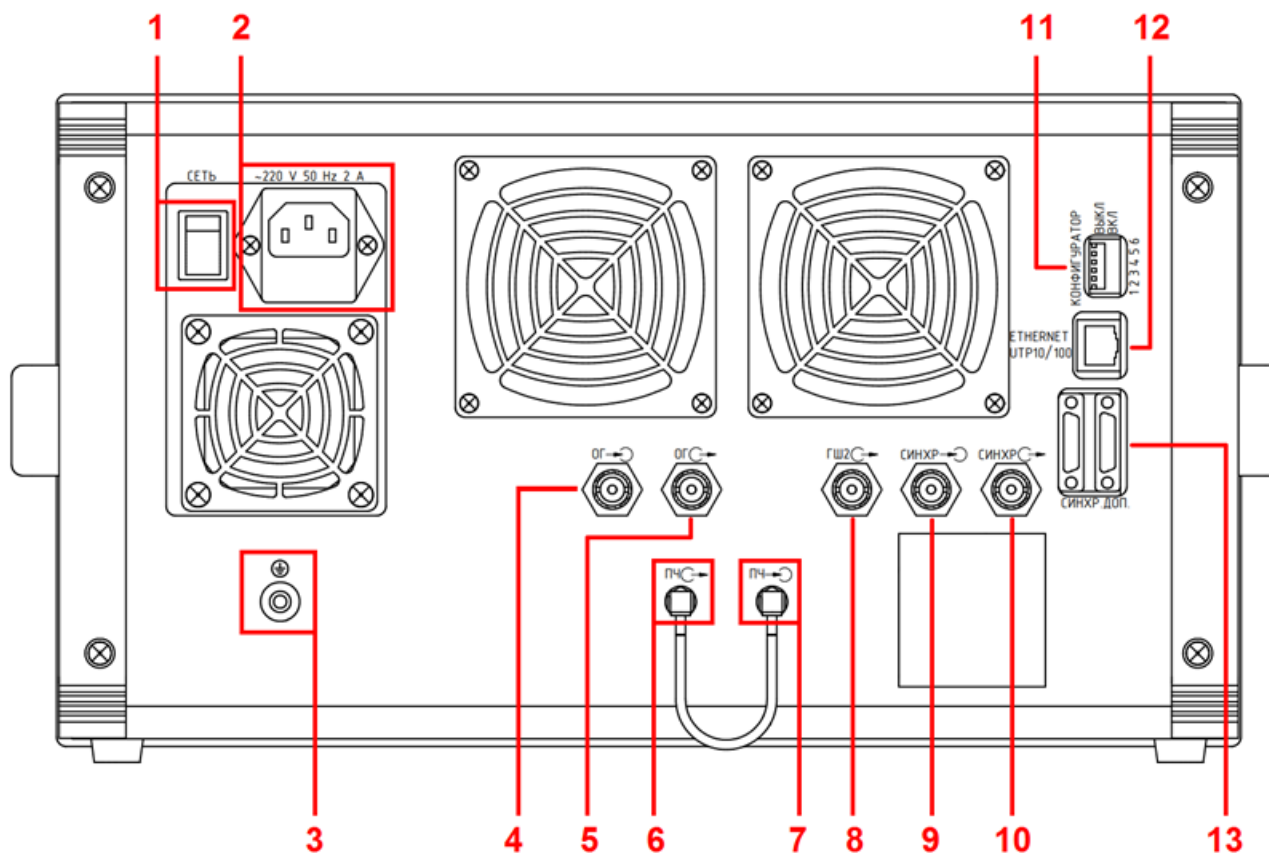
8) Выходной соединитель питания «ГШ 2 ←» (цифра 8 на рисунке 7.2) тип *BNC*, розетка, – для подачи на генератор шума питающего напряжения уровня ТТЛ.

9) Входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР →» (цифра 9 на рисунке 7.2) тип *BNC*, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по использованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.

10) Выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР ←» (цифра 10 на рисунке 7.2) тип *BNC*, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по использованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.

11) Панель переключателей КОНФИГУРАТОР (цифра 11 на рисунке 7.2) – переключатели, которые позволяют устанавливать необходимые наборы сетевых параметров, определяющих тип логического подключения к управляющему ПК (управление осуществляется по протоколу *TCP/IP*) по интерфейсу *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*; в начальном состоянии для прямого подключения все переключателя должны находиться в состоянии *OFF* или ВЫКЛ (крайнее левое положение); настройки конфигуратора вступают в силу после включения СК4, если в ходе работы настройки были изменены, то для их применения следует перезапустить СК4; для получения более подробной информации по настройке

КОНФИГУРАТОРА см. описание и выбор сетевых параметров раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.



- 1 – выключатель блока питания (выключатель питания на задней панели);
- 2 – колодка кабеля питания, содержащая гнездо установки предохранителя блока питания;
- 3 – зажим (клемма) защитного заземления ;
- 4 – входной соединитель опорного генератора «ОГ →»;
- 5 – выходной соединитель опорного генератора «ОГ ←»;
- 6 – выходной соединитель ПЧ «ПЧ ←»;
- 7 – входной соединитель ПЧ «ПЧ →»;
- 8 – выходной соединитель питания «ГШ 2 ←»;
- 9 – входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР →»;
- 10 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР ←»;
- 11 – панель переключателей КОНФИГУРАТОР;
- 12 – разъём для подключения СК4 к ПК «ETHERNET UTP 10/100»;
- 13 – резервная шина синхронизации СИНХР. ДОП.

Рисунок 7.2 – Расположение органов управления и присоединения задней панели СК4

12) Разъём для подключения СК4 к ПК «ETHERNET UTP 10/100» (цифра 12 на рисунке 7.2) – разъём для подключения СК4 к управляющему ПК с помощью кабеля *Ethernet*, через который осуществляется управление СК4 по

протоколу *TCP/IP*.

13) Резервная шина синхронизации СИНХР. ДОП. (цифра 13 на рисунке 7.2) – шина синхронизации, является резервной, использование не рекомендуется.

7.2 Сведения о порядке подготовки к проведению измерений

Документация. Перед началом подготовки СК4 к эксплуатации необходимо занести в формуляр дату ввода СК4 в эксплуатацию. Убедиться путём внешнего осмотра в отсутствии дефектов и поломок по причине некачественной упаковки или неправильного транспортирования.

Установка перемычек. Убедиться, что «ПЧ » и «ПЧ » на задней панели (цифры 6 и 7 на рисунке 7.2) соединены кабелем СВЧ.

Установка на рабочее место (если не устанавливался ранее). Установить СК4 на ровную горизонтальную поверхность рабочего стола так, чтобы все ножки измерительного блока упирались в неё, развернуть СК4 в удобное для работы положение, обеспечив свободный доступ к органам управления и соединителям задней и передней панелей. Поверхность стола должна быть твёрдой, без мягких прокладок, листов бумаги и т.п., чтобы не закрывались вентиляционные отверстия на днище СК4. Для обеспечения нормальной вентиляции расстояние между задней панелью СК4 и соседними предметами должно быть не менее 150 мм.

Условия эксплуатации. Для режима измерения «Градуировка генераторов шума» необходимо убедиться, что условия эксплуатации соответствуют нормальным условиям (см. п. 4.2), а для остальных режимов – рабочим условиям применения, приведенным в таблице 4.2 для СК4М. В случае если СК4 и комплект принадлежностей находились в условиях, отличных от рабочих условий применения, но при значениях влажности значительно меньших, чем указаны для предельных условий транспортирования (см. таблицу 4.3 для СК4М), то необходимо выдержать СК4 в рабочих условиях применения не менее 3 ч. Если условия транспортирования по относительной влажности воздуха можно считать близкими к предельным условиям транспортирования, то необходимо выдержать СК4 в рабочих условиях применения не менее 24 ч.

Заземление. Проверить наличие системы защитного заземления. При отсутствии системы заземления необходимо воспользоваться занулённым зажимом питающей сети.

Соединить клемму заземления СК4 (цифра 3 на рисунке 7.2) с системой заземления или занулённым зажимом питающей сети (по окончании работы и отключения СК4 от сети электропитания и от других приборов клемму защитного заземления следует отсоединить от системы заземления или зануления).

Установки органов управления. Установите органы управления в начальное (выключенное) состояние (переведите выключатели питающей сети на передней и задней панелях СК4 в положение «О» (или отжатое состояние)).

Соединители. Провести визуальный осмотр соединителей, при необходимости провести их чистку и проверку присоединительных размеров (подробно эти процедуры описаны в п. 5.3).

Установка ПО (если не устанавливалось ранее). Произвести установку ПО на управляющий ПК согласно указаниям, приведённым в разделе с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.

Физическое подключение кабеля *Ethernet*. Осуществить физическое подключение СК4 напрямую к управляющему ПК (рекомендуется), либо к локальной сети, кабелем *Ethernet*, обеспечив хороший контакт. Включите ПК, с которого будет осуществляться управление СК4.

Сетевые настройки. Осуществить настройку сетевых параметров согласно разделу с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ либо для прямого подключения (рекомендуется), либо для подключения по локальной сети. При необходимости произвести изменение сетевых параметров согласно указаниям раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.

Электропитание.

-  ***Перед подключением СК4 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо убедиться в исправности кабеля питания, а также убедиться, что кнопка питания «» на передней панели СК4 находится в положении «О», выключатель питания на задней панели также в положении «О»!***
-  ***ВНИМАНИЕ! Перед любым подключением зажим защитного заземления на задней панели СК4 должен быть подсоединен к внешней защитной системе заземления!***

Соединить СК4 кабелем питания с сетью электропитания ~ 230 В 50 Гц 1 А. Включить блок питания СК4 выключателем на задней панели (см. рисунок 7.2 цифра 1), переведя его в положение «I». Включить СК4 выключателем на передней панели (см. рисунок 7.1 цифра 9), переведя его в положение «I».

Запуск ПО и логическое подключение. Запустить ПО в необходимом режиме измерения и подключитесь к СК4 (см. описание запуска программы и подключения к СК4 раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ).

Активация программных опций (при наличии). Произведите активацию программных опций (описание по активации программных опций в разделе с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ), если они не активированы.

Прогрев. Перед началом проведения измерений на СК4 необходимо осуществлять его прогрев. Выдержать СК4 во включенном состоянии при запущенном процессе измерения в течение времени установления рабочего режима (т.е. 40 мин для СК4М). Об особенностях прогрева СК4 перед началом работы см. п. 4.7.2.

7.3 Проведение измерений

Информация об измерениях и примеры с порядком их проведения приводятся в ч. II настоящего РЭ.

8 Поверка

Поверка СК4М проводится в соответствии с ЖНКЮ.468166.024 ДЗ «Анализаторы спектра СК4М. Методика поверки».

9 Техническое обслуживание

Для СК4 предусмотрено неплановое техническое обслуживание, выполняемое фирменным методом по ГОСТ 18322. Других видов и способов технического обслуживания для СК4 не предусмотрено.

При соблюдении условий эксплуатации особое техническое обслуживание СК4 не требуется.

Техническое обслуживание СК4 проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

10 Текущий ремонт

Для СК4 предусмотрен текущий ремонт, выполняемый фирменным методом согласно ГОСТ 18322. Других видов и способов ремонта для СК4 не предусмотрено.

Ремонт СК4 проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

 **Запрещается проводить самостоятельный ремонт СК4 и комплекта принадлежностей.**

Допускается самостоятельная замена плавкого предохранителя согласно пп. 10.1 и 10.2.

После проведения ремонта СК4 должен быть подвергнут поверке (при необходимости).

10.1 Смена плавкого предохранителя блока питания

Смена плавкого предохранителя производится в следующем порядке:

а) выключить питание СК4 (на передней панели), отключить блок питания выключателем на задней панели СК4, установив его в положение «О»; отключить кабель питания; отсоединить клемму защитного заземления СК4 от системы заземления;

б) открыть крышку фильтра питания, закрывающую гнездо установки предохранителя блока питания (находится непосредственно около колодки кабеля электропитания, см. цифра 2 на рисунке 7.2 для СК4М);

в) установить сменный предохранитель, находящийся в гнезде. В случае отсутствия сменного предохранителя установить предохранитель типоразмера 5x20 с номинальным током 2 А для СК4М;

г) закрыть крышку фильтра питания; соединить клемму защитного заземления СК4 с шиной системы защитного заземления; подключить СК4 к сети электропитания $\sim (230 \pm 23)$ В 50 Гц 1 А с помощью кабеля питания; включить блок питания выключателем на задней панели СК4;

д) включить питание выключателем питания на передней панели СК4, убедиться в наличии индикации возле выключателя питания на передней панели СК4.

 *Повторный выход из строя предохранителя после включения означает неисправность СК4. Для устранения неисправности необходимо обратиться в службу технической поддержки по телефону или электронной почте, указанным на титульной странице настоящего РЭ.*

10.2 Смена плавкого предохранителя адаптера питания (опция «АПА»)

При наличии опции «АПА» допускается заменять неисправный предохранитель адаптера питания на передней панели СК4 (см. цифра 2 рисунок 7.1 для СК4М).

Смена плавкого предохранителя производится в следующем порядке:

а) выключить питание СК4 (на передней панели), отключить блок питания выключателем на задней панели СК4, установив его в положение «О»; отключить кабель питания; отсоединить клемму защитного заземления СК4 от системы заземления;

б) надавить на крышку с прорезью, которая вставлена с лицевой стороны в держатель предохранителя адаптера питания (см. цифра 2 рисунок 7.1 для СК4М) и повернуть ее против часовой стрелки; извлечь из крышки предохранитель и заменить его на новый типоразмера 5x20 с номинальным током 0,5 А; вставить крышку с новым предохранителем в держатель предохранителя адаптера питания, надавить на нее и повернуть по часовой стрелке до фиксации;

в) убедиться с помощью мультиметра в наличии короткого замыкания между внутренним проводником входа « ВХОД» и внутренним проводником соединителя адаптера питания (цифра 3 рисунок 7.1); короткое замыкание

между внутренним проводником входа «**→ ВХОД**» и внутренним проводником соединителя адаптера питания в СК4М устанавливается программно (т.е. для этого потребуется включить СК4М, осуществить подключение к управляющему ПО, в управляющем ПО на панели управления «Амплитудные параметры» включить переключатель «Подать напряжение на СВЧ вход»).

10.3 Гарантийное и послегарантийное обслуживание

Предприятие-изготовитель гарантирует согласно разделу 13 «Гарантии предприятия-изготовителя» соответствие СК4 требованиям, указанным в настоящем РЭ, при соблюдении пользователем условий и правил эксплуатации, хранения и транспортирования.

В течение гарантийного срока предприятие-изготовитель обязуется проводить гарантийный ремонт или замену СК4 и/или комплекта принадлежностей в случае несоответствия его характеристик или наличия механических повреждений при первоначальном осмотре (см. п. 5.3.2 перечисление Шаг 4а)).

При наличии механических повреждений при первоначальном осмотре или обнаружении несоответствия характеристик в течение гарантийного срока, необходимо составить технически обоснованный акт с указанием причин несоответствия и условий их обнаружения. Упаковать СК4 и комплект принадлежностей, согласно п. 11.3.2, и отправить их на предприятие-изготовитель для ремонта или замены.

Комплект поставки СК4, при отправке на предприятие-изготовитель для ремонта или замены, должен соответствовать комплекту поставки, указанному в формуляре (паспорте).

и *Примечание – Допускается по согласованию с предприятием-изготовителем на ремонт или замену высылать не полный комплект, а только устройство, вышедшее из строя. При этом с устройством обязательно высылается формуляр (паспорт).*

Гарантийный ремонт СК4 и комплекта принадлежностей проводится только силами предприятия-изготовителя или его уполномоченных представителей.

Предприятие-изготовитель осуществляет платный негарантийный ремонт и сервисное обслуживание СК4 по окончании гарантийного срока в течение срока службы. Негарантийный ремонт проводится только после оформления договора на проведение ремонта.

11 Хранение, транспортирование, упаковка

11.1 Хранение

СК4 и комплект принадлежностей до введения в эксплуатацию следует хранить на складах в упаковке предприятия-изготовителя при температуре окружающего воздуха от 0 до плюс 40 °С и относительной влажности воздуха 80 % при температуре 35 °С.

СК4 и комплект принадлежностей без упаковки должны храниться при температуре окружающего воздуха от плюс 10 до плюс 35 °С и относительной влажности воздуха не более 80 % при температуре плюс 25 °С.

В помещениях для хранения не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию.

11.2 Транспортирование

Транспортирование упакованных СК4 и комплекта принадлежностей допускается любыми закрытыми транспортными средствами с условиями транспортирования согласно таблице 4.3, исключающими сильные удары и значительные механические повреждения упаковки, а также механические повреждения СК4 и комплекта принадлежностей. Погрузка и выгрузка не требует применения погрузочно-разгрузочных средств.

Транспортировать и устанавливать упакованный СК4 следует согласно знакам, нанесённым на транспортную упаковку.

При транспортировании воздушным транспортом СК4 в упаковке должны располагаться в отапливаемых герметизированных отсеках. Трюмы судов, кузова автомобилей, используемые для перевозки, не должны содержать паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию.

11.3 Упаковка

Упаковка обеспечивает защиту СК4 от климатических воздействий и механических повреждений при транспортировании, погрузочно-разгрузочных работах и хранении. Упаковка одновременно должна выполнять функции транспортной и потребительской упаковок.

Вид и тип первичной упаковки: пакет полиэтиленовый.

Вид и тип вторичной упаковки: пластмассовый контейнер (кейс).

Вид и тип внешней упаковки: коробка картонная.

Упаковочный амортизационный материал: поролон, толщиной не менее

35 мм.

11.3.1 Распаковывание

Распаковывание СК4 проводить в следующей последовательности:

- а) открыть, при наличии, внешнюю упаковку (коробка картонная), извлечь и открыть вторичную упаковку (пластмассовый контейнер (кейс));
- б) извлечь из кейса и затем из первичной упаковки (пакет полиэтиленовый) СК4, комплект принадлежностей и документацию;
- в) провести по формуляру (паспорту) сверку с сопроводительной документацией;
- г) сравнить номера СК4 и комплекта принадлежностей с номерами, указанными в формуляре (паспорте). В случае обнаружения несоответствия номеров, остановить распаковывание, сделать соответствующую запись в формуляре (паспорте) и сообщить на предприятие-изготовитель;
- д) провести внешний осмотр СК4 и комплекта принадлежностей (см. п. 5.3.2). В случае обнаружения механических повреждений, следов воздействия агрессивных сред или отсутствия пломб, остановить распаковывание, сделать соответствующую запись в формуляре (паспорте) и сообщить на предприятие-изготовитель;
- е) заполнить в формуляре (паспорте) соответствующую графу таблицы приёма-передачи СК4 от одного потребителя другому.

После распаковывания первичную упаковку укладывают во вторичную кейс; вторичную упаковку помещают во внешнюю упаковку (при наличии).

Упаковка подлежит хранению у потребителя до окончания гарантийного срока СК4.

11.3.2 Повторное упаковывание

Все работы по упаковыванию должны выполняться под руководством лица, ответственного за упаковку.

Перед упаковыванием СК4 должен быть выдержан в течение 24 ч в помещении с относительной влажностью не более 80 % при температуре окружающего воздуха не менее 15°C, а также СК4 и комплект принадлежностей должны быть осмотрены и очищены от пыли и грязи.

Упаковывание СК4 и комплекта принадлежностей проводится в следующей последовательности:

- а) соединители входов и выходов СК4 закрыть заглушками (колпачками);
- б) поместить СК4, комплект принадлежностей в первичную упаковку (пакет полиэтиленовый), удалить из первичной упаковки избыток воздуха и заварить швы первичной упаковки, во избежание попадания влаги.

и *Примечание* – Здесь и далее в данном подразделе допускается не заваривать швы первичной упаковки СК4, комплекта принадлежностей и документации, укладываемых в кейс.

в) упакованный СК4 и комплект принадлежностей уложить во вторичную упаковку (пластмассовый контейнер (кейс)). Пространство между стенками вторичной упаковки и упакованными СК4 и комплектом принадлежностей заполнить амортизационным материалом (поролон, толщиной не менее 35 мм);

г) заполнить в формуляре (паспорте) «Свидетельство об упаковывании» и соответствующую графу таблицы приема-передачи СК4 от одного потребителя другому;

и *Примечание* – «Свидетельство об упаковывании» в формуляре заполняется только при первом упаковывании на предприятии-изготовителе. При повторном упаковывании СК4 заполнять в формуляре «Свидетельство об упаковывании» не требуется, отметка делается только в таблице приёма-передачи СК4 от одного потребителя другому.

д) распечатать страницы с пунктом 11.3.1 «Распаковывание» и вместе с остальной документацией, указанной в таблице 4.4, поместить в первичную упаковку (пакет полиэтиленовый), удалить из первичной упаковки избыток воздуха и заварить швы первичной упаковки, во избежание попадания влаги;

е) уложить первичную упаковку с сопроводительной документацией во вторичную упаковку (пластмассовый контейнер (кейс)) таким образом, чтобы ее можно было извлечь, не нарушая целостность первичной упаковки СК4 и комплекта принадлежностей;

ж) закрыть крышку вторичной упаковки;

з) нанести на вторичную упаковку и внешнюю упаковку (коробка картонная), при ее наличии, следующую маркировку:

1) наименование и заводской номер СК4;

2) название предприятия-изготовителя;

3) адреса получателя и отправителя;

4) манипуляционные знаки  «Хрупкое – осторожно!»,  «Беречь от влаги»,  «Верх» (маркировка согласно ГОСТ 14192).

и) опломбировать пластмассовый контейнер (кейс) печатью; при наличии внешней упаковки, поместить в нее пластмассовый контейнер (кейс), заполнив пространство между стенками внешней и вторичной упаковок амортизационным материалом.

12 Маркировка и пломбирование

Вблизи органов управления и присоединения нанесены надписи и обозначения, указывающие их функциональное назначение.

На передней панели СК4 должны быть нанесены следующие обозначения:

- название предприятия-изготовителя;
- тип СК4;
- обозначения органов управления, индикаторов и соединителей (см. п. 7.1.1).

На задней панели СК4 должны быть нанесены следующие обозначения:

- тип, модификация (или опции, либо модификация и опции) СК4;
- заводской номер;
- обозначение органов управления, индикаторов и соединителей (см. п. 7.1.2).

На транспортную упаковку должны быть нанесены следующие обозначения:

- 1) наименование и заводской номер СК4;
- 2) название предприятия-изготовителя;
- 3) адреса получателя и отправителя;
- 4) манипуляционные знаки  «Хрупкое – осторожно!»,  «Беречь от влаги»,  «Верх» (маркировка согласно ГОСТ 14192).

Знак утверждения типа, а также защитные пломбы наносятся согласно рисунку 4.3.

 **СК4 имеет защитные пломбы (места пломбировки указаны на рисунке 4.3), несанкционированное вскрытие которых запрещается!**

13 Гарантии предприятия-изготовителя

Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие СК4 требованиям настоящего РЭ (гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.7–4.8 с допусками или предельными значениями; значения величин без допусков являются справочными) при соблюдении потребителем условий и правил эксплуатации, хранения и транспортирования, приведенным в настоящем РЭ.

Гарантийный срок – 12 месяцев со дня отгрузки потребителю.

Срок службы – 5 лет с отгрузки потребителю.

Гарантии на СК4 или комплект принадлежностей не распространяются в следующих случаях:

- имеются механические повреждения СК4 или комплекта принадлежностей, полученные при эксплуатации, или следы воздействия жидкостей или агрессивных паров;
- отсутствует формуляр (паспорт);
- формуляр (паспорт) не заполнен или заполнен неверно;

- в формуляре (паспорте) отсутствуют отметки о произведенных работах в случае выхода из строя СК4 или комплекта принадлежностей;
- повреждены пломбы предприятия-изготовителя;
- имеются следы вскрытия корпуса СК4 или комплекта принадлежностей;
- имеются следы/повреждения, свидетельствующие о нарушении условий и правил эксплуатации, хранения, транспортирования;
- причина самоустранившегося несоответствия (неисправности) однозначно не установлена (не локализована) и не может быть воспроизведена;
- истек гарантийный срок.

Условия ремонта перечислены в п. 10.

14 Утилизация

СК4 и комплект принадлежностей не содержат материалов опасных для жизни человека. После окончания срока службы, при необходимости, их утилизируют любым доступным способом.

Приложение А (обязательное) Основные виды измерений и формулы

СК4 поддерживает несколько режимов измерения:

- «СК4М. Анализатор спектра» – режим анализатора спектра;
- «СК4М. Аналоговая демодуляция» (опция «АДП») – режим аналоговой демодуляции;
- «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» (опция «ИКШ») – режим измерения КШ и КП, при котором управляющее питание твердотельного генератора шума является модулированным (управление питанием генератора шума осуществляется автоматически с помощью СК4);
- «СК4М. Измерение фазового шума» (опция «ИФШ»);
- «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» (опция «ИКШ») – режим измерения КШ и КП, при котором подача/отключение питания генератора шума осуществляется вручную (как правило, используется для измерения КШ и КП с помощью низкотемпературных ГШ);
- «Градуировка генераторов шума» (опция «ГРП»).

Для ознакомления с основами измерения КШ см. Приложение Б.

Измерение КШ и КП делится на два этапа – пользовательская калибровка и измерение. На первом этапе измеряется собственный КШ и собственный КП СК4, а на втором – КШ и КП исследуемого устройства, при условии, что коррекция включена (т.е. осуществляется учёт результатов калибровки). Прямыми измерениями при этом являются измерения мощностей, подаваемых на АЦП СК4, при «горячем» и «холодном» источниках шума (в качестве которых выступают генераторы шума) на входе измерительной системы. Непосредственный расчёт КШ и КП основан на предположении идеального согласования устройств измерительной системы и производится в ПО *Graphit*.

 Для ИУ с коэффициентом передачи более 20 дБ проведение калибровки не обязательно вследствие малого влияния собственного КШ СК4.

Измерения КШ и КП ИУ производятся двумя методами – «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» и «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ».

Для получения информации о факторах, влияющих на точность измерения КШ и КП, а также по оценке ПГ их измерения, см. Приложение В и Приложение Г.

А.1 Режим «СК4М. Анализатор спектра»

Детектор отображения в режиме «детектор среднего» (выбирается на панели управления «Измерение» в поле со списком «Детектор») производит расчет среднего арифметического значения линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей) независимо от того, в каком формате отображаются данные, в частотном интервале окрестности отображаемой частотной точки. Т.е. вычисление проводится по следующей формуле

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2, \quad (\text{A.1})$$

где P – средняя мощность, Вт;

N – число результатов измерения мощности на разных частотах, соответствующие одной отображаемой точке на графике диаграммы; пропорционально отношению количества частотных точек, фактически участвующих в измерении, к количеству отображаемых частотных точек;

p_i – отсчеты мощности по частоте, Вт;

R – активное сопротивление линии (предполагается, что характеристический импеданс линии передачи имеет только действительную составляющую $R = 50 \text{ Ом}$), Ом;

v_i – выборки напряжения огибающей по частоте, В.

Соответственно при выборе формата отображения в виде напряжения эта формула эквивалента следующей

$$V_{av} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2}, \quad (\text{A.2})$$

где V_{av} – среднее напряжение, В.

Видеофильтр (выбирается на панели управления «Измерение») как и детектор отображения производит усреднение в линейном масштабе, т.е. усредняет мощность в мВт, но на одной частоте. Расчет мощности при этом проводится так же по формулам (A.1)–(A.2), но число элементов выборки N определяется временем усреднения $t = 1/B$, где B – полоса пропускания видеофильтра. Видеофильтр в режиме «СК4М. Анализатор спектра» по принципу работы аналогичен параметру Степень усреднения в режимах «СК4М. Модуляционный метод ИКШ», «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» и «Градуировка генераторов шума».

Средний уровень отображаемого шума $L_{\text{иш}}$ для детектора отображения в режиме «детектор среднего» можно рассчитать по формуле

$$L_{\text{иш}}[\text{дБм}] = 10 \cdot \lg \left(k \cdot T \cdot \frac{B}{10^{-3}} \right) + NF = -174[\text{дБм}](1 \text{ Гц}) + 10 \cdot \lg \left(\frac{B}{1 \text{ Гц}} \right) + NF[\text{дБ}], \quad (\text{A.3})$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К;
 T – температура окружающего воздуха, К;
 B – полоса фильтра ПЧ, в которой проводится измерение, Гц;
 NF – собственный коэффициент шума СК4, дБ.

А.2 Режим «СК4М. Измерение фазового шума»

С целью оценки фазового шума $L_{\text{фш}}(f_{\text{отст}})$, измеренного при отстройке от несущей на $f_{\text{отстр}}$ и полосе фильтра ПЧ B в пересчете к 1 Гц, можно использовать формулу:

$$L_{\text{фш}}(f_{\text{отст}})[\text{дБм}] = L_{\text{фш.изм}}(f_{\text{отст}})[\text{дБм}] - 10 \cdot \lg(B), \quad (\text{A.4})$$

где $L_{\text{фш.изм}}(f_{\text{отст}})$ – измеренный уровень фазового шума в полосе B .

А.3 Режим «СК4М. Аналоговая демодуляция»

Математическую модель сигнала с простейшей амплитудной модуляцией можно записать, В, в виде

$$s_{\text{АМ}}(t) = A_0 \cdot (1 + M \cdot \cos(\Omega \cdot t + \varphi_y)) \cdot (1 + \Delta M(t)) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0), \quad (\text{A.5})$$

где A_0 – амплитуда несущей, В;
 M – коэффициент АМ, отн. ед.;
 Ω – частота модулирующего сигнала, Гц;
 t – время, с;
 φ_y, φ_0 – начальные фазы соответственно модулирующего сигнала и несущей, рад;

$\Delta M(t)$: если входной сигнал не имеет ни ЧМ, ни АМ, то $\Delta M(t)$ – это уровень паразитной внутренней АМ, отн. ед., – характеризует показания СК4 при входном сигнале без ЧМ и АМ, и включает в себя абсолютную погрешность измерения коэффициента АМ; если же на входе СК4 присутствует сигнал с сильной ЧМ, но без АМ, то $\Delta M(t)$ в таком случае представляет собой коэффициент перехода ЧМ в АМ и включает в себя составляющую погрешности измерения коэффициента АМ, обусловленную уровнем паразитной внутренней АМ;

ω_0 – частота несущего колебания, рад.

Математическую модель сигнала с простейшей частотной модуляцией можно записать, В, в виде

$$s_{\text{ЧМ}}(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0 + \frac{\omega_d}{\Omega} \cdot \sin(\Omega \cdot t + \varphi_y) \cdot (1 + \frac{\Delta\omega_d}{\Omega} \cdot \sin(\psi(t))), \quad (\text{A.6})$$

где $\Delta\omega_d$ – уровень паразитной внутренней ЧМ, Гц, – характеризует показания СК4 при условии, что входной сигнал не имеет ни ЧМ, ни АМ; включает в себя абсолютную погрешность измерения девиации частоты;

ω_d – девиация частоты;

$\psi(t)$ – обобщенная фаза паразитного модулирующего сигнала, рад.

Математическую модель сигнала с простейшей фазовой модуляцией можно записать, В, в виде

$$s_{\text{ФМ}}(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t + \varphi_y)), \quad (\text{A.7})$$

где m – индекс фазовой модуляции, отн. ед.;

$\Delta\psi(t) = m \cdot \cos(\Omega \cdot t + \varphi_y)$ – девиация фазы, рад.

ОСШИ (отношение сигнал/шум с учётом искажений или *signal-to-noise and distortion ratio (SINAD)*), рассчитываемое по формуле:

$$SINAD = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S+N+D}{N+D} \right) [\text{дБ}],$$

где S – мощность НЧ-сигнала на частоте модуляции, мВт; N – мощность шума, мВт; D – сумма мощностей 2й, 3й и т.д. гармоник частоты модуляции, мВт.

ОСШ (отношение сигнал/шум или *signal-to-noise ratio (SNR)*), рассчитываемое по формуле:

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) [\text{дБ}],$$

КИ (коэффициент искажений (*Total Vrms*)), определяемый в соответствии с формулой:

$$Total Vrms = 100 \cdot \left(\frac{N+D}{S+N+D} \right) [\%],$$

КГИ (коэффициент гармонических искажений или *total harmonics distortion (THD_F)*), рассчитываемый по формуле:

$$THD_F = 100 \cdot \left(\frac{D}{S} \right) [\%].$$

А.4 Исключение/встраивание цепей, компенсация

Для режима «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» доступна возможность компенсации внешней дополнительной цепи (ДЦ) (см. описание исключения/встраивания цепей раздела с измерениями ч. II настоящего РЭ). Если внешняя цепь (например переход) подключена до ИУ (см. рисунок 14.1-а), то расчет КШ ИУ $F_{ИУ}$ проводится по формуле (14.8). Если внешняя цепь подключена после ИУ (см. рисунок 14.1-б), то по формуле (14.9). Коэффициент усиления по мощности ИУ $G_{ИУ}$ в обоих случаях рассчитывается по формуле (14.10).

$$F_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = G_{ДЦ} [\text{отн. ед.}] \cdot (F_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] - F_{ДЦ} [\text{отн. ед.}]) + 1, \quad (14.8)$$

где $G_{ДЦ}$ – коэффициент усиления по мощности дополнительной цепи;
 $F_{ИУ+ДЦ}$ – суммарный КШ для системы «ИУ+ДЦ»;
 $F_{ДЦ}$ – КШ дополнительной цепи.

$$F_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = F_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] - \frac{F_{ДЦ} [\text{отн. ед.}] - 1}{G_{ИУ} [\text{отн. ед.}]}, \quad (14.9)$$

$$G_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = G_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] / G_{ДЦ} [\text{отн. ед.}], \quad (14.10)$$

где $G_{ИУ+ДЦ}$ – коэффициент усиления по мощности дополнительной системы «ИУ+ДЦ».

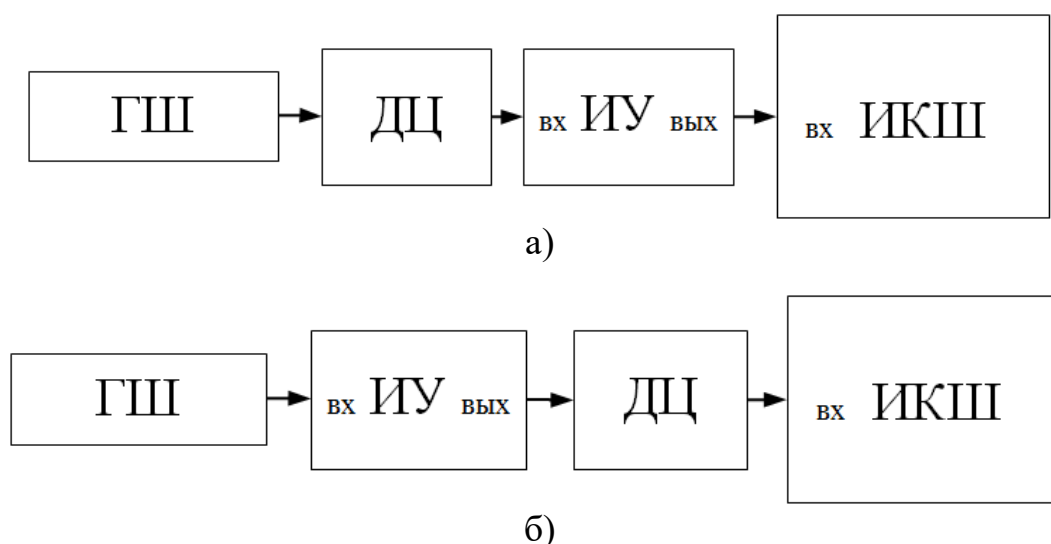


Рисунок 14.1 – Схемы включения дополнительной цепи (ДЦ): а) до ИУ;
 б) после ИУ

Для режима «Градуировка генераторов шума» в ПО *Graphit* имеется возможность компенсации потерь, вносимых на этапах калибровки и измерения

переходами и другими устройствами. Для этого в Мастере градуировки на втором этапе можно загрузить соответствующие файлы с S -параметрами устройства формата *Touchstone® S2P*. Для переходов вместо $S2P$ -файла потери можно задавать параметрически либо путем выбора соответствующего типа перехода, либо с помощью ручного ввода; в этом случае зависимость величины потерь, в дБ, от частоты аппроксимируется функцией:

$$Loss(F) = L_0 + (L_1 - L_0) \cdot \sqrt{\frac{F}{F_1}}, \quad (14.11)$$

где L_0 – ослабление на частоте $F = 0$ Гц, дБ;

L_1 – ослабление на частоте F_1 , дБ;

F_1 – частота, Гц.

Учет потерь осуществляется после расчетов по формуле (14.25) или (14.26) (в зависимости от используемого метода), т.е. проводится коррекция измеренного значения $ENR'_{ИУ}$ в отн. ед. следующим образом

$$ENR_{ИУ} = ENR'_{ИУ} \cdot 10^{0,1 \cdot (Loss_{изм}(f) - Loss_{кал}(f))} \cdot \left(\frac{|S_{21}(f)|_{кал}}{|S_{21}(f)|_{изм}} \right)^2, \quad (14.13)$$

где $Loss_{изм}(f)$ и $Loss_{кал}(f)$ – потери от используемых переходов (адаптеров) в зависимости от частоты f соответственно на этапах измерения и пользовательской калибровки (положительные величины, рассчитываются по формуле (14.11)), дБ;

$|S_{21}(f)|_{кал}$ и $|S_{21}(f)|_{изм}$ – модули коэффициентов передачи устройства, вносящего потери, соответственно на этапах калибровки и измерения (загружаются с помощью $S2P$ -файла с S -параметрами и установкой флажка напротив соответствующего поля), отн. ед.

Таким образом, потери, вносимые на этапе калибровки, в отличие от потерь на этапе измерений, не компенсируются, а учитываются в характеристике эталона.

А.5 Общие формулы шумовых измерений

КШ ИУ $F_{ИУ}$ в дБ рассчитывается по формуле

$$F_{ИУ}[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(F_{ИУ}[\text{отн.ед.}]). \quad (14.14)$$

ИОШТ ГШ выражается через шумовые температуры по формуле

$$ENR = \frac{T_h - T_c}{T_0}, \quad (14.15)$$

где ENR – избыточная относительная шумовая температура (ИОШТ) ГШ, используемого на этапе пользовательской калибровки, отн.ед.;

T_h, T_c – номинальные шумовые температуры соответственно «горячего» ГШ (для твердотельных ГШ соответствует включенному состоянию, а для НГШ – температуре согласованной нагрузки, т.е. температуре окружающей среды) и «холодного» ГШ (для твердотельных ГШ соответствует выключенному состоянию, а для НГШ – номинальной температуре НГШ, т.е., обычно, температуре кипения жидкого азота), К.

T_0 – стандартная температура, К (принимается согласно ГОСТ 8.475 равной 293,16 К в странах СНГ и 290 К в странах дальнего зарубежья);

ENR в дБ рассчитывается по формуле

$$ENR[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(ENR[\text{отн.ед.}]). \quad (14.16)$$

Следует пояснить отличия спектральной плотности мощности шума (СПМШ), указываемую в большинстве отечественных ГОСТов по шумам, а также указываемую в свидетельствах о поверке и сертификатах калибровки ГШ, от ENR . Под СПМШ часто понимается номинальная СПМШ, т.е. выражаемая через номинальную шумовую температура, а под ENR – эффективная относительная избыточная СПМШ, выражаемая через эффективную шумовую температуру, определяемую в отличие от первой с учетом коэффициента отражения от выхода ГШ. Т.е. ENR – результат градуировки ГШ на нагрузку с номинальным волновым сопротивлением 50 Ом.

В ПО *Graphit* имеется возможность вместо КШ отображать шумовую температуру T_e , которая связана с КШ по формуле:

$$T_e[\text{К}] = T_0[\text{К}] \cdot (F_{\text{иу}}[\text{отн.ед.}] - 1). \quad (14.17)$$

Измеряемая мощность $P_{\text{изм}}$ связана с соответствующей шумовой температурой по формуле

$$P_{\text{изм}} = k \cdot T_e^{\text{изм}} \cdot B, \quad (14.18)$$

где B – полоса фильтра ПЧ, в которой проводится измерение, Гц;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К.

Температурная компенсация. Стандартный КШ (ГОСТ 8.475) должен измеряться при стандартной температуре окружающей среды T_0 . Стандартная температура по умолчанию в ПО равна 290 К. В случае, когда температура, при которой проводятся измерения, отличается от стандартной, будет измеряться т.н. рабочий (или реальный) КШ, который используется, например, в основном уравнении радиолокации. Значение рабочего КШ будет отображаться, если в качестве температуры окружающей среды будет установлено значение, равное стандартной температуре. Температурная компенсация (т.е. перевод рабочего КШ в стандартный) в ПО осуществляется автоматически после введения актуального значения температурой окружающей среды $T_{\text{окр}}$. При этом в формулах для $F_{\text{иу}}$, корректируются значения ENR – умножаются на коэффициент $T_{\text{окр}}/T_0$. Подоб-

ная корректировка справедлива только для твердотельных ГШ и является приближением формулы, приведенной в [5, формула (1.67)], при условии $T_{\text{ОКР}} \approx T_0$.

А.6 Режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

Модуляционный метод (режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ») рассчитан, в основном, на использование твердотельных ГШ, которые во включённом состоянии (т.е. при подаче на них постоянного напряжения +28 В) имитируют тепловой шум «горячей» 50-омной резистивной нагрузки, а в выключённом состоянии представляют собой ту же нагрузку, но при «холодной» температуре (точнее температуре окружающей среды, при которой проводятся измерения). Включение и выключение ГШ, находящегося под управлением СК4, осуществляется автоматически. Возможно использование ГШ других типов. В этом режиме в основу работы положено нахождение дифференциального КШ и КП по методу Y-фактора [5].

Вначале проводится пользовательская калибровка с подключением генератора шума (далее предполагается твердотельный ГШ) ко входу «**→ ВХОД**» СК4. В процессе калибровки измеряется собственный КШ СК4 $F_{\text{ИКШ}}$ во всем установленном частотном диапазоне. Вычисления собственного КШ СК4 $F_{\text{ИКШ}}$, отн. ед., производится программным обеспечением, под управлением которого находится СК4, по формуле:

$$F_{\text{ИКШ}} = \frac{ENR_1}{\frac{\Gamma_{\text{ШВКЛ.КАЛ}}}{\Gamma_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}} - 1}, \quad (14.19)$$

где $\Gamma_{\text{ШВКЛ.КАЛ}}$ – уровень выходной мощности включенного ГШ (т.е. на ГШ подается питающее напряжение) на этапе калибровки, Вт;

$\Gamma_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}$ – уровень выходной мощности выключенного ГШ (т.е. питающее напряжение на ГШ не подается) на этапе калибровки, Вт.

ENR_1 – избыточная относительная шумовая температура (ИОШТ) ГШ, используемого на этапе пользовательской калибровки, отн.ед.

Собственный КП радиочастотного тракта СК4 $G_{\text{ИКШ}}$ (с учетом калибровки предприятия-изготовителя) определяется, отн. ед., по формуле

$$G_{\text{ИКШ}} = \frac{\Gamma_{\text{ШВКЛ.КАЛ}} - \Gamma_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}}{k \cdot (T_h - T_c) \cdot B}. \quad (14.20)$$

В свою очередь измеряемые мощности, Вт, связаны с шумовыми температурами по формулам:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{ШВКЛ.КАЛ}} &= k \cdot T_{\text{К}}^{\text{hot}} \cdot B; \quad \Gamma_{\text{ШВКЛ.КАЛ}} = k \cdot T_{\text{К}}^{\text{cold}} \cdot B; \\ \Gamma_{\text{ШВКЛ}} &= k \cdot T_{\text{И}}^{\text{hot}} \cdot B; \quad \Gamma_{\text{ШВЫКЛ}} = k \cdot T_{\text{И}}^{\text{cold}} \cdot B, \end{aligned} \quad (14.21)$$

где T_K^{hot}, T_K^{cold} – соответственно измеряемые шумовые температуры на входе «горячего» и «холодного» источников на этапе калибровки, К;
 T_I^{hot}, T_I^{cold} – соответственно измеряемые шумовые температуры на выходе ИУ на этапе измерения для «горячего» и «холодного» источников, К.

После проведения калибровки проводится измерение параметров ИУ. Во время измерения ИУ присоединяется между выходом ГШ и входом «→ ВХОД» СК4.

КШ ИУ $F_{ИУ}$ в отн. ед. с учетом пользовательской калибровки рассчитываются по формуле Фрииса

$$F_{ИУ} = F_{\Sigma} - \frac{F_{ИКШ}-1}{G_{ИУ}} = \frac{ENR_N}{\frac{ГШ_{ВКЛ}}{ГШ_{ВЫКЛ}}-1} - \frac{F_{ИКШ}-1}{G_{ИУ}}, \quad (14.22)$$

где F_{Σ} – КШ измерительной схемы в целом (ИУ-ИКШ), отн. ед.;

$G_{ИУ}$ – КП ИУ, отн. ед.;

$ГШ_{ВКЛ}$ – уровень измеренной мощности для системы ИУ-ИКШ при включенном ГШ на этапе измерения, Вт;

$ГШ_{ВЫКЛ}$ – уровень измеренной мощности для системы ИУ-ИКШ при выключенном ГШ на этапе измерения, Вт;

ENR_N – избыточная относительная шумовая температура (ИОШТ) ГШ, используемого на этапе измерения, отн.ед.

КП ИУ $G_{ИУ}$ в отн.ед. рассчитывается по формуле

$$G_{ИУ} = \frac{ГШ_{ВКЛ}-ГШ_{ВЫКЛ}}{ГШ_{ВКЛ.КАЛ}-ГШ_{ВЫКЛ.КАЛ}} \cdot \frac{ENR_1}{ENR_N} \cdot АТТ, \quad (14.23)$$

где $АТТ$ – установленное значение ослабления аттенюатора ПЧ, отн. ед.

В свою очередь предельные значения $F_{ИУ п}$, $G_{ИУ п}$ и $ENR_{N п}$ при условии учета результатов этапа калибровки связаны следующим соотношением

$$F_{ИУ п}[\text{отн.ед.}] \approx \frac{P_{ш h}[\text{Вт}]}{k \cdot [\text{Дж/К}] \cdot T_0[\text{К}] \cdot B[\text{Гц}] \cdot G_{ИУ п}[\text{отн.ед.}]} - ENR_{N п}[\text{отн.ед.}], \quad (14.24)$$

где $P_{ш h}$ – точка сжатия шумового приемника СК4; как правило, на шумовом сигнале $P_{h0} \equiv 10 \cdot \lg(P_{ш h}[\text{Вт}] / (k \cdot [\text{Дж/К}] \cdot T_0[\text{К}] \cdot B[\text{Гц}])) \approx 45 \div 65$ дБ.

Для $P_{h0} = 55$ [дБ] последнее вычитаемое $ENR_{N п}$ начинает вносить заметный вклад лишь при $G_{ИУ п} \geq 35$ дБ для $ENR_{N п} = 15$ дБ, или при $G_{ИУ п} \geq 45$ дБ для $ENR_{N п} = 6$ дБ. Т.е., зачастую, на практике можно пользоваться упрощенным выражением

$$F_{ИУ п}[\text{дБ}] + G_{ИУ п}[\text{дБ}] \approx 55 [\text{дБ}]. \quad (14.25)$$

А.7 Режим «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»

Метод двух отсчётов (режим «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ») предназначен, как правило, для использования с НГШ (как правило азотных), при этом функцию «горячего» источника выполняет согласованная нагрузка (СН) при комнатной температуре. Возможно использование ГШ других типов, например твердотельных. В основу работы этого режима также положено измерение дифференциального КШ по методу Y-фактора, основное отличие от «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» в том, что управление ГШ, т.е. управление подачей шумового сигнала от «горячего» или «холодного» источников, осуществляется не автоматически, а вручную.

В данном режиме также предусмотрены этап пользовательской калибровки и этап измерения. Расчет КШ и КП проводится по тем же формулам, что и для «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»; с отличием в том, что каждый этап в свою очередь также разделяются на два подэтапа: 1) сначала на вход СК4 (или ИУ, в зависимости от этапа измерения) подключается СН, а выход ИУ (для этапа измерения) присоединяется ко входу « ВХОД» СК4; 2) далее ко входу СК4 (или ИУ) подсоединяется НГШ, а выход ИУ (для этапа измерения) также присоединяется ко входу « ВХОД» СК4.

В этом режиме при расчете КШ и КП ИУ используются те же формулы, что и в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ». При использовании НГШ результат измерений бывает удобнее отображать в виде шумовых температур, получаемых из формул (14.21), а не через КШ. В зависимости от типа используемого ГШ (низкотемпературный или твердотельный) под T^{hot} и T^{cold} понимаются разные вещи. Если используется НГШ, то в качестве T^{hot} используется температура согласованной нагрузки, т.е. температура окружающей среды, а в качестве T^{cold} используется температура холодного источника, вводимая через панель управления «Измерение > Температура хол. источника...».

А.8 Режим «Градуировка генераторов шума»

Режим «Градуировка генераторов шума» позволяет проводить градуировку ГШ. В этом режиме измерение, как и в предыдущих методах, проводится в два этапа. На первом этапе ко входу « ВХОД» СК4 присоединяется эталонный ГШ, на втором этапе – исследуемый ГШ.

Исходными данными для вычислений являются введенные значения $ENR_{ЭТ}$ (берётся из свидетельства о поверке или сертификата калибровки) для эталонного ГШ. Расчет ИОШТ исследуемого ГШ $ENR'_{ИУ}$ в отн. ед. производится по формуле

$$ENR'_{\text{иу}} = ENR_{\text{эт}} \frac{\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{иу}} - \Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{иу}}}{\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{эт}} - \Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{эт}}}, \quad (14.25)$$

где $ENR_{\text{эт}}$ – ИОШТ эталонного ГШ, отн. ед.;

$\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{иу}}$ и $\Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{иу}}$ – измеренные уровни выходной мощности исследуемого ГШ соответственно во включенном и выключенном состояниях, мВт;

$\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{эт}}$ и $\Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{эт}}$ – измеренные уровни выходной мощности эталонного ГШ соответственно во включенном и выключенном состояниях, мВт.

Метод дополнительной калибровки

Суть метода заключается в том, что измерение мощностей эталонного ГШ проводятся в начале и в конце каждого цикла измерений. Разность между результатами этих измерений позволяет оценить нестабильность КП измерительного тракта СК4М и ввести соответствующую поправку. Итоговые измеренные значения ENR , ед., в каждом цикле измерений рассчитываются по формуле:

$$ENR'_{\text{иу}} = ENR_{\text{эт}} \frac{\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{иу}} - \Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{иу}}}{\frac{\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{эт}} + \Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{эт}'}}{2} - \frac{\Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{эт}} + \Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{эт}'}}{2}}, \quad (14.26)$$

где $\Gamma\text{Ш}_{\text{вкл}}^{\text{эт}'}$ и $\Gamma\text{Ш}_{\text{выкл}}^{\text{эт}'}$ – измеренные уровни выходной мощности эталонного ГШ соответственно во включённом и выключенном состояниях во время повторной (дополнительной) калибровки (последнее измерение в цикле), Вт.

По завершении всех циклов измерений вычисляется среднее значение ИОШТ из тех, которые были получены в каждом цикле, по формуле (14.33).

Градуировка согласно методике поверки ГШМ2

Особенность данного метода заключается в наборе статистики и расчёте суммарной средней квадратической погрешности измеренной ИОШТ, учитывающей ПГ эталонного ГШ, погрешность измерения КП устройств, вносящих потери, ПГ метода градуировки и флуктуации во время измерений. Каждое значение ИОШТ в выборке вычисляется по формуле (14.25). Суммарная средняя квадратическая погрешность (ССКП), дБ, для каждой частотной точки вычисляется по формуле:

$$S_{\Sigma, \text{дБ}} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{S_{\Sigma}}{\bar{N}} \right), \quad (14.28)$$

где S_{Σ} – ССКП, ед.

$\bar{N}$ – оценка среднего измеренного значения ИОШТ градуируемого ГШ, ед.

В свою очередь $\bar{N}$, ед., для каждой частотной точки вычисляется по формуле:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n N_i, \quad (14.29)$$

где n – количество циклов измерений;
 N_i – измеренное ИОШТ градуируемого ГШ на некоторой частоте, ед.
 ССКП, ед., вычисляется по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{РЭ}^2 + S_{кал}^2 + S_{изм}^2 + S_{м}^2 + \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}}, \quad (14.30)$$

где $S_{РЭ}$ – среднее квадратическое отклонение ИОШТ рабочего эталонного ГШ, ед.;

$S_{кал}$ – среднее квадратическое отклонение КП по мощности $(S_{21}^{кал})^2$ устройства, которое вносит потери (аттенюатор и/или переход) и которое прикручено на выход рабочего эталона, ед.;

$S_{изм}$ – среднее квадратическое отклонение КП по мощности $(S_{21}^{изм})^2$ устройства, которое вносит потери (аттенюатор и/или переход) и которое прикручено на выход исследуемого ГШ во время измерения его характеристики, ед.;

$S_{м}$ – среднее квадратическое отклонение ПГ метода градуировки, ед.

Расчёт $S_{РЭ}$, $S_{кал}$, $S_{изм}$ и $S_{м}$, ед., производится из соответствующих пределов абсолютных ПГ $\Delta_{РЭ}^+$, $\Delta_{РЭ}^-$; $\Delta_{кал}^+$, $\Delta_{кал}^-$; $\Delta_{изм}^+$, $\Delta_{изм}^-$ и $\Delta_{м}^+$, $\Delta_{м}^-$ (в предположении равномерности закона распределения этих ПГ) по формуле

$$S_x = \frac{(\Delta_x^+ - \Delta_x^-)}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (14.31)$$

где «х» – соответствующий индекс – «РЭ», «кал», «изм» или «м».

Пределы $\Delta_{РЭ}^{\pm}$, $\Delta_{кал}^{\pm}$, $\Delta_{изм}^{\pm}$ и $\Delta_{м}^{\pm}$, ед., определяются соответственно из пределов ПГ (знаковые величины) рабочего эталона $\delta_{РЭ}$, пределов ПГ измерения КП по напряжению $S_{21}^{кал}$, $S_{21}^{изм}$, и предела ПГ метода градуировки $\delta_{м}$, в дБ, по формуле

$$\Delta_x^{\pm} = K \cdot (10^{\pm 0,1 \cdot |\delta_x|} - 1), \quad (14.32)$$

где K – оценка среднего значения ИОШТ $\overline{ENR}_x$ для эталонного ГШ ($\overline{ENR}_x$ в ед. и $\overline{ENR}_x$ в дБ связаны по формуле (14.16)), т.е. значения, приводимые в сертификате калибровки или в свидетельстве о поверке (если рассчитывается $\Delta_{РЭ}^{\pm}$), или ИОШТ для градуируемого ГШ (если рассчитывается $\Delta_{м}^{\pm}$), или $K[\text{ед.}] = (S_{21}^{кал}[\text{отн. ед.}])^2$ (если рассчитывается $\Delta_{кал}^{\pm}$), или $K[\text{ед.}] = (S_{21}^{изм}[\text{отн. ед.}])^2$ (если рассчитывается $\Delta_{изм}^{\pm}$), ед.

i Формулу (14.32) можно получить из формулы (14.28), если вместо S_{Σ} , $S_{\Sigma, \text{дБ}}$ и $\bar{N}$ соответственно подставить $\Delta_x^{\pm}$, δ_x и K .

Контроль пределов ИОШТ

Контроль пределов ИОШТ, если он включен, проверяет выход измеренных значений ИОШТ за установленные пользователем пределы. В случае несоответствия выдается сообщение об ошибке.

Контроль нестабильности ИКШ

Контроль нестабильности ИКШ позволяет контролировать стабильность коэффициента передачи измерительного тракта СК4. В случае соответствия заданным пользователем пределам оценка измеренного ИОШТ проводится по формуле (14.26); в противном случае выдается сообщение об ошибке, после чего необходимо повторить измерения.

Контроль сходимости ИОШТ

Контроль сходимости ИОШТ позволяет оценивать сходимость результатов измерения ИОШТ исследуемого ГШ в разных циклах измерений. Если удастся найти два измеренных значения ИОШТ, отличия между которыми не превышают установленные пользователем пределы, то расчет итогового ИОШТ проводится, отн. ед., по формуле

$$ENR_{ИУ} = \frac{ENR_{ИУ1} + ENR_{ИУ2}}{2}, \quad (14.33)$$

где $ENR_{ИУ1} + ENR_{ИУ2}$ – измеренные значения ИОШТ исследуемого ГШ в двух разных циклах измерений, которые соответствуют требованиям по сходимости, отн. ед.

А.9 Измерения с преобразованием частоты

При измерении параметров преобразователей частот преобразованные частоты, отображаемые на диаграмме, рассчитываются по формулам:
для верхнего гетеродина (знак «–» говорит об инверсии спектра)

$$f_{ПЧ} = -(f_{Г} - f_{С}), \quad (14.34)$$

где $f_{ПЧ}$ – преобразованные частоты на выходе ИУ;
 $f_{Г}$ – частота гетеродина, используемого совместно с ИУ;
 $f_{С}$ – частота сигнала на входе ИУ;
для нижнего гетеродина

$$f_{ПЧ} = f_{Г} + f_{С}. \quad (14.35)$$

Приложение Б (справочное)

Краткая теория по измерению коэффициента шума

Одним из основных требований, предъявляемых к приёмным устройствам аппаратуры связи и навигации, является способность приёма слабых сигналов.

Причиной измерения шумовых свойств является стремление к минимизации шумов приёмных систем. Одним из решений проблемы повышения чувствительности является увеличение мощности входного сигнала. Это возможно либо при увеличении мощности передающей станции или при увеличении мощности, выделяемой приёмной антенной, которое в общем случае возможно при увеличении её апертуры, что, в конечном счёте, имеет ограничения с экономической точки зрения или с точки зрения обоснованности технического решения. Другим, более приемлемым, вариантом является минимизация шума элементов (блоков) приёмных систем. К факторам, которые ограничивают их чувствительность, относятся собственные шумы. Для нормирования уровня собственных шумов приёмных устройств и отдельных узлов и блоков применяется понятие КШ.

КШ (F) приёмного устройства или любого четырёхполюсника определяется по формуле:

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_0/N_0} = \frac{N_a + G \cdot N_i}{G \cdot N_i} \quad (\text{Б.1})$$

где S_i/N_i – отношение сигнал/шум на входе ИУ;

S_0/N_0 – отношение сигнал/шум на выходе;

G – согласованный КП исследуемого устройства;

N_a – шум, вносимый исследуемым устройством.

Таким образом, КШ характеризует ухудшение отношения сигнал/шум при прохождении через ИУ (рисунок Б.1).

КШ в децибелах (NF) рассчитывается по формуле:

$$NF = 10 \cdot \lg(F) \quad (\text{Б.2})$$

КШ не зависит от уровня входного сигнала, а непосредственно является характеристикой исследуемого устройства.

Идеальный усилитель – это устройство, которое усиливает шум совместно с сигналом и сохраняет при этом отношение сигнал/шум на входе и выходе одинаковым. Реальный усилитель вносит шум, вызываемый отдельными его компонентами, что приводит к ухудшению отношения сигнал/шум.

Теория измерения КШ применима к системам, которые, по крайней мере, имеют один вход и один выход (четырёхполюсники), и не распространяется на двухполюсники, такие как нагрузки или генераторы. Качество генераторов ха-

рактируется отношением уровня несущей к шуму или спектральной плотностью мощности шума (спектральной чистотой). Смесители, являющиеся шестиполосниками, можно рассматривать и как четырёхполосники с подключённым внутренним или внешним гетеродином.

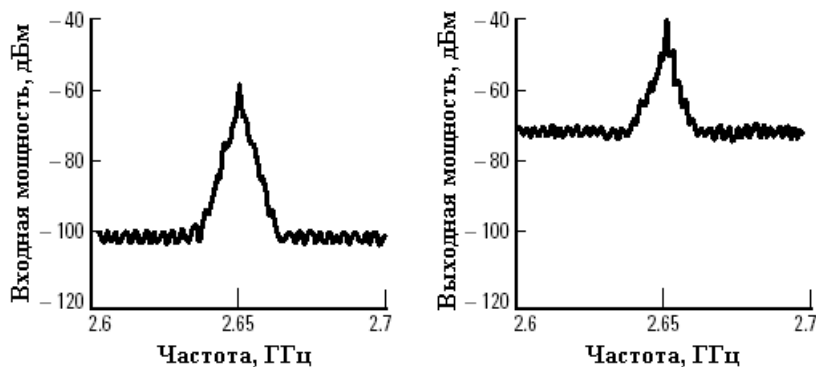


Рисунок Б.1 – Пример, иллюстрирующий ухудшение отношения сигнал/шум в результате добавления собственного шума приёмно-усилительного устройства

Шум, рассматриваемый в процессе измерений, представляет собой случайные флуктуации, возникающими в электрических устройствах.

Одним из разновидностей входного шума является тепловой, который возникает в проводниках благодаря хаотическому движению заряженных частиц, которое не зависит от величины протекающего постоянного тока и приложенной ЭДС.

Найквист на основе термодинамического анализа показал, что дифференциальное значение среднего квадрата действующей величины шумовой ЭДС в полосе частот df на сопротивлении R при температуре T :

$$de_n^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot p(f)df, \quad (\text{Б.3})$$

$$\overline{e_n^2} = 4 \cdot k \cdot T \cdot \int_{f_1}^{f_2} R(f) \cdot p(f)df, \quad (\text{Б.4})$$

где $p(f) = \frac{hf}{kT} \cdot \left(e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)^{-1} \approx 1$;

h – постоянная Планка;

k – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура, К;

$R = R(f)$ – активная составляющая сопротивления, Ом;

F – частота, Гц;

f_1 и f_2 – граничные частоты анализируемого диапазона.

Для частот ниже 100 ГГц, $T = 290 \text{ K}$, $0,992 < p(f) < 1$:

$$\overline{e_n^2} = 4 \cdot k \cdot R \cdot T \cdot (f_2 - f_1) = 4kRTB, \quad (\text{Б.5})$$

Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, Вт (или Дж/с), источника тепловых шумов на комплексно-сопряжённой нагрузке:

$$P_{\text{ном}} = \frac{\overline{e_n^2}}{4R} kTB. \quad (\text{Б.6})$$

Формула (Б.6) является фундаментальной, имеет общий характер и определяет закон передачи шумовой мощности в нагрузку при условии согласования. Из этой формулы можно сделать заключение, что номинальная шумовая мощность теплового источника:

- не зависит от величины внутреннего сопротивления источника;
- не зависит от величины протекающего постоянного тока;
- определяется лишь абсолютной температурой T и рассматриваемой полосой частот B .

(формула справедлива лишь для источников с равномерным в пределах полосы B частотным спектром и при постоянных сопротивлениях источника сигнала и нагрузки в той же полосе).

Спектр теплового шума близок к равномерному в пределах СВЧ диапазона. Дробовой шум вызывается эффектом квантования электрического тока. Существуют и другие явления, связанные с квантованием, которые производят шум подобный дробовому. К примеру, генерация и рекомбинация пары электрон/дырка или деление эмиттерного тока между базой и коллектором.

Есть много причин, вызывающих шум, в электрических цепях. Сочетание всех эффектов формирования шума часто рассматривается под общим названием – тепловой шум.

До сих пор существуют серьёзные практические трудности, связанные с попыткой положить в основу измерений непосредственно уравнение (Б.1). В частности, не так просто измерить с высокой точностью составляющую эффективной ширины полосы частот B и согласованного КП G . Одним из альтернативных методов измерений КШ, который реализован в ПО, является модуляционный метод, основанный на измерении отношения мощности шумов, соответствующих двум различным температурам источника. Принцип измерения представлен на рисунке Б.2.

При этом КШ вычисляется по формуле:

$$F = 1 + \frac{N_a}{S \cdot T_0}, \quad (\text{Б.7})$$

где $S = kGB$ – крутизна характеристики.

Источники шума (ГШ), обеспечивающие работу при двух разных температурах (включённое и выключенное состояние), должны иметь калиброванный уровень выходной мощности, характеризующийся избыточной относительной шумовой температурой (в международной литературе – *excess noise ratio (ENR)*).

Значения ИОШТ (ENR) в зависимости от частоты указываются на ГШ (либо поставляются на жёстком носителе или прописывают в документации на него); выражение для ИОШТ, дБ, имеет вид

$$ENR = 10 \cdot \lg \left(\frac{T_h - T_c}{T_0} \right), \quad (\text{Б.8})$$

где T_h – температура «горячего» источника, К;

T_c – температура «холодного» источника, К;

$T = 290 \text{ К}$ – стандартная температура, К.

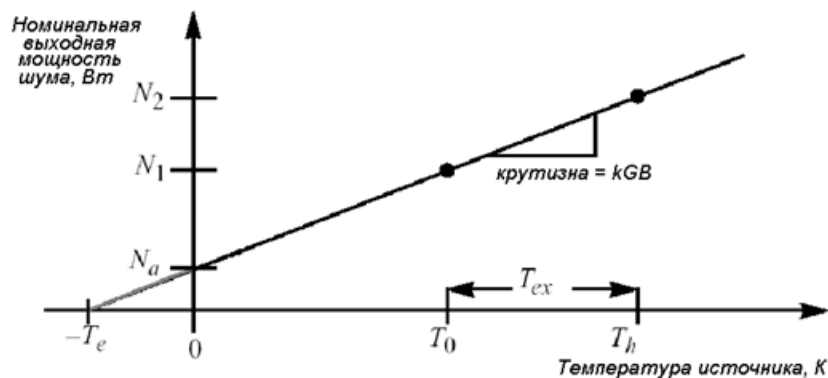


Рисунок Б.2 – Принцип измерения КШ

Для описания шумовых характеристик устройств иногда используют понятие «эквивалентная шумовая температура» (T_e , рисунок Б.2). T_e определяется как температура эталона (чёрного тела или согласованной нагрузки), при которой мощность его излучения в рабочем диапазоне частот равна мощности собственных шумов исследуемого устройства. КШ, отн. ед., и эквивалентная шумовая температура, К, связаны следующим соотношением:

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}. \quad (\text{Б.9})$$

Эквивалентная шумовая температура наиболее часто используется для описания систем с низким КШ, поскольку имеет в этом диапазоне большую разрешающую способность. Для сравнения в таблице Б.1 приведены низкие значения КШ и соответствующие им значения эквивалентной шумовой температуры.

Т а б л и ц а Б.1 – Сопоставление КШ и шумовой температуры

NF , дБ	F	T_e , К
0,5	1,122	35,4
0,6	1,148	43,0
0,7	1,175	50,7
0,8	1,202	58,7
0,9	1,230	66,8
1,0	1,259	75,1

1,1	1,288	83,6
1,2	1,318	92,3

Приложение В

Обзор факторов, влияющих на погрешность измерений

В.1 Общие сведения о погрешностях измерений КШ

Погрешности СК4 по закономерностям проявления можно разделить на следующие группы:

- а) Погрешности, обусловленные температурным и др. дрейфом (могут быть как случайными, так и систематическими);
- б) Случайные погрешности: флуктуации и др.
- в) Систематические погрешности:
 - Инструментальные;
 - Методические.

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

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

Влияние собственного шума СК4. Для исключения этих составляющих необходима пользовательская калибровка и ее применение к результатам измерений (коррекция). Тем не менее, даже после коррекции, остаются неисключенные систематические составляющие погрешности.

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

Под инструментальными составляющими погрешности здесь понимаются погрешности, связанные с неопределенностью параметров самого СК4 (нелинейности амплитудной характеристики и т.п.).

Итоговую погрешность измерений КШ после коррекции можно оценить по формулам в настоящем РЭ (см. Приложение Г).

В.2 Факторы, влияющие на погрешность

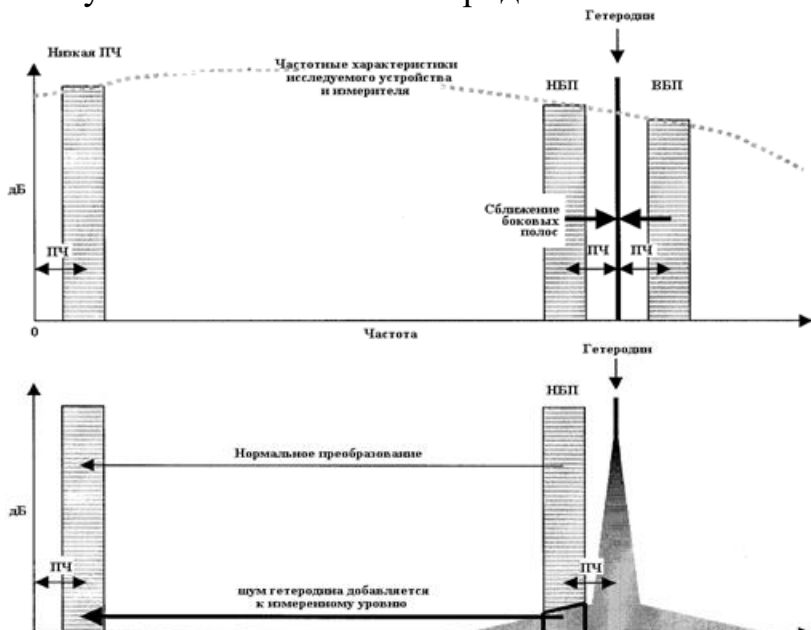
В таблице В.1 приведены возможные причины возникновения погрешностей измерения КШ и пути их устранения.

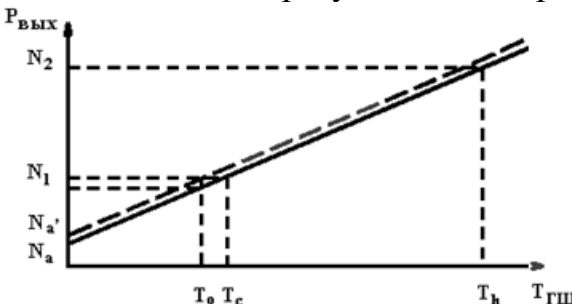
Т а б л и ц а В.1 – Устранимые источники погрешности

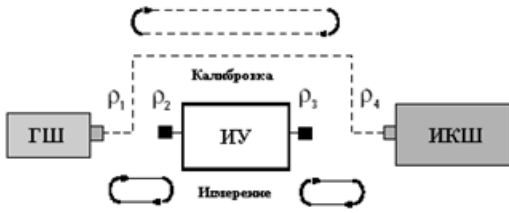
Название	Описание, рекомендации
Использование загрязненных или поврежденных соединителей и переходов	Значения ИОШТ (<i>ENR</i>) приводятся непосредственно для выходного разъема ГШ. Переходы могут вносить дополнительные потери или ухудшать согласование тракта, что увеличивает общую погрешность измерений. Если применение переходов обязательно, то требуется учитывать потери, которые они вносят. Даже слабое загрязнение соединителей или переходов может ухудшить контакт и повлиять на прохождение в измерительный тракт побочных колебаний. Не следует использовать переходы, с загрязненным соединителем или повреждена поверхность внутреннего или внешнего проводника
Электромагнитная восприимчивость	Любые побочные (паразитные) колебания, вносимые в систему, воспринимаются как мощность шума исследуемого устройства, что приводит к погрешности по амплитуде. В качестве источников паразитных колебаний могут выступать: люминесцентные лампы, соседние приборы, местное телевидение и радиовещание, базовые станции сотовой телефонии и другие. Для уменьшения данного эффекта необходимо: проверять чистоту и исправность разъемов применяемых соединителей или переходов; использовать резьбовые соединители (к примеру, <i>BNC</i> соединители очень чувствительны к побочным колебаниям); применять кабели с двойной изоляцией, заземлять СК4; проводить измерения в экранированной комнате
Изменение КСВН во «включенном» и «выключенном» состояниях	В процессе измерений ГШ автоматически включается и выключается, это приводит к изменению его выходного импеданса (т.е. КСВН), которое отражается на согласовании с исследуемым устройством. Для уменьшения этого эффекта применяются источники шума с малой ИОШТ ($ENR < 10$ дБ), т.к. у них на выходе, как правило, установлен аттенюатор; они ограничивают изменения коэффициента отражения при включении/выключении

Название	Описание, рекомендации
Флуктуации измеренных данных	Любые измерения КШ сопровождаются некоторой нестабильностью результата измерения, связанной со случайной природой шумового сигнала. Результирующая повторяющаяся погрешность измерений является функцией: КШ и КП ИУ, ИОШТ (<i>ENR</i>) ГШ, полосы пропускания измерителя и степени усреднения. Поскольку параметры ИУ и ГШ обычно не могут быть изменены, то этот эффект минимизируется при помощи выбора соответствующей полосы пропускания и степени усреднения СК4. Выбор числа усреднений и оптимальной ширины полосы пропускания: - выберете число (степень) усреднений, соответствующее минимальному разбросу измеренных данных или в соответствии со скоростью проведения измерений; - используйте полосу пропускания СК4, не превышающую полосу пропускания ИУ
Ограниченная полоса пропускания исследуемого устройства	Основное предположение при измерении КШ заключается в том, чтобы амплитудно-частотная характеристика исследуемого устройства была постоянна в пределах полосы пропускания измерителя. Таким образом, при анализе узкополосных систем необходимо соответственно уменьшать полосу пропускания СК4. Если полоса пропускания исследуемого устройства будет меньше полосы пропускания СК4, это приведет к возникновению погрешности измерения КП, что скажется на коррекции собственного КШ СК4. Погрешность будет незначительной, если выполняется следующее условие: $G \gg 10 \cdot \lg(B_{CAL}/B_{MEAS}),$ где G – КП исследуемого устройства; B_{CAL} – полоса пропускания измерителя (при выполнении калибровки); B_{MEAS} – полоса пропускания системы «исследуемое устройство – СК4». При измерениях КШ появляются достаточно большие флуктуации результата измерений, поэтому, теоретически, время, требуемое для определения истинного среднего значения шума, стремится к бесконечности.

Название	Описание, рекомендации
	На практике усреднение измеренных данных выполняется за определенный промежуток времени. Поэтому разница между измеренным усредненным значением и истинным средним будет флуктуировать. Для уменьшения этого эффекта необходимо увеличить либо число усреднений, либо полосу пропускания фильтра ПЧ, так как в этом случае большее количество компонент шума за единицу времени будет усреднено; хотя в общем случае КШ не зависит от полосы пропускания СК4, а является функцией частоты. При уменьшении полосы пропускания требуется увеличить число усреднений, чтобы погрешность измерений не возросла. При увеличении числа усреднений погрешность уменьшается, это приводит к замедлению времени измерений, поэтому необходим компромисс между скоростью проведения и требуемой точностью измерений. Обычно рекомендуется проводить измерения на максимально возможной полосе пропускания, которая в свою очередь должна быть меньше полосы пропускания исследуемого устройства.
Преобразователи частоты	1) Необходимо определить какую из боковых полос (НБП – нижняя боковая полоса, ВБП – верхняя боковая полоса) требуется анализировать в процессе измерений.  Преобразователи частоты, такие как приемники (конверторы) и смесители, обычно разрабатываются для переноса одной боковой полосы входного сигнала на промежуточную частоту. Тем не менее, на промежуточную частоту переносится не только полезный сигнал, но и продукты преобразования, включая зеркальный канал, гармонические составляющие, паразитные составляющие, просачивание гетеродина и другие.

Название	Описание, рекомендации
	В частности для приемников (конверторов) паразитные сигналы не так существенны, в отличие от смесителей, благодаря внутренней фильтрации. При измерении КШ преобразователей, использующих две боковые полосы (радиометрия), не требуется дополнительных фильтров. При измерении одной боковой полосы необходимо использовать фильтр, что не всегда оправдано, либо проводить измерения двойной боковой с соответствующей коррекцией результата измерений. Фильтрация входного сигнала позволяет ограничить требуемый диапазон частот во избежание нежелательного преобразования с гармониками гетеродина, которое увеличивает измеренный КШ. Фильтрация выходного сигнала ограничивает просачивание сигнала гетеродина и побочных продуктов преобразования на вход СК4. 2) При измерении КШ двойной боковой полосы необходимо выбирать частоту гетеродина как можно ближе к входному диапазону частот, т.к. при этом равенство КП для обоих каналов наиболее вероятно. Для минимизации влияния частотной характеристики исследуемого смесителя на различие НБП и ВБП рекомендуется уменьшать промежуточную частоту. Существуют два ограничения: промежуточная частота не должна быть меньше начальной частоты СК4, и влияние шума боковых полос гетеродина. 

Название	Описание, рекомендации
	3) При измерении КШ одной боковой полосы необходимо выбирать частоту гетеродина как можно дальше от входного диапазона частот с целью обеспечения лучшей избирательности используемых фильтров по зеркальному каналу (второй боковой полосы)
Компенсация потерь	Соединительные кабели, переходы, аттенюаторы и иные средств, используемые при измерении, вносят дополнительные потери. Вводите соответствующий поправочный коэффициент, учитывающий потери в радиоизмерительном тракте; погрешность измерения будет зависеть от точности определения этого коэффициента. Не рекомендуется использовать соединительные кабели (переходы) до исследуемого устройства, если оно является усилительным, и после ИУ, в ином случае
Нелинейный режим	В основу измерений КШ положен линейный режим работы как ИУ, так и самого СК4. При проведении измерений необходимо устранять все прогнозируемые источники нелинейности: - устройства со слабой фильтрацией сигнала гетеродина; - усилители или смесители, работающие в режиме близком к насыщению, или логарифмические усилители; - устройства с автоматической регулировкой усиления или ограничители; - устройства с большим КП (более 30 дБ) без дополнительного ослабления
Температура окружающей среды	При изменении температуры окружающей среды изменяются значения ИОШТ (ENR) источника шума, что приводит к смещению результата измерений. 

Название	Описание, рекомендации
	Следует помнить, что величина КШ зависит от температуры, при которой проводятся измерения! Поэтому вводите температуру окружающей среды для автоматической корректировки значений ИОШТ (ENR) источника шума (так называемая температурная компенсация). Корректировка ИОШТ (ENR) производится по следующей формуле: $ENR_{corr} = ENR + (T_0 - T_c)/T_0.$ Стандартная температура по умолчанию в ПО равна 290 К. В случае, когда температура, при которой проводятся измерения, отличается от стандартной, будет измеряться т.н. рабочий (или реальный) КШ, который используется, например, в основном уравнении радиолокации. Значение рабочего КШ будет отображаться, если в качестве температуры окружающей среды будет установлено значение, равное стандартной температуре. Автоматическая температурная компенсация производится с некоторой погрешностью, поэтому для более точных измерений температура окружающей среды должна быть равна стандартной температуре
Рассогласование радиоизмерительного тракта	Рассогласование между ГШ и исследуемым устройством, исследуемым устройством и СК4, ГШ и СК4 влечет за собой многократное переотражение шумового сигнала.  Для минимизации эффекта рассогласования часто используются вентили или аттенюаторы. Основным недостатком вентиля является ограниченность их рабочего частотного диапазона, а аттенюаторов – вносимые дополнительные потери. Наилучшим способом все же является использование источника шума с малой ИОШТ (ENR) и/или встроенным аттенюатором
Погрешность калибровки значений ИОШТ (ENR) источника шума	Погрешность, обусловленная различием между калиброванными значениями ИОШТ (ENR), представленными на корпусе источника шума (или на жестком носителе), и действительными значениями

Приложение Г (обязательное) Оценка пределов абсолютной погрешности измерения КШ и КП

Данная процедура проводится только для СК4, имеющих одновременно опции «ИКШ» и «МУА». Для вычислений пределов абсолютной ПГ измерения КШ, приведённых ниже, можно пользоваться файлом «Расчет_ПГ_КШ_СК4М_v1.x.xlsx» (при наличии), поставляемом на цифровом носителе в комплекте поставки СК4. Исходными данными для вычислений являются другие показатели точности СК4, которые измеряются согласно методикам, приведённым в ЖНКЮ.468166.024 ДЗ.

Помимо погрешностей (ПГ) СК4 (далее – ИКШ), указанных в технических характеристиках (ТХ), при реальных измерениях возникает ряд других ПГ, который также необходимо учитывать. В итоге ПГ результатов измерений КШ и КП могут существенно превышать действительные значения систематических и/или случайных ПГ.

В данном разделе приводится пошаговый расчет ПГ результата измерения КШ и КП ИУ в предположении, что основные исключаемые погрешности сведены к минимуму. Возможны несколько вариантов оценки ПГ: оценка приписанной погрешности и оценка действительной ПГ. Величина действительной ПГ может зависеть от множества факторов, в том числе от параметров ИУ и квалификации персонала, проводящего измерения.

Для вычисления приписанной погрешности в качестве составляющих используются ТХ ИКШ. Итоговая приписанная ПГ не будет привязана к конкретной частоте. Для расчета действительной ПГ следует использовать реальные ТХ, которые либо берутся из протоколов различного вида испытаний, протоколов поверки, сертификатов калибровки и т.д., либо их измеряют самостоятельно в соответствии с методикой поверки (МП) или ТУ. Действительная ПГ вычисляется для частоты, на которой проводились измерения технических характеристик, КШ и/или КП. В данном приложении для примера приводится расчет действительной ПГ измерения КШ на основе МИ 2083, при этом предполагается, что исходные данные были получены в результате измерений на некоторой частоте.

1) Подготовим исходные данные для расчёта:

- а) $F_2 = 8,075$ дБ = 6,419 отн. ед. – собственный КШ СК4;
- б) $F_{ИУ} = 5$ дБ = 3,162 отн. ед. – КШ исследуемого устройства (ИУ);
- в) $G_{ИУ} = 10$ дБ = 10 отн. ед. – коэффициент передачи (КП) ИУ;
- г) $KCBH_{ГШ} = 1,200$ – КСВН выхода генератора шума (ГШ) (соответственно КО $\rho_{ГШ} = 0,091$ [отн. ед.]);
- д) $KCBH_{вх_ИУ} = KCBH_{вых_ИУ} = 1,300$ – КСВН выхода ИУ (соответственно КО будет $\rho_{вх_ИУ} = \rho_{вых_ИУ} = \rho_{ИУ} = 0,130$ отн. ед.);

е) $KCBH_{ИКШ} = 1,500 - KCBH_{СВЧ-входа\ СК4}$ (соответственно $KO_{РИКШ} = 0,200$ [отн. ед.]);

ж) $\Delta F_{сист} = 0,016$ дБ – ПГ измерения КШ из-за нелинейности амплитудной характеристики (инструментальная ПГ) СК4;

з) $\Delta G_{сист} = 0,014$ дБ – ПГ измерения КП из-за нелинейности АХ СК4;

и) $\Delta F_{фл} = \Delta G_{фл} = 0$ – предполагается, что флуктуациями можно пренебречь;

к) $\delta ENR = \delta ENR_{изм} = \delta ENR_{кал} = 0,190$ дБ – предел погрешности ИОШТ используемого ГШ δENR в процессе пользовательской калибровки и измерения (предполагается, что на обоих этапах используется один и тот же ГШ).

2) Рассчитаем значения собственного КШ СК4 F_{12} , отн. ед., по формуле

$$F_{12} = F_{ИУ} + \frac{F_2[\text{отн.ед.}] - 1}{G_{ИУ}} = 10^{0,1 \cdot 5[\text{дБ}]} + \frac{10^{0,1 \cdot 8,075[\text{дБ}]} - 1}{10^{0,1 \cdot 10[\text{дБ}]}} \approx 3,704. \quad (\Gamma.1)$$

3) Вычислим пределы погрешности рассогласования $|\Delta_{ГШ-ИУ}|$, $|\Delta_{ГШ-ИКШ}|$, $|\Delta_{ИУ-ИКШ}|$ по формуле

$$|\Delta_{и1-и2}|[\text{отн. ед.}] = \rho_{и1}[\text{отн. ед.}] \cdot \rho_{и2}[\text{отн. ед.}], \quad (\Gamma.2)$$

где «и1» и «и2» – соответствующие индексы;

ρ – соответствующие коэффициенты отражения.

$$|\Delta_{ГШ-ИУ}|[\text{отн. ед.}] = \rho_{ГШ}[\text{отн. ед.}] \cdot \rho_{ИУ}[\text{отн. ед.}] = 0,091 \cdot 0,130 = 0,012;$$

$$|\Delta_{ГШ-ИКШ}|[\text{отн. ед.}] = \rho_{ГШ}[\text{отн. ед.}] \cdot \rho_{ИКШ}[\text{отн. ед.}] = 0,091 \cdot 0,200 = 0,018;$$

$$|\Delta_{ИУ-ИКШ}|[\text{отн. ед.}] = \rho_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot \rho_{ИКШ}[\text{отн. ед.}] = 0,130 \cdot 0,200 = 0,026.$$

4) Рассчитаем границы погрешности измерения КШ измерительной системы, отн. ед., по формуле

$$\begin{aligned} \Delta F_{12} &= 1,1 \cdot \sqrt{|\Delta_{ГШ-ИУ}[\text{отн. ед.}]|^2 + (F_{12}[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta F_{сист}[\text{дБ}]} - 1))^2 +} \\ &\quad \frac{+(1-S) \cdot (ENR_{изм} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{изм}[\text{дБ}]} - 1))^2 + \Delta F_{фл}^2}{2} \approx \\ &\approx \sqrt{0,012^2 + (3,704 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,016} - 1))^2 + 0 + 0} \approx 0,020. \end{aligned} \quad (\Gamma.3)$$

где $S = 1$ – для измерений без преобразования частот (предполагаем именно этот случай), а $S = 0$ – с преобразованием;

$\delta ENR_{изм}$ – ПГ ИОШТ эталонного ГШ, использованного на этапе измерения, дБ.

5) Определим границы погрешности измерения собственного КШ ИКШ, отн. ед., по формуле

$$\begin{aligned}
 \Delta F_2 &= 1,1 \cdot \sqrt{|\Delta_{\text{ГШ-ИКШ}}[\text{отн. ед.}]|^2 + (F_2[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta F_{\text{сист}}[\text{дБ}] - 1}))^2 +} \\
 &\quad \frac{+(1-S) \cdot (ENR_{\text{кал}} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{кал}}[\text{дБ}] - 1))^2 + \Delta F_{\text{фл}}^2}{2} \approx \\
 &\approx 1,1 \cdot \sqrt{0,018^2 + (6,419 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,016} - 1))^2 + 0 + 0} \approx 0,033.
 \end{aligned} \tag{Г.4}$$

где $\delta ENR_{\text{кал}}$ – ПГ ИОШТ эталонного ГШ, использованного на этапе калибровки, дБ.

6) Вычислим границы ПГ измерения КП ИУ, отн. ед., по формуле

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{\text{ИУ}} &= 1,1 \cdot \\
 &\sqrt{|\Delta_{\text{ГШ-ИУ}}[\text{отн. ед.}]|^2 + |\Delta_{\text{ГШ-ИКШ}}[\text{отн. ед.}]|^2 + |\Delta_{\text{ИУ-ИКШ}}[\text{отн. ед.}]|^2 +} \\
 &\quad \frac{+(G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta G_{\text{сист}}[\text{дБ}] - 1))^2 +}{2} \\
 &\quad \frac{+(1-S) \cdot (ENR_{\text{изм}} \cdot (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{изм}}[\text{дБ}] - 1))^2 + \Delta G_{\text{фл}}^2}{2} \approx \\
 &\approx 1,1 \cdot \sqrt{0,012^2 + 0,018^2 + 0,026^2 + (10,000 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,014} - 1))^2 + 0 + 0} \approx 0,514.
 \end{aligned} \tag{Г.5}$$

Переводя последнее выражение в дБ, получим

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{\text{ИУ}}[\text{дБ}] &= 10 \cdot \lg \left(1 \pm \frac{\Delta G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]}{G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \right), \\
 \Delta G_{\text{ИУ}}^+ &\approx 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{0,514}{10} \right) \approx 0,218 \text{ дБ}, \\
 \Delta G_{\text{ИУ}}^- &\approx 10 \cdot \lg \left(1 - \frac{0,514}{10} \right) \approx -0,230 \text{ дБ}.
 \end{aligned} \tag{Г.6}$$

7) Рассчитаем итоговые значения доверительных границ ПГ измерения КШ для вероятности 0,95 по формуле

$$\begin{aligned}
 \Delta F_{\text{ИУ}}[\text{дБ}] &= 10 \cdot \lg \left\{ 1 \pm \frac{1}{F_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \cdot \sqrt{(\Delta F_{12}[\text{отн. ед.}])^2 + \left(\frac{\Delta F_2[\text{отн. ед.}]}{G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \right)^2 +} \right. \\
 &\quad \left. + \left(\frac{F_2[\text{отн. ед.}] - 1}{G_{\text{ИУ}}^2[\text{отн. ед.}]} \cdot \Delta G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}] \right)^2 + S \cdot 1,1^2 \left(F_{12}[\text{отн. ед.}] - \frac{F_2}{G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \right)^2 \times \right. \\
 &\quad \left. \times (10^{0,1 \cdot \delta ENR_{\text{изм}}[\text{дБ}] - 1})^2 \right\}.
 \end{aligned} \tag{Г.7}$$

В итоге получим в $\Delta F_{\text{ИУ}}$

$$\Delta F_{\text{ИУ}}^+ \approx 10 \cdot \lg \left\{ 1 + \frac{1}{3,162} \cdot \sqrt{(0,020)^2 + \left(\frac{0,033}{10} \right)^2 +} \right.$$

$$+ \left(\frac{6,419-1}{10^2} \cdot 0,514 \right)^2 + 1 \cdot 1,1^2 \left(3,704 - \frac{6,419}{10} \right)^2 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,190} - 1)^2 \Bigg\} \approx 0,207 \text{ дБ},$$

$$\Delta F_{\text{ИУ}}^- \approx 10 \cdot \lg \left\{ 1 - \frac{1}{3,162} \cdot \sqrt{(0,020)^2 + \left(\frac{0,033}{10} \right)^2} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{6,419-1}{10^2} \cdot 0,514 \right)^2 + 1 \cdot 1,1^2 \left(3,704 - \frac{6,419}{10} \right)^2 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,190} - 1)^2 \right\} \approx -0,218 \text{ дБ}.$$

Приложение Д (справочное) Библиография

1. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок : ПОТ РМ-016–2001 : РД 153-34.0-03.150–00 / отв. за вып.: Н.П. Дорофеев, В.В Шатров, А.В. Цапенко. – М. : НТЦ ПБ, 2011. – 210 с. – (Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Серия 17, Нормативные документы по надзору в электроэнергетике; вып. 6).

2. Российская Федерация. Законы. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н // Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок : Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н : Зарегистрировано в Министерстве Юстиции РФ 30.12.2020, рег. N 61957 / Министерство труда и социальной защиты; Министр Котяков А.О. – С изменениями на 29.04.2022. – [М.]: Кодекс, 2022. – 107 с.

3. Российская Федерация. Законы. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии : Утв. приказом Минэнерго России от 12 августа 2022 года N 811 // Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии : Приказ 12 августа 2022 года N 811 : Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 7 октября 2022 года, рег. N 70433 / Министерство энергетики РФ; Министр Шульгинов Н.Г. – [М.]: Кодекс, 2022. – 26 с.

4. WELMEC Guide 7.2: Software Guide (EU Measuring Instruments Directive 2014/32/EU). – Текст: электронный. – Version 2025. – [Braunschweig]: WELMEC e.V., 2025. – 164 с. – URL: https://www.welmec.org/welmec/documents/guides/7.2/2025/WELMEC_Guide_7.2_2025.pdf (дата обращения: 14.10.2025).

5. Алмазов-Долженко К.И. Коэффициент шума и его измерение на СВЧ. – М.: Научный мир, 2000. – 240 с.

6. Белоусов А.П., Каменецкий Ю.А. Коэффициент шума. – М.: «Радио и связь», 1981. – 112 с.