



ИЗМЕРИТЕЛИ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

X5M-04/X5M-18

Руководство по эксплуатации

Часть I. Общие сведения

ЖНКЮ.468166.021 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		9
3 Требования безопасности		11
4 Описание X5M и принципов его работы		15
4.1 Назначение		15
4.2 Условия окружающей среды.....		16
4.3 Состав		18
4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации		19
4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности.....		23
4.6 Технические характеристики		24
4.7 Устройство и работа X5M.....		31
4.7.1 Структура		31
4.7.2 Особенности работы		35
5 Подготовка к работе		37
5.1 Эксплуатационные ограничения		37
5.2 Требования к рабочему месту		38
5.3 Контрольно-профилактические работы.....		38
5.3.1 Общие сведения о соединителях		38
5.3.2 Проверка внешнего вида		41
5.3.3 Чистка коаксиальных соединителей		43
5.3.4 Измерение присоединительных размеров		45
5.3.4.1 Калибровка.....		46
5.3.4.2 Проверка размера «А» соединителей.....		47
5.3.5 Сочленение коаксиальных соединителей.....		49
5.3.6 Расчленение коаксиальных соединителей.....		51
6 Средства измерений, инструменты и принадлежности		52
6.1 Обзор.....		52
6.2 Общие сведения о генераторах шума		54
6.2.1 Принципы работы и разновидности ГШ		54
6.2.2 Выбор генераторов шума		55
7 Порядок работы		57
7.1 Расположение органов управления и присоединения.....		57
7.1.1 Передняя панель		57
7.1.2 Задняя панель.....		60
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	67
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.....	70
11.3.1 Распаковывание	70
11.3.2 Повторное упаковывание	71
12 Маркировка и пломбирование	72
13 Гарантии предприятия-изготовителя	73
14 Утилизация.....	73
Приложение А (обязательное) Основные виды измерений и формулы.....	74
А.1 Исключение/встраивание цепей, компенсация	74
А.2 Общие формулы шумовых измерений.....	75
А.3 Режим «Модуляционный метод».....	77
А.4 Режим «Метод двух отсчетов».....	79
А.5 Режим «Градуировка генераторов шума»	80
А.6 Измерения с преобразованием частоты	80
Приложение Б (справочное) Краткая теория по измерению коэффициента шума	81
Приложение В (справочное) Обзор факторов, влияющих на погрешность измерений.....	86
В.1 Общие сведения о погрешностях измерений КШ.....	86
В.2 Факторы, влияющие на погрешность	87
Приложение Г (справочное) Оценка пределов абсолютной погрешности измерения КШ и КП	96
Приложение Д (справочное) Библиография.....	100

Измерители коэффициента шума Х5М-04 выпускаются по техническим условиям ЖНКЮ.468166.021 ТУ.

Измерители коэффициента шума Х5М-18 выпускаются по техническим условиям ЖНКЮ.468166.011.

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения устройства, принципа действия, правил использования, транспортирования и хранения измерителей коэффициента шума Х5М-04, Х5М-18 (далее – измеритель, или Х5М¹⁾). Целью изучения является обеспечение безопасных для жизни и здоровья условий труда, уменьшение вероятности выхода из строя Х5М, 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» → «Измерители коэффициента шума ...» → 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 Х5М, приведены условия эксплуатации, транспортирования и хранения.

Во второй части приведена информация по работе с Х5М, описание и установка программного обеспечения, методики калибровки и порядок проведения измерений.

Перед началом эксплуатации Х5М необходимо ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

Год изготовления Х5М должен быть указан на его задней панели и/или в его формуляре.

Предприятие-изготовитель оставляет за собой право, не уведомляя потребителя, вносить в конструкцию Х5М изменения, не влияющие на их метрологические характеристики.

¹⁾Здесь и далее по тексту при использовании термина «измеритель», или обозначения «Х5М», описание операций, требований и т.д. относится ко всем исполнениям и модификациям Х5М-04 и Х5М-18. 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, Х5М-18/2.

❗ Внимание! Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации X5M, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.

К эксплуатации X5M 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 X5M 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 сосудах 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 8.475-82 Стандартный коэффициент шума и эквивалентная шумовая температура усилительных и приёмных устройств. Методика выполнения измерений.

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 14254-2015 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).

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

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

ГОСТ 27883 Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность.

ГОСТ 30804.4.2–2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний.

ГОСТ 30804.4.4–2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний.

ГОСТ 30804.4.11–2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний.

ГОСТ 30805.22–2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений.

ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

ГОСТ Р 51317.4.2-99 Совместимость технических средств электромаг-

нитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.4.4-2007 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.4.5-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.4.11-2007 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 51318.22-2006 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений.

ГОСТ Р 51318.24-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость оборудования информационных технологий к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний.

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

ГОСТ CISPR 24-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Устойчивость к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний.

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).

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:

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

измеритель (или X5M): Измеритель коэффициента шума X5M-04 или X5M-18.

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 X5M).

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.

АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

ВЧ– высокие частоты.

ГШ – генератор шума.

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

ИКШ – измеритель коэффициента шума (измеритель).

ИОШТ – избыточная относительная шумовая температура.

ИПР – измеритель присоединительных размеров.

ИУ – исследуемое устройство.

КП – коэффициент передачи.

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению.

КШ – коэффициент шума.

ЛПД – лавинопролетный диод.

НГШ – низкотемпературный генератор шума.

ОГ – опорный генератор.

ОС – операционная система.

ПК – персональный компьютер.

ПО – программное обеспечение.

ПЧ – промежуточная частота.

РЭ – руководство по эксплуатации.

СВЧ – сверхвысокие частоты.

СКП – собственный коэффициент передачи.

СКШ – собственный коэффициент шума.

СИ – средство измерения.

СН – согласованная нагрузка.

СПМШ – спектральная плотность мощности шума.

ССКП – среднеквадратическая погрешность.

СЧ – синтезатор частот.

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика.

ФНЧ – фильтр нижних частот.

ЭД – эксплуатационная документация.

ЭДС – электродвижущая сила.

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

3 Требования безопасности

❗ Внимание! *Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации X5M, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.*

При эксплуатации X5M необходимо соблюдать «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» [2], «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии» [3] актуальные на момент использования X5M.

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 X5M возможно поражение электрическим током.*

В измерительном блоке X5M присутствует напряжение ~ 220 В 50 Гц 1 А, поэтому при эксплуатации и контрольно-профилактических работах, проводимых с X5M, строго соблюдайте соответствующие меры предосторожности:

- запрещается включать в сеть электропитания незаземлённый X5M;
- перед работой необходимо проверить наличие системы защитного заземления;
- перед подключением X5M 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 X5M, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с зануленным зажимом питающей сети);
- по окончании работы и отключения X5M от сети электропитания и от других приборов клемму защитного заземления следует отсоединить от системы заземления или зануления;
- запрещается заземлять X5M 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 заземления в розетке действительно обеспечивает требуемое сопротивление заземления;

❗ Внимание! При появлении запаха гари, дыма и т.п. незамедлительно обесточить X5M!

i При попадании статического разряда на X5M 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 X5M от сети питания и от других приборов;
- запрещается подавать на вход « СВЧ» X5M мощность и постоянное напряжение, превышающие значения, указанные на передней панели X5M рядом со знаком  (в случае превышения мощности на входе X5M в программе управления на левой 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 X5M, 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 X5M не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к X5M 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 X5M! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

❗ При изменении сетевых настроек X5M через Web-интерфейс во избежание поломки X5M 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 X5M 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 «→ СВЧ» генераторе шума может привести к неработоспособности последнего!

❗ Внимание: неправильная подача сигналов на сервисный соединитель ПРОГРАММАТОР может привести к неработоспособности X5M!

❗ 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 X5M 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 X5M 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 X5M между рабочими местами, а также при длительном простое, коаксиальные соединители X5M 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 конденсата 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 X5M и принципов его работы

4.1 Назначение

Наименование: Измерители коэффициента шума X5M-04, Измерители коэффициента шума X5M-18.

Обозначение: ЖНКЮ.468166.021 для X5M-04 и ЖНКЮ.468166.011 для X5M-18.

Номер свидетельства об утверждении типа средства измерений: 40363 для X5M-04 и 46750/1 для X5M-18.

Регистрационный номер по Государственному реестру СИ: 44825-10 для X5M-04, и 50067-12 для X5M-18.

Измерители коэффициента шума X5M предназначены для измерений КШ и КП (а также связанных с ними величин: шумовой температуры, относительного (условного) уровня мощности) приемно-усилительных, и других радиотехнических устройств, а также для градуировки ГШ, в коаксиальном тракте с волновым сопротивлением 50 Ом с диаметрами поперечных сечений 7,0/3,04 мм и 3,5/1,52 мм с соединителями типов III, N, IX (вариант 1 и вариант 3), 3,5 мм и SMA.

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. X5M 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.

Измерители коэффициента шума 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.).

X5M 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 X5M и отображение результатов измерений (не входит в комплект поставки); для связи с ПК используется интерфейс *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*. Для управления X5M предназначено ПО *Graphit* (программа управления); а с целью обеспечения возможности автоматизации измерений для внешнего управления X5M 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 X5M 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, °C:	
нижнее значение	15
верхнее значение	25
Относительная влажность воздуха, %, не более	80
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84–106 (630–795)

Измерители коэффициента шума X5M-04 соответствуют группе 3 по ГОСТ 22261: являются устойчивыми к воздействию внешних климатических факторов в рабочих условиях применения, и прочными к воздействию внешних климатических факторов в предельных условиях транспортирования, а также обладают прочностью к внешним механическим воздействиям при транспортировании в транспортной таре. Рабочие и предельные значения внешних воздействующих факторов для X5M-04 приведены.

Рабочие условия применения (эксплуатации) X5M-04 для режимов «Модуляционный метод» и «Метод двух отсчетов» 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 X5M); в остальных случаях, а также для режима «Градуировка генераторов шума», рабочие условия применения должны соответствовать нормальным условиям согласно табли-

це 4.1.

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

Т а б л и ц а 4.2 – Рабочие условия применения и предельные условия транспортирования X5M-04

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение
1 Повышенная температура среды	Рабочая температура, °С	+ 35
	Предельная температура, °С	+ 70
2 Пониженная температура среды	Рабочая температура, °С	+ 15
	Предельная температура, °С	– 50
3 Повышенная влажность воздуха	При эксплуатации (Т=25 °С), %, не более	80
	При транспортировании (Т=30 °С), %, не более	95
4 Атмосферное давление	Пониженное давление, мм рт. ст.	630
	Повышенное давление, мм рт. ст.	800
5 Транспортная тряска	Число ударов в минуту	от 80 до 120
	Максимальное ускорение, м/с ² (g)	30 (3)
	Общее число ударов	4000

Т а б л и ц а 4.3 – Рабочие условия применения (климатические воздействия) X5M-18

Влияющая величина	Значение влияющей величины
Температура окружающего воздуха, °С: нижнее значение	5
верхнее значение	40
Относительная влажность воздуха при 25 °С, %	90
Атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)	70–106,7 (537–800)

Т а б л и ц а 4.4 – Предельные условия транспортирования X5M-18

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.)	70–106,7 (537–800)
Механические удары многократного действия (при условии, что X5M-18 в транспортной упа-	

Влияющая величина	Значение влияющей величины
ковке)	
максимальное ускорение, м/с ²	150
продолжительность воздействия, мс	6
число ударов	4000
число ударов в минуту	от 80 до 120

4.3 Состав

Комплектность X5M приведена в таблицах 4.5–4.6.

Т а б л и ц а 4.5 – Комплект поставки X5M-04

Наименование, тип	Обозначение	Кол., шт.	Примечание
Измеритель коэффициента шума X5M-04/1, X5M-04/2, X5M-04/3, X5M-04/4	ЖНКЮ.468166.021	1	модификация определяется при заказе
Кабель СВЧ	ЖНКЮ.685661.003-03	1	—
Кабель соединительный	—	1	—
Переход коаксиальный ПК2-18-01Р-11	ЖНКЮ.468562.016-01	1	поставляется по согласованию с потребителем
Кабель Ethernet	ЖНКЮ.685611.077	1	патч-корд Cat.5e или аналог
Кабель питания	ЖНКЮ.685631.067	1	с заземляющим проводником, евростандарт
Руководство по эксплуатации	ЖНКЮ.468166.021 РЭ	1	—
Формуляр	ЖНКЮ.468166.021 ФО	1	—
Методика поверки	ЖНКЮ.468166.021 ДЗ	1	—
Программа управления X5M*	ЖНКЮ.02010-00	1	поставляется на отдельном цифровом носителе
Упаковка	ЖНКЮ.305639.004	1	—
*Под программным обеспечением здесь следует понимать прикладное программное обеспечение. Последнюю версию программного обеспечения можно найти на официальном сайте предприятия-производителя www.micran.ru .			

Т а б л и ц а 4.6 – Комплект поставки X5M-18

Наименование	Обозначение	Кол., шт.	Примечание
Измеритель коэффициента шума*	ЖНКЮ.468166.011ТУ	1	Модификация определяется при заказе

Наименование	Обозначение	Кол., шт.	Примечание
Кабель	ЖНКЮ.685671.078	1	Для электропитания ГШ
Кабель Ethernet	ЖНКЮ.685611.077	1	Патч-корд Category 5е или аналог
Кабель питания	ЖНКЮ.685631.067	1	С заземляющим проводником, евростандарт
Руководство по эксплуатации	ЖНКЮ.468166.011РЭ	1	Три части
Формуляр	ЖНКЮ.468166.011ФО	1	—
Методика поверки	ЖНКЮ.468166.011ДЗ	1	—
Программное обеспечение**	ЖНКЮ.02010-00	1	Поставляется на цифровом носителе
Упаковка	ЖНКЮ.305648.012	1	—
*Одна из возможных модификаций Х5М-18. **Под программным обеспечением здесь следует понимать прикладное программное обеспечение. Последнюю версию программного обеспечения можно найти на официальном сайте предприятия-производителя www.micran.ru.			

4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации

Общий вид Х5М (вид конкретного Х5М может незначительно отличаться) приведен на рисунках 4.1–4.4. Каждая модификация характеризуется определенным набором конструктивных особенностей и возможностей (аппаратных опций), определяющих функциональные возможности Х5М. Модификации Х5М с указанием соответствующих им наборов опций, а также описание опций, приведены в таблицах 4.7–4.9.



Рисунок 4.1 – Внешний вид передней панели X5M-04: а) X5M-04/1, X5M-04/2; б) X5M-04/3, X5M-04/4



Рисунок 4.2 – Общий внешний вид задней панели X5M-04 со схемой пломбировки от несанкционированного доступа

Место нанесения пломбы от несанкционированного доступа



Рисунок 4.4 – Общий вид задней панели X5M-18 со схемой пломбировки от несанкционированного доступа

Таблица 4.8 – Модификации X5M-18

Наименование	Примечание
Измеритель коэффициента шума X5M-18/1	опция «11Р»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/2	опции «11Р», «АТА/70»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/3	опции «11Р», «АПА»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/4	опции «11Р», «АТА/70», «АПА»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/5	опция «13Н»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/6	опции «13Н», «АТА/70»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/7	опции «13Н», «АПА»
Измеритель коэффициента шума X5M-18/8	опции «13Н», «АТА/70», «АПА»

Таблица 4.9 – Описание опций X5M

Опция	Описание
«11Р»	На измерительном входе СВЧ установлен соединитель типа N, розетка ¹⁾ . Исключает опцию «13Н»

Опция	Описание
«13Н»	На измерительном входе СВЧ установлен соединитель типа <i>NMD</i> 3,5 мм, вилка ¹⁾ . Исключает опцию «11Р»
«АПА»	Встроен адаптер питания для подачи электропитания на исследуемое устройство через соединитель измерительного входа СВЧ
«АТА» или «АТА/70»	На измерительный вход СВЧ встроен высокочастотный (ВЧ) ступенчатый аттенюатор для исследования устройств с большим коэффициентом передачи
¹⁾ По IEEE Std 287; 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.	

4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности

По помехоэмиссии X5M-04 соответствует классу А по ГОСТ Р 51318.22.

X5M-04 устойчив к электростатическим разрядам со степенью жесткости испытаний 1 по ГОСТ Р 51317.4.2. X5M-04 соответствует критерию качества функционирования В по ГОСТ Р 51318.24.

X5M-04 устойчив к наносекундным импульсным помехам со степенью жесткости испытаний 1 по ГОСТ Р 51317.4.4. X5M-04 соответствует критерию качества функционирования В по ГОСТ Р 51318.24.

По уровню излучаемых промышленных радиопомех X5M-04 соответствует классу А по ГОСТ Р 51318.22.

X5M-04 устойчивым к микросекундным импульсным помехам большой энергии по цепям электропитания переменного тока со степенью жесткости 2 по ГОСТ Р 51317.4.5. Измеритель должен соответствовать критерию качества функционирования В по ГОСТ Р 51318.24.

X5M-04 устойчив к динамическим изменениям напряжения электропитания (прерываниям, провалам и выбросам напряжения) при электромагнитной обстановке класса 2 по ГОСТ Р 51317.4.11. X5M-04 соответствует критерию качества функционирования В по ГОСТ Р 51318.24.

Измерители коэффициента шума X5M-18 являются устойчивыми к воздействию внешних климатических факторов в рабочих условиях применения согласно таблице 4.3, и прочными к воздействию внешних климатических и механических факторов в предельных условиях транспортирования согласно таблице 4.4.

X5M-18 по помехоэмиссии соответствует классу А по ГОСТ 30805.22.

X5M-18 устойчив к электростатическим разрядам со степенью жесткости испытаний 1 по ГОСТ 30804.4.2. Критерий качества функционирования В по

ГОСТ CISPR 24.

X5M-18 устойчивым к наносекундным импульсным помехам со степенью жесткости испытаний 1 по ГОСТ 30804.4.4. Критерий качества функционирования В по ГОСТ CISPR 24.

X5M-18 по уровню излучаемых промышленных радиопомех соответствует классу А ГОСТ 30805.22.

X5M-18 быть устойчив к микросекундным импульсным помехам большой энергии по цепям электропитания переменного тока со степенью жесткости испытаний 2 по ГОСТ Р 51317.4.5. Критерий качества функционирования В по ГОСТ CISPR 24.

X5M-18 устойчив к динамическим изменениям напряжения электропитания (прерываниям, провалам и выбросам напряжения) со степенью жесткости испытаний 2 по ГОСТ 30804.4.11. Критерий качества функционирования В по ГОСТ CISPR 24.

4.6 Технические характеристики

Гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.10 и 4.11 с допусками или предельными значениями. Значения величин без допусков являются справочными. Далее представлены основные справочные и гарантированные характеристики X5M (см. таблицы 4.10–4.12).

Для внешнего управления X5M 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 X5M сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д.

Т а б л и ц а 4.10 – Основные характеристики назначения для X5M-04

Наименование характеристики	Значение
1 Диапазон рабочих частот, МГц	от 10 до 4000
2 Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты внутреннего опорного генератора в течение одного года	$\pm 2,5 \times 10^{-6}$
3 Пределы допускаемой относительной погрешности установки (настройки) частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
4 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты синусоидального сигнала (нормируются	$\pm (2 \cdot 10^{-5} f + 5)$

при полосе пропускания селективного фильтра 100 кГц), кГц, где f – частота входного сигнала, кГц	
5 Ширина полосы пропускания селективных фильтров, МГц	0,1; 0,3; 1,0 и 3,0
6 Диапазон измерений коэффициента шума, дБ при ИОШТ ГШ от 4 до 7 дБ при ИОШТ ГШ от 12 до 17 дБ при ИОШТ ГШ от 20 до 22 дБ	от 0 до 15 от 0 до 24 от 0 до 30
7 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента шума из-за нелинейности измерительного тракта, дБ	$\pm 0,1$
8 Нестабильность результатов измерения коэффициента шума в течение 10 минут после установления рабочего режима (при отклонении температуры окружающей среды не более ± 1 °С), дБ, не более	$\pm 0,05$
9 Диапазон измерений коэффициента передачи, дБ	от минус 20 до плюс 30
10 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента передачи из-за нелинейности измерительного тракта, дБ	$\pm 0,15$
11 Пределы абсолютной погрешности измерения коэффициента передачи, обусловленной переключением аттенюатора ПЧ, дБ	$\pm 0,2$
12 Предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной погрешности измерения коэффициента передачи, дБ	0,03
13 Диапазон ослаблений аттенюатора ПЧ с шагом 2 дБ, дБ	от 0 до 36
14 Диапазон ослаблений аттенюатора ВЧ с шагом 10 дБ для опции «АТА», дБ	от 0 до 70
15 Собственный коэффициент шума (в диапазоне температур (20 ± 5) °С), дБ, не более	8
16 Собственный коэффициент шума для опций «АТА» и/или «АПА», шума (в диапазоне температур (20 ± 5) °С), дБ, не более	10
17 Изменение собственного коэффициента шума при изменении температуры окружающей среды в пределах рабочих условий эксплуатации, дБ, не более	± 3
18 Пределы допускаемой погрешности градуировки генераторов шума (без учета погрешностей из-за рассогласования радиоизмерительного тракта и ИОШТ используемого в качестве эталона генератора шума), дБ	$\pm 0,1$

19 Номинальное значение входного сопротивления, Ом	50
20 Тип соединителя входа СВЧ	N, розетка ¹⁾
21 КСВН входа СВЧ, не более	1,8
22 КСВН входа СВЧ для опций «АТА» и/или «АПА», не более	2,0
23 Тип соединителя выхода питания генератора шума	BNC, розетка
24 Напряжение питания генератора шума, В	28±0,2
25 Время установления рабочего режима, ч, не более	1
26 Продолжительность непрерывной работы, ч, не менее	16
27 Минимальный временной интервал между циклами непрерывной работы должен быть, ч, не более	2
28 Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм, не более	380×275×170
29 Масса, кг, не более	9
30 Напряжение питания от сети переменного тока частотой 50 Гц, В ²⁾	от 198 до 242
31 Потребляемая мощность, ВА, не более	50
32 Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP 20
33 Условия эксплуатации	группа 3 по ГОСТ 22261-94
34 Показатели надежности: средний срок службы, лет средняя наработка на отказ, ч, не менее	5 10 000
¹⁾ 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.	
²⁾ Сеть электропитания переменного тока должна соответствовать ГОСТ 32144.	

Т а б л и ц а 4.11 – Основные характеристики назначения для X5M-18

Наименование характеристики	Значение
1 Тип соединителя входа СВЧ для опции «11P»	N, розетка ¹⁾
2 Тип соединителя входа СВЧ для опции «13H»	NMD 3,5 мм, вилка ¹⁾
3 Диапазон рабочих частот X5M-18 с опцией «11P», МГц	от 50 ²⁾ до 18000
4 Диапазон рабочих частот X5M-18 с опцией «13H», МГц	от 50 ²⁾ до 20000
5 Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты	±2·10 ⁻⁵
6 Пределы допускаемой относительной погрешности	±2,5·10 ⁻⁶

установки частоты внутреннего ОГ	
7 Пределы допускаемого изменения частоты внутреннего ОГ в диапазоне рабочих температур	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$
8 Номинальные значения ширины полосы пропускания селективных фильтров по уровню минус 3 дБ должны выбираться из ряда, МГц	0,1; 0,3; 1,0; 3,0
9 Пределы допускаемой относительной погрешности установки полосы пропускания селективных фильтров, %	± 10
10 Диапазон измерений коэффициента шума, дБ при ИОШТ ГШ от 4 до 7 дБ при ИОШТ ГШ от 12 до 17 дБ при ИОШТ ГШ от 20 до 22 дБ	от 0 до 15 от 0 до 24 от 0 до 30
11 Пределы допускаемой абсолютной систематической погрешности измерений коэффициента шума, дБ	$\pm 0,1^{3)}$
12 Пределы допускаемой абсолютной систематической погрешности измерения коэффициента передачи в районе срабатывания индикатора ПЕРЕГРУЗКА	$\pm 0,1^{3)}$
13 Пределы погрешности модуляционного режима ⁴⁾ , дБ	$\pm 0,08$
14 Характеристики нестабильности результатов измерений КШ: а) предел допускаемого СКО случайной погрешности измерений СКШ (при степени усреднения 18 и ширине полосы селективного фильтра 3 МГц), дБ; б) отличие расчетного СКО от СКО, полученного на основе измерений, не более; в) нестабильность результатов измерений КШ (т.е. предел допускаемого смещения среднего значения результатов измерений КШ (нестабильности)) в течение 10 мин после установления рабочего режима (при изменении температуры окружающей среды на величину не более 1 °С), дБ, не более	0,06 в два раза 0,1
15 Диапазон измерений коэффициента передачи, дБ	от минус 20 до плюс 30
16 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения систематической погрешности измерений коэффициента передачи, дБ	$\pm 0,15^{2)}$
17 Характеристики нестабильности результатов измерений КП: а) предел допускаемого СКО случайной погрешности измерений КП (при степени усреднения 13 и ширине полосы селективного фильтра 3 МГц), дБ;	0,06

б) предел допускаемого смещения результата «калибровки» за 30 с при измерениях КП (под «калибровкой» понимается калибровка в режиме «Модуляционный метод» см. п. Приложение Б), дБ	0,2
в) нестабильность СКП за 10 мин, дБ, не более	0,5
18 Минимальный диапазон ослаблений аттенюатора ПЧ, дБ, с шагом 2 дБ	от 0 до 20
19 Диапазон ослаблений аттенюатора ВЧ с шагом 10 дБ для опции «АТА/70» (пределы допускаемой погрешности приращения уровня входной мощности для каждого шага переключения ослабления аттенюатора ВЧ не более ± 2 дБ), дБ	от 0 до 70
20 СКШ Х5М-18 без опций «АТА/70» и «АПА»: дБ, не более, в поддиапазонах частот ⁵⁾ : - от 10 до 50 МГц; - св. 50 до 3200 МГц; - св. 3200 до 16000 МГц; - св. 16000 до 18000 МГц; - св. 18000 до 20000 МГц	18 9 8 11 14
21 СКШ Х5М-18 с опцией «АТА/70» и / или «АПА»: дБ, не более, в поддиапазонах частот ⁵⁾ : - от 10 до 50 МГц; - св. 50 до 3200 МГц; - св. 3200 до 16000 МГц; - св. 16000 до 18000 МГц; - св. 18000 до 20000 МГц	19 10 12 12 14
22 Пределы допускаемых изменений СКШ в рабочих условиях эксплуатации, дБ	± 3
23 Пределы допускаемой погрешности градуировки ГШ ⁶⁾	0,25
24 Номинальное значение входного сопротивления, Ом	50
25 КСВН входа «→ СВЧ» Х5М-18 без опций «АТА/70» и «АПА» в поддиапазонах частот, не более ²⁾ - от 10 до 50 МГц; - св. 50 до 3200 МГц; - св. 3200 до 16000 МГц; - св. 16000 до 18000 МГц; - св. 18000 до 20000 МГц	2,8 1,8 1,8 2,0 2,7
26 КСВН входа «→ СВЧ» Х5М-18 с опцией «АТА/70» и/или «АПА» в поддиапазонах частот, не более ²⁾ - от 10 до 50 МГц;	2,8

- св. 50 до 3200 МГц;	1,8
- св. 3200 до 16000 МГц;	1,8
- св. 16000 до 18000 МГц;	2,0
- св. 18000 до 20000 МГц	2,7
27 Напряжение питания ГШ на выходе ГЕНЕРАТОР ШУМА, В (при максимальном токе не более 100 мА): - во включенном состоянии - в выключенном состоянии	28,00 ± 0,28 менее 0,50
28 Максимальная рабочая мощность ⁷⁾ на входе «  СВЧ» X5M-18 при подаче синусоидального сигнала и максимальном ослаблении аттенюатора ПЧ, дБм, не менее	- 48
29 Максимальная допустимая мощность на входе «  СВЧ» X5M-18, дБм, не более	- 10
30 Допустимый диапазон постоянного напряжения на входе «  СВЧ» X5M-18, В	от - 5 до 5
31 Напряжение питания от сети переменного тока частотой 50 Гц, В ⁸⁾	от 198 до 242
32 Потребляемая мощность, В·А, не более	250
33 Время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапазоне с требуемой степенью усреднения, ч, не более	0,5
34 Максимальное время непрерывной работы X5M-18 в рабочих условиях эксплуатации (не включая время установления рабочего режима) при сохранении технических характеристик X5M-18 в пределах норм, ч, не менее	16
35 Минимальный временной интервал между циклами непрерывной работы, ч, не более	2
36 Показатели надежности (в соответствии с ГОСТ 27883): средний срок службы, лет, не менее средняя наработка на отказ, ч, не менее	5 10 000
37 Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP 20
38 Габаритные размеры (H×B×L), мм, не более	210×400×430
39 Масса, кг, не более	20
¹⁾ 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. ²⁾ Собственный коэффициент шума и КСВН входа «  СВЧ» нормируются в диапазонах частот от 10 до 18000 МГц для опции «11Р» и от 10 до 20000 МГц для опции «13Н», для температуры (20 ± 5) °С.	

³⁾Без учета погрешности из-за рассогласования радиоизмерительного тракта.

⁴⁾Отличие КШ, измеренного с использованием модуляционного метода (с автоматическим управлением ГШ), от КШ, измеренного с использованием метода двух отсчетов (с ручным управлением ГШ).

⁵⁾СКШ нормируется для температуры $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

⁶⁾Без учета погрешностей из-за рассогласования радиоизмерительного тракта и ИОШТ используемого в качестве эталона ГШ.

⁷⁾Мощность контролируется по показаниям самого измерителя.

⁸⁾Сеть электропитания переменного тока должна соответствовать ГОСТ 32144.

Т а б л и ц а 4.12 – Дополнительные характеристики X5M

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 X5M), Ом	50
5 Номинальное сопротивление выхода внутреннего ОГ (выход «ОГ  » на задней панели X5M), 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 $\pm$ 0,4 255 $\pm$ 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) $1,0 \pm 0,4$
8 Тип соединителей входа/выхода синхронизации, входа/выхода сигналов ОГ, выходов ГЕНЕРАТОР ШУМА и «ГШ 2 →»	BNC, розетка
9 Тип соединителя ПРОГРАММАТОР	DB-9
10 Тип соединителей входа/выхода промежуточной частоты 70 МГц	SMA, розетка

4.7 Устройство и работа X5M

4.7.1 Структура

X5M 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. X5M 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 X5M за счёт внедрения программных опций. Открытый программный интерфейс, совместимый со стандартом *IVI-COM*, дает возможность пользователю управлять X5M сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д. Адаптивная система синхронизации позволяет обеспечить совместную работу X5M с другими приборами в составе измерительных комплексов.

Компьютер обеспечивает панорамное отображение результата измерений и выполняет ряд вычислительных функций. Связь между X5M и компьютером осуществляется по протоколу *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*.

Упрощенная структурная схема для X5M приведена на рисунке 4.5. 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 X5M. Более подробная структурная схема X5M-18 приведена на рисунке 4.6.

Основу представленных схем составляет линейный тракт Х5М, задачей которого является прием исследуемого сигнала и преобразование его в форму, удобную для оцифровки и дальнейшего анализа. При этом крайне важно, чтобы искажения сигнала, вносимые самим Х5М, были минимальными, а диапазон принимаемых уровней – максимальным.

В процессе измерений происходит сканирование входного спектра, переносимого на фиксированную промежуточную частоту с помощью преобразователя частоты (см. рисунок 4.5, преобразователь частоты представляет собой радиоприемный тракт, собранный по супергетеродинной схеме, и предназначен для преобразования частоты входного сигнала, усиления и фильтрации) посредством непрерывной перестройки частоты первого гетеродина. Также следует отметить, что все преобразователи частоты в Х5М-18 работают на основных (первых) гармониках сигнала.

В схеме линейного тракта можно условно выделить две части: блок СВЧ тракта и блок промежуточной частоты.

Поскольку для Х5М-18 весь диапазон входных частот составляет несколько декад, перенести его на ПЧ в одном приемном тракте весьма затруднительно. Поэтому в СВЧ блоке он разбивается на два поддиапазона, каждый из которых имеет свой частотный план и принимается по отдельному тракту вплоть до переноса на общую ПЧ. Переключение на прием того или иного диапазона происходит автоматически в процессе сканирования с помощью управляемых переключателей. Верхний поддиапазон (3,2–20 ГГц) дважды преобразуется с понижением частоты, сначала на 1070, а затем на 70 МГц.

Нижний поддиапазон (0,01–3,2 ГГц) предварительно переносится на более высокую промежуточную частоту 4570 МГц. В блоке ПЧ после переноса обоих поддиапазонов на частоту 1070 МГц тракт становится общим.

В Х5М-04 также используется трехкратное преобразование частоты. В качестве сигналов гетеродинов используются сигналы из блока синтезаторов частот. Первое преобразование выполняется при качании частоты первого гетеродина и фиксированной промежуточной частоты, во втором и третьем преобразовании – частоты гетеродинов и промежуточные частоты фиксированы.

Для Х5М-18 в качестве преселектора в тракте нижнего поддиапазона установлен ФНЧ с частотой среза 4 ГГц, в тракте верхнего – перестраиваемый полосовой фильтр на основе монокристаллов железоиттриевого граната (ЖИГ), полоса перестройки которого составляет от 3 до 20 ГГц. В обоих случаях гетеродином служит перестраиваемый синтезатор с управляемым ЖИГ-генератором, работающий в полосе 3–8 ГГц. На выходе синтезатора ЖИГ также установлен переключатель (ПЕР3-8), автоматический переключающий сигнал гетеродина на смеситель того или иного поддиапазона.

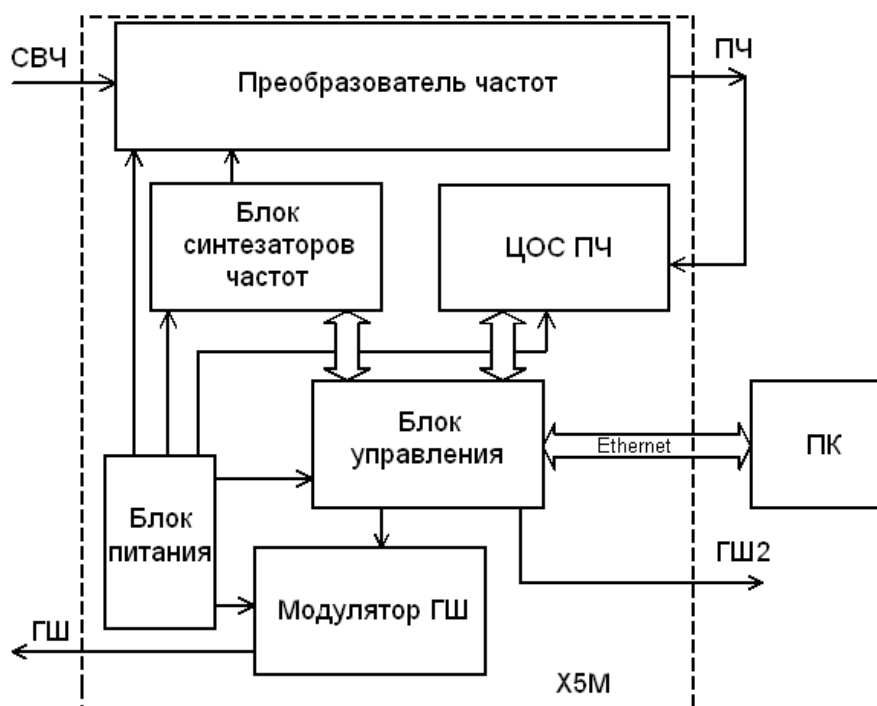


Рисунок 4.5 – Общая структурная схема X5M

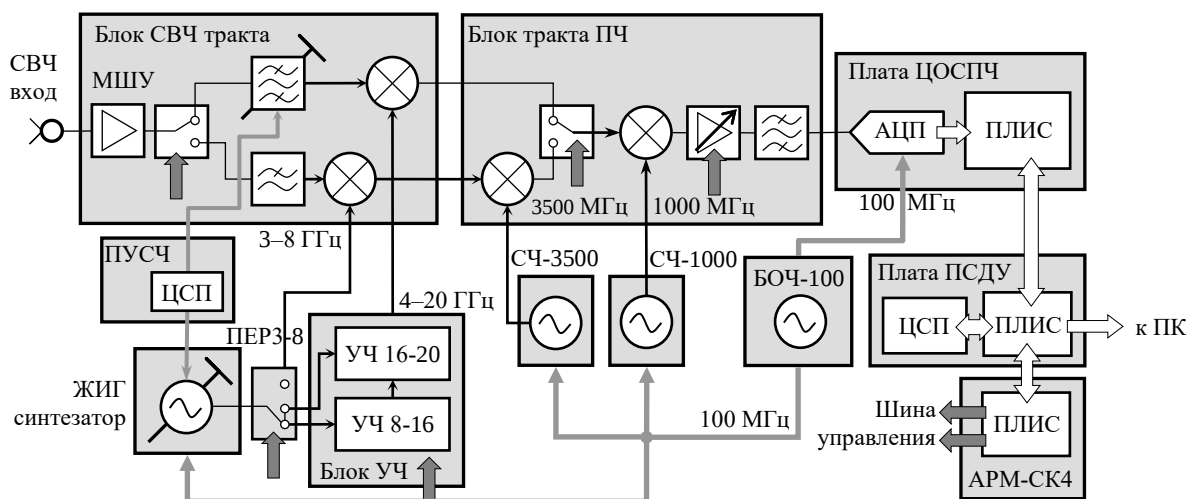


Рисунок 4.6 – Упрощенная структурная схема X5M-18

Полоса перестройки первого гетеродина X5M-18 для нижнего поддиапазона составляет 4580–7770 МГц, поэтому сигнал с выхода переключателя можно сразу подавать на смеситель. В преобразователе верхнего поддиапазона для уменьшения полосы перестройки гетеродин в процессе сканирования переключается с верхнего преобразования на нижнее, и перестраивается, таким обра-

зом, в полосе 4,27–20 ГГц. Для обеспечения такой широкой полосы между синтезатором и смесителем установлен блок умножителей частоты (УЧ 8-16 и УЧ 16-20). Каждый из них представляет собой частотный удвоитель с установленным переключателем на выходе. Переключатели служат для объединения всех полос, образуемых в результате умножения в один сигнал с полосой 4–20 ГГц, и работают автоматически по определенному алгоритму в процессе перестройки гетеродина.

Для обеспечения синхронной перестройки преселектора и синтезатора в схеме для Х5М-18 предусмотрена плата управления синтезатором частот (плата ПУСЧ), имеющая собственный цифровой процессор и драйверы, управляющие частотой ЖИГ-кристаллов.

Гетеродином второго преобразователя нижнего поддиапазона Х5М-18 служит синтезатор СЧ-3500, генерирующий колебания с частотой 3500 МГц. В общем приемном тракте принимаемый сигнал переносится с частоты 1070 МГц на последнюю ПЧ, равную 70 МГц, с помощью аналогичного синтезированного гетеродина СЧ-1000.

Синхронизация (захват) гетеродинов обеспечивается с помощью опорного сигнала с частотой 100 МГц, генерируемого блоком опорной частоты БОЧ-100. Блок имеет высокостабильный термостатированный генератор с фазовой автоподстройкой частоты и возможностью синхронизации от внешнего источника.

Для обеспечения необходимого динамического диапазона и поддержания требуемого уровня принимаемого сигнала в линейном тракте предусмотрены шаговый СВЧ аттенюатор на входе и управляемый усилитель-аттенюатор на выходе.

Далее сигнал ПЧ передается на плату цифровой обработки сигналов (плата ЦОСПЧ), где он преобразуется в цифровую форму с помощью 16-разрядного АЦП с частотой выборки 100 МГц. Сигнал дискретизации также подается с модуля БОЧ-100. Затем высокоскоростной цифровой поток с выхода АЦП передается на программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), выполняющую основные алгоритмы предварительной обработки цифровых данных (например цифровых селективных фильтров ПЧ), после чего передается на плату сбора данных и управления (плата ПСДУ).

Плата автоматической регулировки мощности (плата АРМ-СК4) принимает сигналы перегрузки с детекторов, установленных в определенных точках линейного тракта, и служащих для контроля уровня принимаемого сигнала. Эти данные обрабатываются в ПЛИС, имеющейся на плате, после чего там формируются команды управления усилителями и аттенюаторами, поддерживающими уровень сигнала приемлемым. Отсюда же по шине *IDE* передаются сигналы управления переключателями (управление поддиапазонами, сигналом синтезатора, блоком умножителей частоты).

Плата ПСДУ является главным узлом, объединяющим работу блока циф-

ровой обработки сигналов и узлов управления X5M. На плате имеется цифровой сигнальный процессор (DSP) с ОЗУ, управляющий схемами ПЛИС плат ЦОСПЧ и АРМ-СК4. Взаимодействие между этими блоками, а также платой ПУСЧ осуществляется замкнутым сигнальным кольцом LVDS, по которому передаются определенные команды и данные. Здесь же осуществлен интерфейс с компьютером через сеть *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*.

При наличии опции «АТА» или «АТА/70» на вход X5M СВЧ устанавливается программно-управляемый ступенчатый аттенуатор.

В X5M предусмотрены вход и выход цифровой синхронизации, расположенные на задней панели, для работы в комплексе с другими приборами. Импульс, поступающий на вход синхронизации, может инициировать начала развертки по частоте, измерений или переход к следующей частотной точке. Импульс с выхода синхронизации сигнализирует о начале развертки, переходе к следующей точке. Кроме этого, в состав X5M дополнительно входит генератор синхроимпульсов. Длительность и полярность любого генерируемого импульса синхронизации задаётся программно.

4.7.2 Особенности работы

Прогрев X5M. Перед началом необходимо прогревать прибор. Время прогрева, т.е. время установления рабочего режима, составляет 1 ч – для X5M-04 и 0,5 ч – для X5M-18 (см. таблицу 4.10, п. 25 и таблицу 4.11, п. 33).

 Для достижения наибольшей точности измерений и показателей, приведенных в технических характеристиках X5M, прогрев X5M необходимо проводить при запущенном процессе измерения. Для X5M-18 это способствует более эффективному прогреву ЖИГ-преселектора (который работает в диапазоне частот выше 3200 МГц) и МШУ входной цепи, а также, соответственно, стабилизации КП тракта ВЧ X5M-18. Также рекомендуется запускать процесс измерений на 10 минут перед началом проведения измерений всякий раз после смены диапазона сканирования по частоте, полосы фильтра ПЧ или степени усреднения, 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 X5M-18.

Спящий режим ПК. В случае длительной непрерывной работы X5M

необходимо отключить в ОС спящий режим, т.к., например в *Windows 7* после ухода ПК в спящий режим, связь программы управления и X5M теряется, соответственно процесс измерения останавливается.

Дифференциальный 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 «Параметры измерения» 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 X5M 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 измерение производится лишь в определенных точках, число которых задается на панели управления «Параметры измерения» в поле ввода «Количество точек». Тем не менее, 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 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 X5M приводятся в п. 11.3 настоящего РЭ.

5.1 Эксплуатационные ограничения

X5M 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 X5M возможна потеря связи с ПК, при этом требуется вмешательство оператора с целью перезапуска ПО и/или X5M и переподключения к ПК.

Об особенностях прогрева X5M 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 $\sim (220 \pm 22)$ 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 X5M на рабочее место необходимо убедиться, что площадь поверхности рабочего стола достаточна для размещения на ней X5M, 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, потерь, 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.

Таблица 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)
12	SMA, Вилка ³⁾	4,15/1,27	26	Дюйм (механически

Кодировка	Тип соединителя	Сечение тракта, мм	$F_{\max}^1$, ГГц	Примечания
12P	<i>SMA</i> , Розетка ³⁾			совместим с трактом 3,5/1,52 мм; вилка дюйм механически совместима с розеткой метрикой)
13	3,5 мм, Вилка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм
13P	3,5 мм, Розетка ³⁾			
13Н	<i>NMD</i> 3,5мм, Вилка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм
13PH	<i>NMD</i> 3,5мм, Розетка ³⁾			
14	2,92 мм, Вилка	2,92/1,27	40	Дюйм (механически совместим с трактом 3,5/1,52 мм)
14P	2,92 мм, Розетка			
15	1,85 мм, Вилка	1,85/0,804	67	Механически совместим с трактом 2,4/1,042 мм
15P	1,85 мм, Розетка			
16	<i>SMP</i> , Вилка, <i>full detent</i>	—	32	—
16P	<i>SMP</i> , Розетка			
16O	<i>SMP</i> , Розетка, <i>limited detent</i>			
16C	<i>SMP</i> , Розетка, <i>smooth bore</i>			
¹⁾ $F_{\max}$ – верхняя рабочая частота. ²⁾ По ГОСТ 13317. ³⁾ По IEEE Std 287-2007; тип <i>N</i> 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 <i>SMA</i> 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 Х5М 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 4.1–4.4).

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 таковые 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 X5M).

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

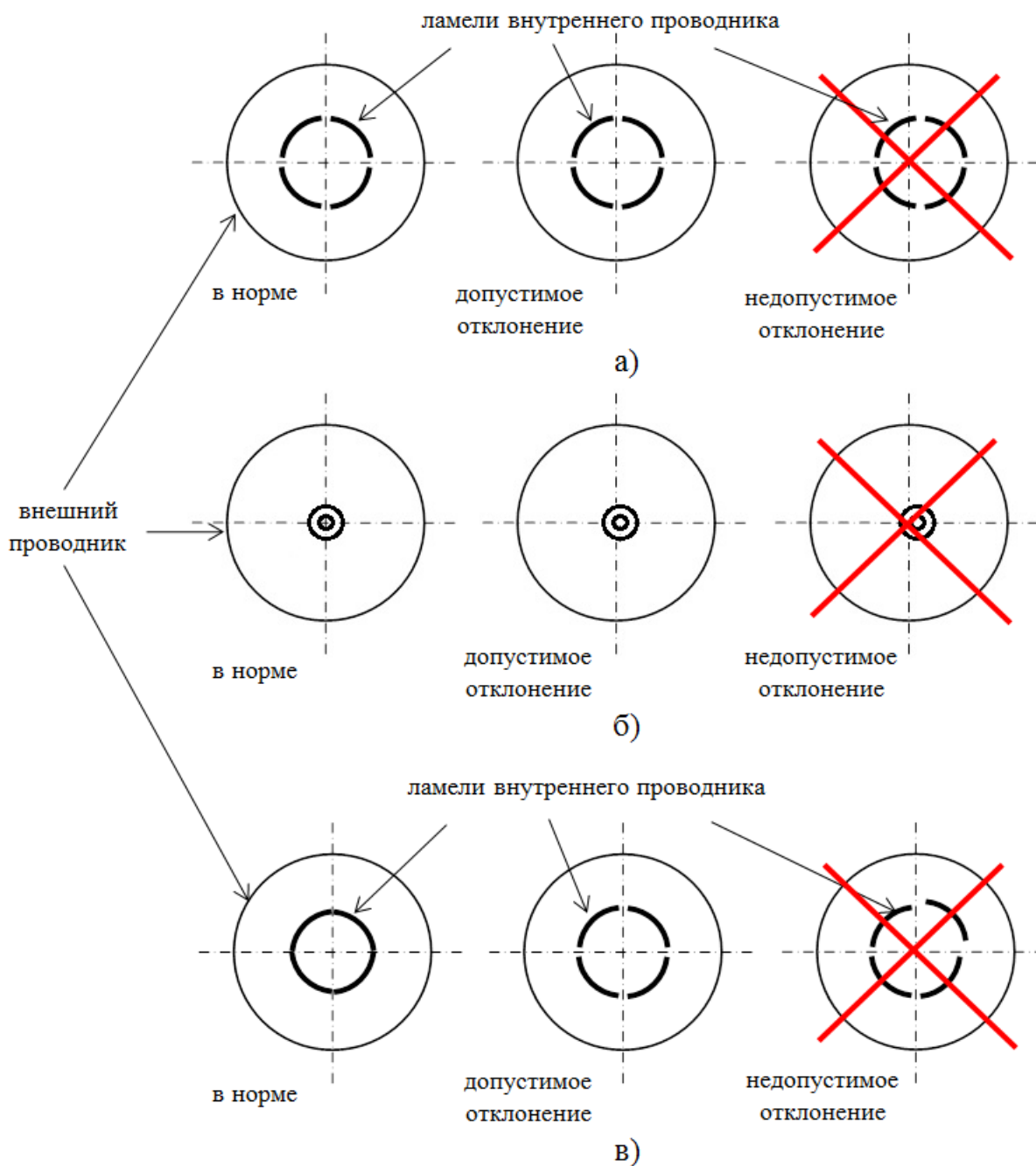


Рисунок 5.1 – Визуальный контроль соединителей: а) контроль соосности для «розетки»; б) контроль соосности для «вилки»; в) контроль неповрежденности

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:

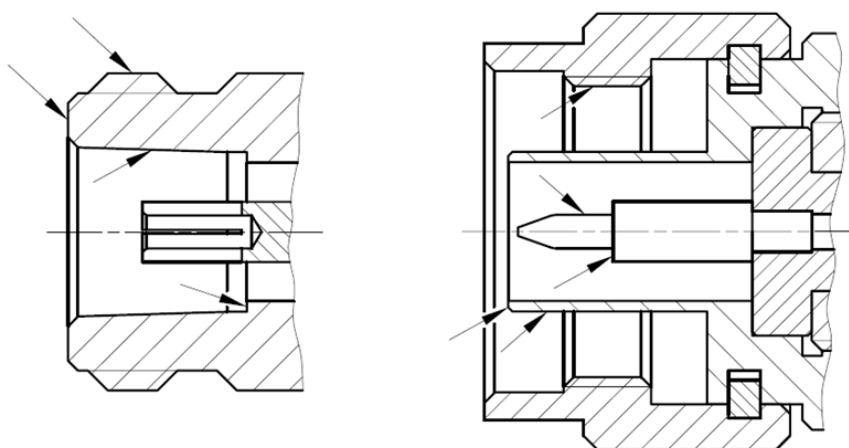
- протереть поверхности соединителей, указанные стрелками на рисунке 5.2, зубочисткой с ватным тампоном (или бязью), смоченным в спирте (рекомендуемые средства для чистки приведены в таблице 6.1);

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

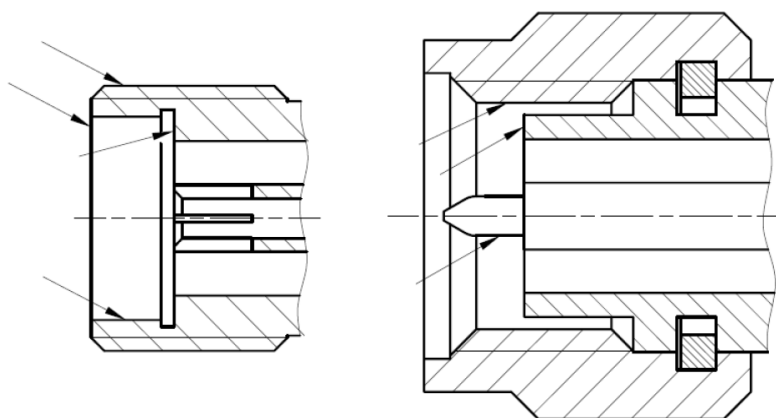
❗ Внимание! *Запрещается протирать внутренний проводник соединителей «розетка». Чистку внутреннего проводника соединителей «розетка» проводить продувкой воздухом.*

❗ 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.



а)



б)

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.

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

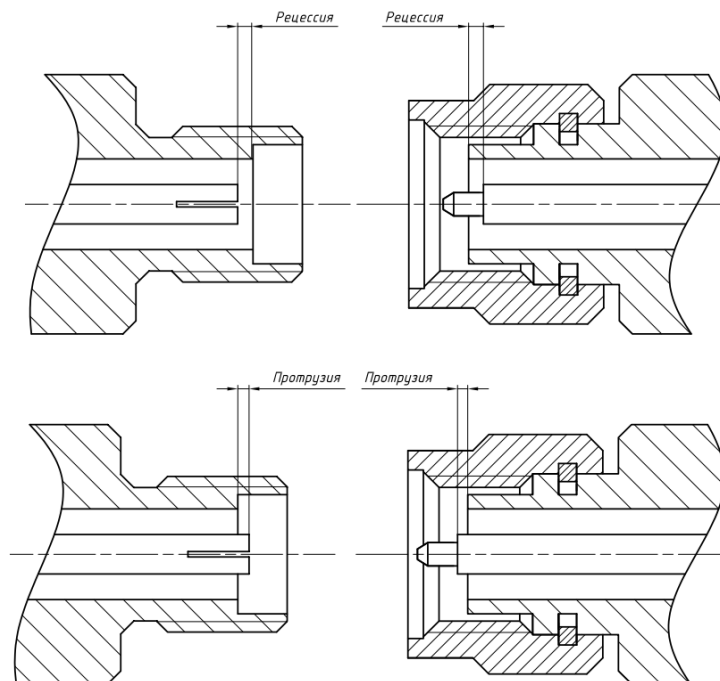


Рисунок 5.3 – Рецессия и протрузия соединителей

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 X5M 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 X5M 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 X5M.

5.3.4.1 Калибровка

Перед проведением измерений с помощью ИПР необходимо провести его

калибровку или установку нуля. В результате проведения этой операции фиксируется «нулевой» уровень, от которого при измерениях будут проводиться отсчёты 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 соприкоснуться 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 соприкоснуться 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.

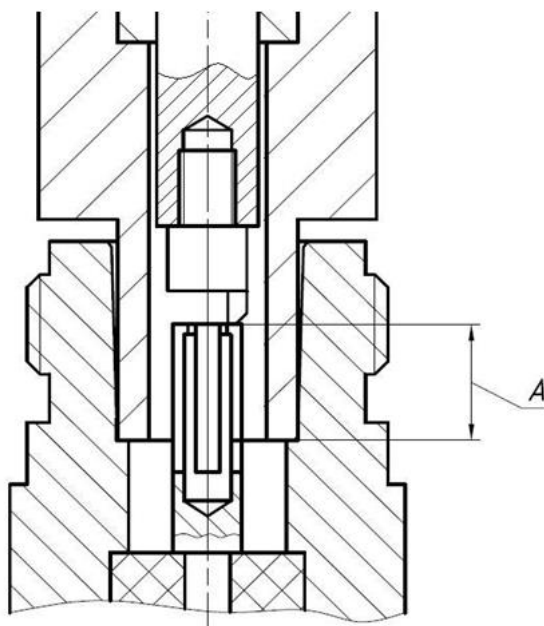


Рисунок 5.4 – Проверка размера «А» соединителя «розетка»

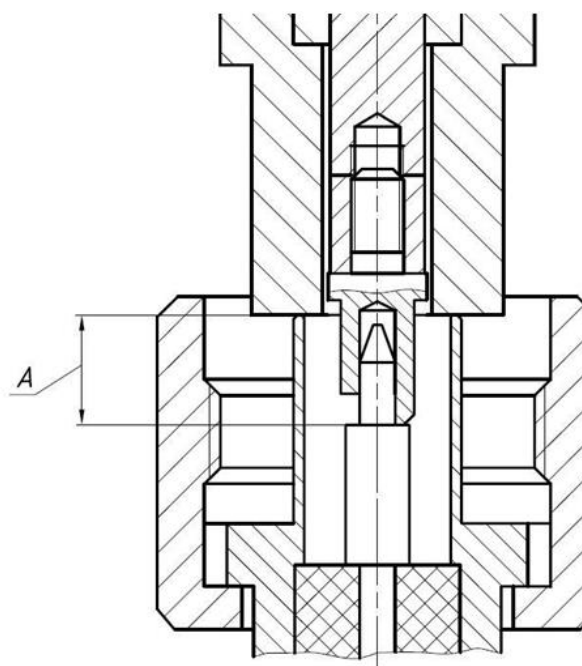


Рисунок 5.5 – Проверка размера «А» соединителя «вилка»

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.

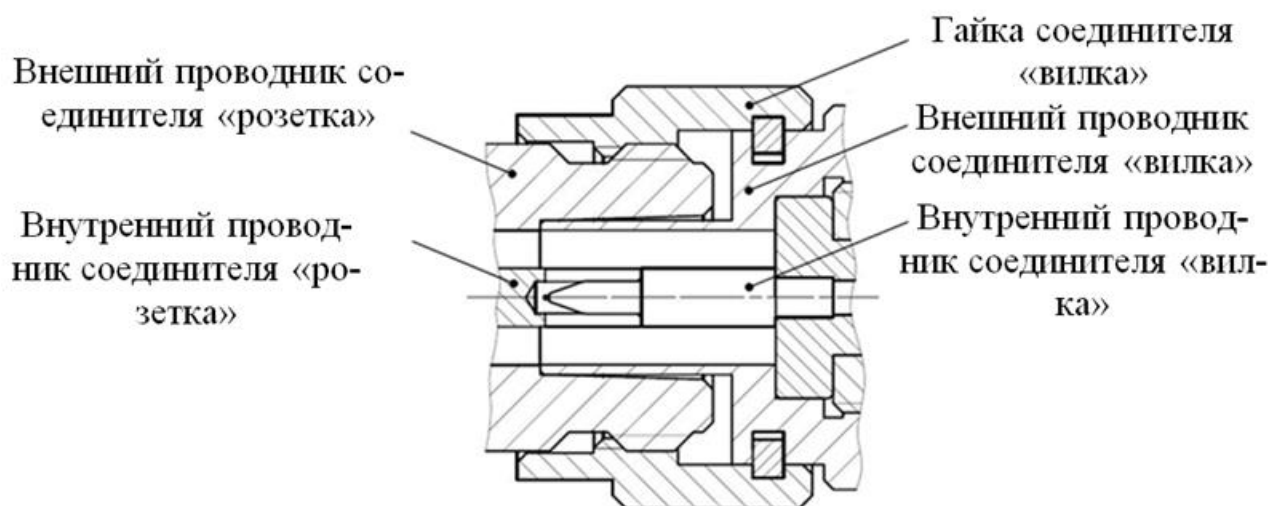
Устройство, фиксация которого обеспечена, будем называть зафиксированным или устройством, к которому проводится подключение. Устройство, которое не зафиксировано – подключаемым (отключаемым) устройством.

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.

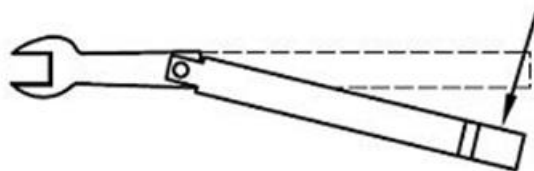


Рисунок 5.7 – Допустимый излом ключа

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

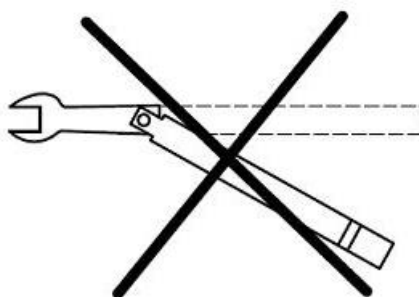


Рисунок 5.8 – Недопустимый излом ключа

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

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.

i 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, предохраняя 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 Х5М. 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 Х5М.

Средства, необходимые при эксплуатации и обслуживании, но которые могут отсутствовать в комплекте Х5М, приведены ниже, а также в таблице 6.1 и в др. пунктах данного раздела:

- **Ключи тарированные** – требуются для выполнения качественных подключений к портам Х5М. При использовании тарированных ключей подключение соединителей к портам Х5М 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	—

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
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)
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») 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») для соединителей тип 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») для соединителей тип 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») для соединителей тип 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» и ГШМ2-20 для опции «13Н»

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
Вата медицинская гигроскопическая гигиеническая ²⁾	Согласно ГОСТ 5556	—
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 X5M 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 X5M предполагается использование генераторов шума (ГШ), которые не входят в комплект поставки X5M (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 X5M, 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 согласован-

ную 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 (14.15) и (14.16). 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 X5M 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 X5M позволяют автоматически управлять включением и выключением подобных ГШ за счет подачи/отключения на них постоянного напряжения 28 В с соответствующего разъема передней панели X5M (цифра 2 на рисунке 7.1 и цифра 2 на рисунке 7.2), либо напряжения уровней ТТЛ с соответствующего разъема задней панели X5M (цифра 6 на рисунке 7.3 и цифра 10 на рисунке 7.4). 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 (14.6).

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

Вид передней панели для X5M-04, X5M-18 и расположение органов управления и присоединения представлены на рисунках 7.1 и 7.2 соответственно.

Соединитель адаптера питания (опция «АПА») (цифра 1 на рисунке 7.1 и цифра 4 на рисунке 7.2) имеет тип *BNC*, розетка; предназначен для подачи напряжения до ± 20 В и 500 мА от внешнего источника питания на внутренний проводник входа « $\rightarrow$ СВЧ» (цифра 4 на рисунке 7.1 и цифра 7 на рисунке 7.2); короткое замыкание между внутренним проводником входа « $\rightarrow$ СВЧ» и внутренним проводником соединителя адаптера питания в X5M-18 устанавливается программно, а в X5M-04 – с помощью специальной кнопки (цифра 1 на рисунке 7.1); о наличии короткого замыкания свидетельствует индикатор включения адаптера питания (опция «АПА») (цифра 1 на рисунке 7.1 и цифра 5 на рисунке 7.2).

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

Индикатор включения адаптера питания (опция «АПА») (цифра 1 на рисунке 7.1 и цифра 5 на рисунке 7.2) во включенном состоянии свидетельствует о наличии короткого замыкания между внутренним проводником соединителя адаптера питания (цифра 1 на рисунке 7.1 и цифра 4 на рисунке 7.2) и внутренним проводником входа « $\rightarrow$ СВЧ» (цифра 4 на рисунке 7.1 и цифра 7 на рисунке 7.2); перед началом работы индикатор должен быть выключен.

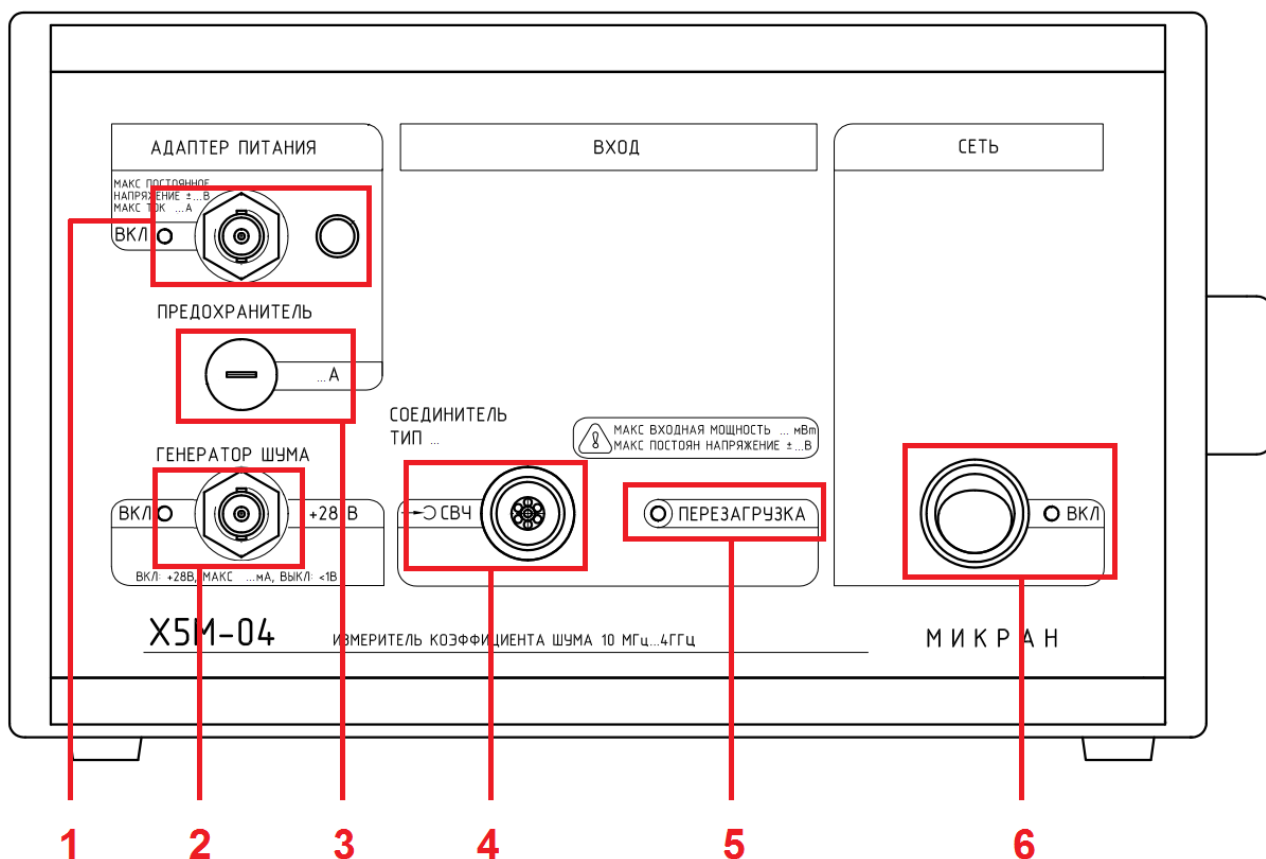
Соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА (цифра 2 на рисунке 7.1 и цифра 2 на рисунке 7.2) имеет тип *BNC*, розетка, для подачи на ГШ питающего постоянного/модулированного напряжения плюс 28 В.

Индикатор питания ГШ (цифра 2 на рисунке 7.1 и цифра 1 на рисунке 7.2) – во включенном состоянии информирует о подаче постоянного напряжения на соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА и в выключенном – об отсутствии напряжения.

Держатель предохранителя адаптера питания (опция «АПА») (цифра 3 на рисунке 7.1 и цифра 3 на рисунке 7.2) – предохранитель предотвращает подачу

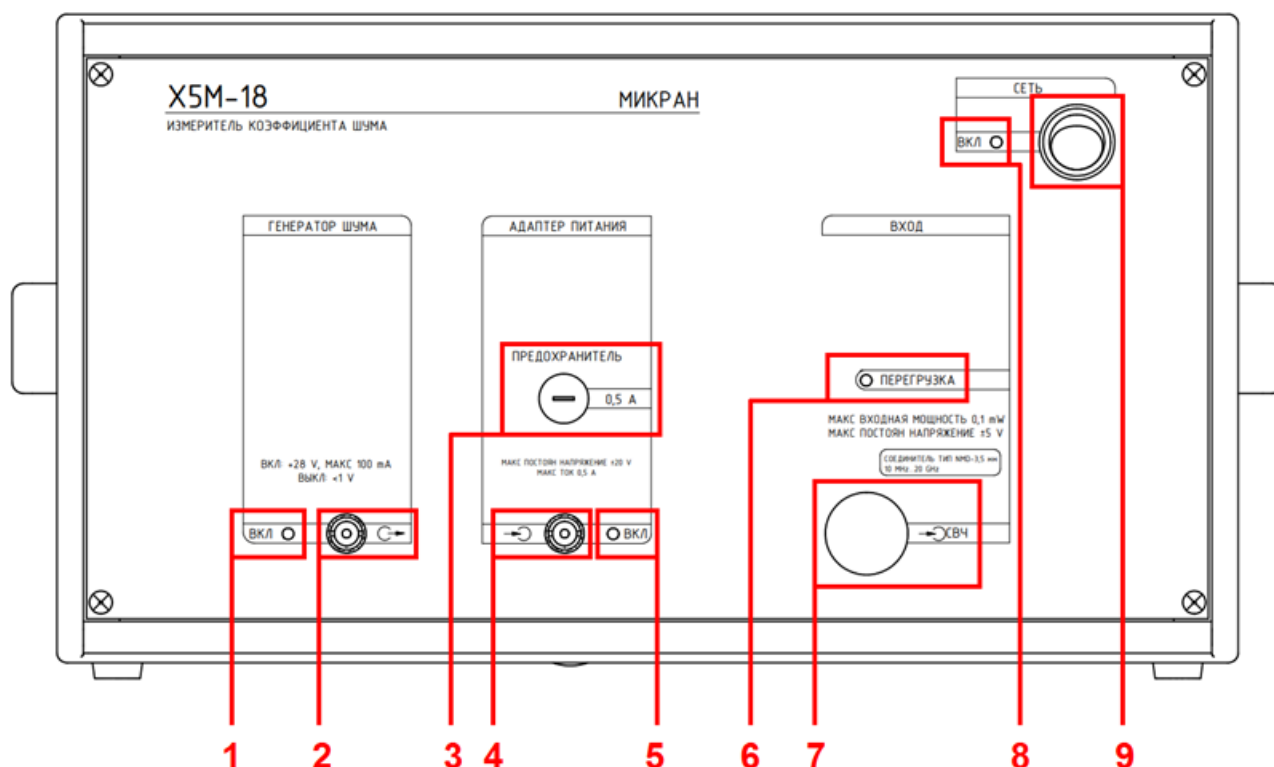
тока больше 0,5 А через соединитель адаптера питания (опция «АПА») (цифра 1 на рисунке 7.1 и цифра 4 на рисунке 7.2).

Соединитель входа « СВЧ» (цифра 4 на рисунке 7.1 и цифра 1 на рисунке 7.2) – тип соединителя *N* для X5M-04, а для X5M-18 определяется модификацией (см. таблицы 4.8–4.9, 5.1); предназначен для подачи входного сигнала СВЧ.



- 1 – соединитель адаптера питания (опция «АПА»); индикатор включения адаптера питания (опция «АПА») и кнопка включения адаптера питания (опция «АПА»);
- 2 – соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА и индикатор питания ГШ;
- 3 – держатель предохранителя адаптера питания (опция «АПА»);
- 4 – коаксиальный соединитель входа « СВЧ»;
- 5 – индикатор ПЕРГРУЗКА;
- 6 – выключатель питания «ВКЛ» и индикатор включения питания X5M-04.

Рисунок 7.1 – Расположение органов управления и присоединения передней панели X5M-04/3 и X5M-04/4



- 1 – индикатор питания ГШ
- 2 – соединитель питания ГЕНЕРАТОР ШУМА;
- 3 – держатель предохранителя адаптера питания (опция «АПА»);
- 4 – соединитель адаптера питания (опция «АПА»);
- 5 – индикатор включения адаптера питания (опция «АПА»);
- 6 – индикатор ПЕРГРУЗКА;
- 7 – соединитель входа «→ СВЧ»;
- 8 – индикатор включения питания;
- 9 – выключатель питания ВКЛ.

Рисунок 7.2 – Расположение органов управления и присоединения передней панели X5M-18 для опции «АПА»

❗ *Запрещается подавать на вход «→ СВЧ» X5M мощность и постоянное напряжение, превышающие значения, указанные на передней панели X5M рядом со знаком ⚠ (в случае превышения мощности на входе X5M в программе управления на левой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки 🚫).*

Индикатор ПЕРГРУЗКА (цифра 5 на рисунке 7.1 и цифра 6 на рисунке 7.2) во включенном состоянии свидетельствует о превышении максимального уровня входной рабочей мощности (т.е. перегрузки входных цепей и/или

АЦП), подаваемой на вход «→СВЧ».

Выключатель питания (цифра 6 на рисунке 7.1 и цифра 9 на рисунке 7.2) перед подключением к сети электропитания должен находиться в положении «О» (выключенное состояние).

Индикатор включения питания (цифра 6 на рисунке 7.1 и цифра 8 на рисунке 7.2) информирует о включенном/выключенном электропитании.

7.1.2 Задняя панель

Вид задней панели для X5M-04 и X5M-18 и расположение органов управления и присоединения представлены на рисунках 7.3 и 7.4 соответственно.

Назначение органов управления и присоединения следующее.

Сервисный соединитель ПРОГРАММАТОР (цифра 1 на рисунке 7.3 и цифра 4 на рисунке 7.4) – интерфейс RS-232, предназначен для сервисного обслуживания, использование не рекомендуется.

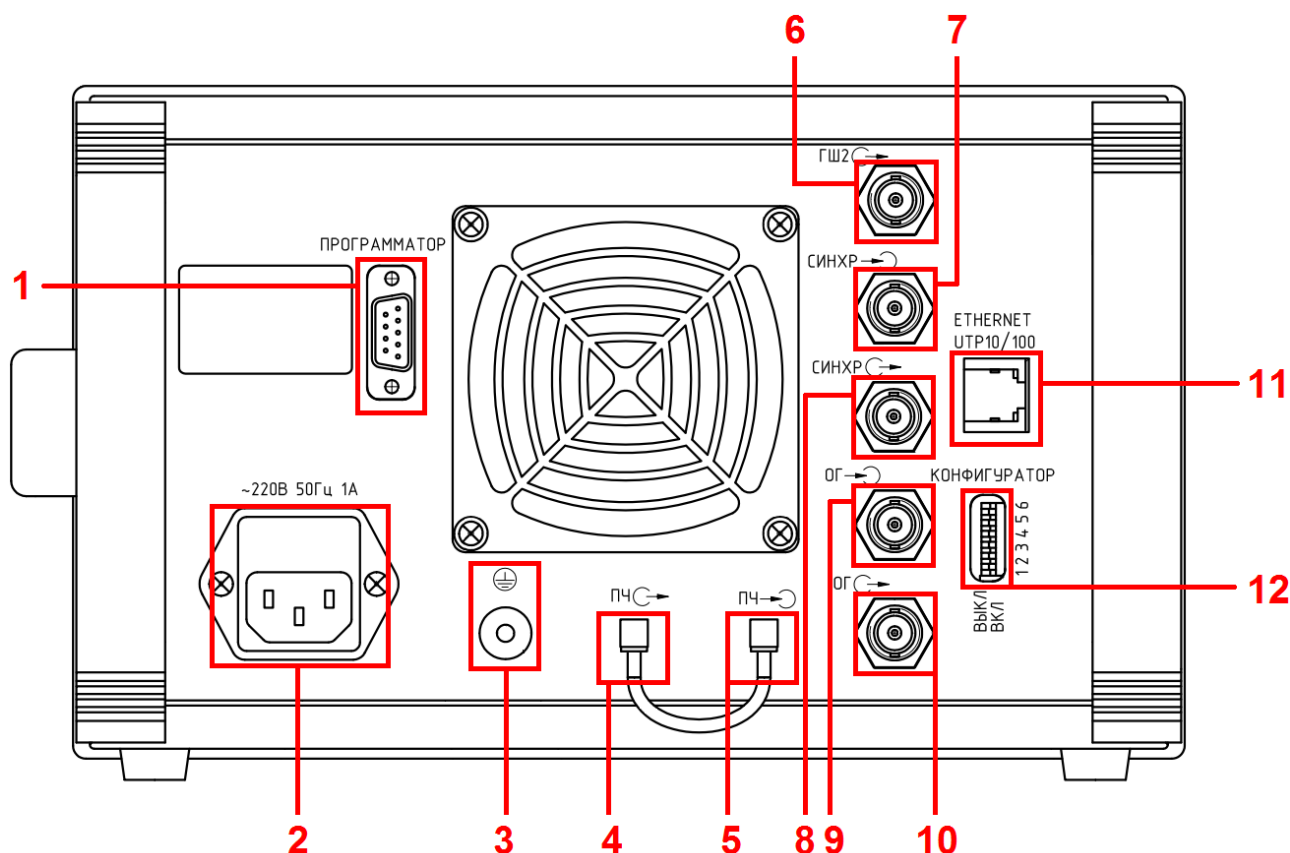
❗ Внимание: неправильная подача сигналов на сервисный соединитель ПРОГРАММАТОР может привести к неработоспособности X5M!

Колодка кабеля питания (цифра 2 на рисунке 7.3 и цифра 2 на рисунке 7.4) ~ 220 В 50 Гц 1 А – содержит гнездо установки предохранителя блока питания (для получения большей информации о замене предохранителя см. п. 10.1).

Выключатель блока питания (цифра 1 на рисунке 7.4) – отключает/включает электропитание блока питания; в его выключенном состоянии включение X5M-18 с помощью выключателя на передней панели невозможно.

Зажим (клемма) защитного заземления  (цифра 3 на рисунке 7.3 и цифра 3 на рисунке 7.4) – предназначена для соединения с системой заземления (либо зануления).

❗ Внимание: перед подключением X5M 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 X5M, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с зануленным зажимом питающей сети)!

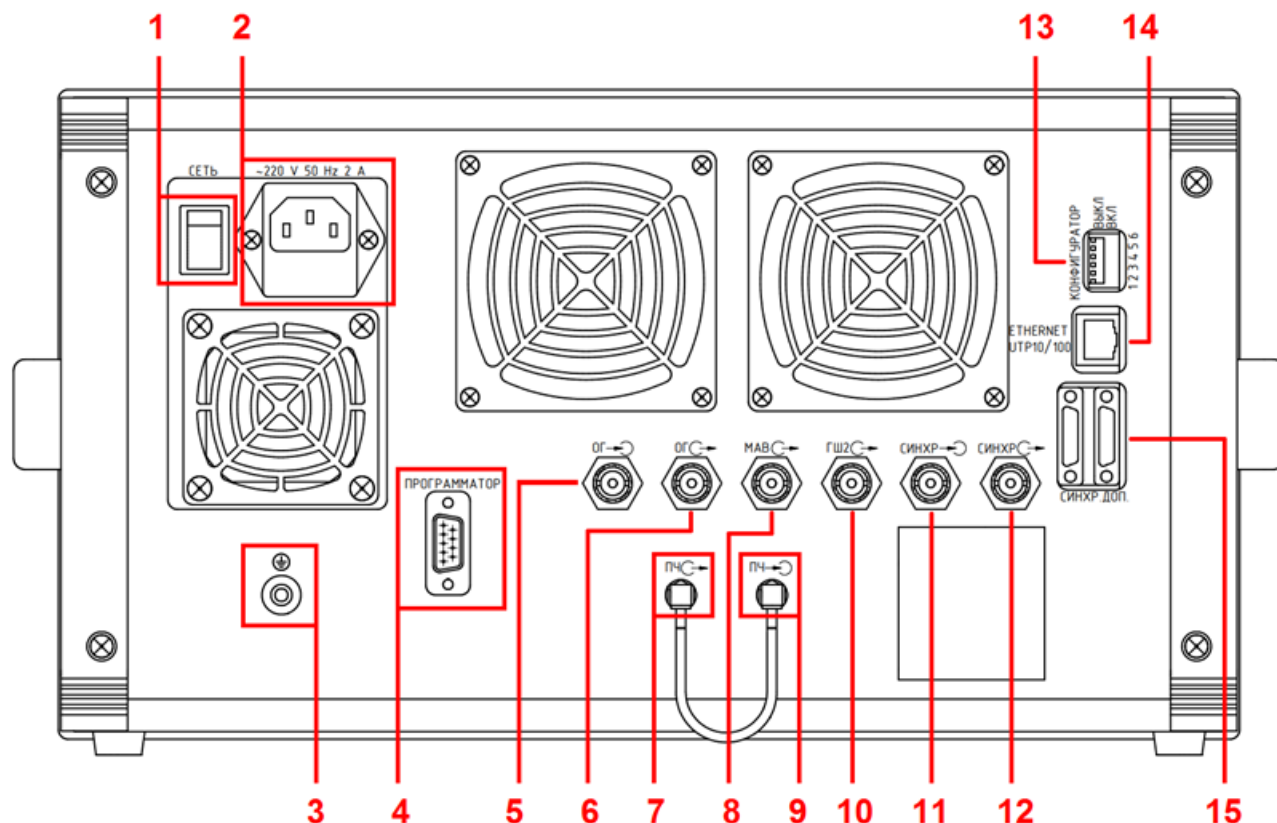


- 1 – сервисный соединитель ПРОГРАММАТОР;
- 2 – колодка кабеля питания, содержащая гнездо установки предохранителя блока питания;
- 3 – зажим (клемма) защитного заземления .
- 4 – выходной соединитель ПЧ «ПЧ »;
- 5 – входной соединитель ПЧ «ПЧ »;
- 6 – выходной соединитель питания «ГШ 2 »;
- 7 – входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР »;
- 8 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР »;
- 9 – входной соединитель опорного генератора «ОГ »;
- 10 – выходной соединитель опорного генератора «ОГ »;
- 11 – разъём для подключения X5M к ПК «ETHERNET UTP 10/100»;
- 12 – панель переключателей КОНФИГУРАТОР.

Рисунок 7.3 – Расположение органов управления и присоединения задней панели X5M-04

Выходной соединитель ПЧ «ПЧ » (цифра 4 на рисунке 7.3 и цифра 7 на рисунке 7.4) тип SMA, розетка – выход сигнала промежуточной частоты 70 МГц; перед началом работы с X5M необходимо соединить «ПЧ » с «ПЧ », для этого в комплекте поставки X5M-04 имеется «Кабель СВЧ» (см.

таблицу 4.5), применяемый в качестве перемычки.



- 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 – сервисный соединитель ПРОГРАММАТОР;
- 5 – входной соединитель опорного генератора «ОГ →»;
- 6 – выходной соединитель опорного генератора «ОГ ←»;
- 7 – выходной соединитель ПЧ «ПЧ ←»;
- 8 – соединитель «МАВ ←»;
- 9 – входной соединитель ПЧ «ПЧ →»;
- 10 – выходной соединитель питания «ГШ 2 ←»;
- 11 – входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР →»;
- 12 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР ←»;
- 13 – панель переключателей КОНФИГУРАТОР;
- 14 – разъём для подключения X5M к ПК «ETHERNET UTP 10/100»;
- 15 – резервная шина синхронизации СИНХР. ДОП.

Рисунок 7.4 – Расположение органов управления и присоединения задней панели X5M-18

Входной соединитель ПЧ «ПЧ →» (цифра 5 на рисунке 7.3 и цифра 9 на рисунке 7.4) тип SMA, розетка – вход сигнала промежуточной частоты 70 МГц;

перед началом работы с X5M необходимо соединить «ПЧ →» с «ПЧ ←», для этого в комплекте поставки X5M-04 имеется «Кабель СВЧ» (см. таблицу 4.5), применяемый в качестве перемычки.

Выходной соединитель питания «ГШ 2 ←» (цифра 6 на рисунке 7.3 и цифра 10 на рисунке 7.4) тип *BNC*, розетка, – для подачи на генератор шума питающего напряжения уровней ТТЛ.

Входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР →» (цифра 7 на рисунке 7.3 и цифра 11 на рисунке 7.4) 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.

Выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР ←» (цифра 8 на рисунке 7.3 и цифра 12 на рисунке 7.4) 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.

Входной соединитель опорного генератора «ОГ →» (цифра 9 на рисунке 7.3 и цифра 5 на рисунке 7.4), тип *BNC*, розетка – вход опорного генератора частоты 10 МГц.

Выходной соединитель опорного генератора «ОГ ←» (цифра 10 на рисунке 7.3 и цифра 6 на рисунке 7.4), тип *BNC*, розетка – выход опорного генератора частоты 10 МГц.

Разъём для подключения X5M к ПК «ETHERNET UTP 10/100» (цифра 11 на рисунке 7.3 и цифра 14 на рисунке 7.4) разъем для подключения X5M к управляющему ПК с помощью кабеля *Ethernet*, через который осуществляется управление X5M по протоколу *TCP/IP*.

Панель переключателей КОНФИГУРАТОР (цифра 12 на рисунке 7.3 и цифра 13 на рисунке 7.4) – 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 конфигулятора вступают в силу после включения X5M, если в ходе работы настройки были изменены, то для их применения следует перезапустить X5M; для получения более подробной информации по настройке КОНФИГУРАТОРА см. описание и выбор сетевых параметров раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.

Резервная шина синхронизации СИНХР. ДОП. (цифра 15 на рисунке 7.4) – шина синхронизации, является резервной, использование не рекомендуется.

Соединитель «МAB » (цифра 8 на рисунке 7.4) разъем тип *BNC*, розетка – резервный многофункциональный аналоговый выход, использование не рекомендуется.

7.2 Сведения о порядке подготовки к проведению измерений

Документация. Перед началом подготовки X5M к эксплуатации необходимо занести в формуляр дату ввода X5M в эксплуатацию. Убедиться путем внешнего осмотра в отсутствии дефектов и поломок по причине некачественной упаковки или неправильного транспортирования.

Установка перемычек. Соединить ««ПЧ »» и ««ПЧ »» на задней панели (цифры 4 и 5 на рисунке 7.3 и цифры 7 и 9 на рисунке 7.4) кабелем «Кабель СВЧ» (для X5M-04 см. таблицу 4.5), если они не соединены.

Установка на рабочее место (если не устанавливался ранее). Установить X5M на ровную горизонтальную поверхность рабочего стола так, чтобы все ножки измерительного блока упирались в неё, развернуть X5M в удобное для работы положение, обеспечив свободный доступ к органам управления и соединителям задней и передней панелей. Поверхность стола должна быть твердой, без мягких прокладок, листов бумаги и т.п., чтобы не закрывались вентиляционные отверстия на днище X5M. Для обеспечения нормальной вентиляции расстояние между задней панелью X5M 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 X5M-04 и 4.3 для X5M-18. В случае если X5M 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 4.2 для X5M-04, и таблицу 4.4 для X5M-18), то необходимо выдержать X5M в рабочих условиях применения не менее 2 ч. Если условия транспортирования по относительной влажности воздуха можно считать близкими к предельным условиям транспортирования, то необходимо выдержать X5M в рабочих условиях применения не менее 24 ч.

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

Соединить клемму заземления X5M (цифра 3 на рисунке 7.3 и цифра 3 на рисунке 7.4) с системой заземления или зануленным зажимом питающей сети (по окончании работы и отключения X5M от сети электропитания и от других приборов клемму защитного заземления следует отсоединить от системы заземления или зануления).

Установки органов управления. Установить органы управления в начальное (выключенное) состояние (перевести выключатели питающей сети на передней и задней панелях (при наличии) X5M в положении «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, приведенным в разделе с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.

Физическое подключение кабеля *Ethernet*. Осуществить физическое подключение X5M напрямую к управляющему ПК (рекомендуется), либо к локальной сети, кабелем *Ethernet*, обеспечив хороший контакт. Включите ПК, с которого будет осуществляться управление X5M.

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 X5M к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо убедиться в исправности кабеля питания, а также убедиться, что кнопка питания ВКЛ на передней панели X5M находится в положении «О», выключатель питания на задней панели также в положении «О»!*

❗ *ВНИМАНИЕ! Перед любым подключением зажим защитного заземления на задней панели X5M должен быть подсоединен к внешней защитной системе заземления!*

Соединить X5M кабелем питания с сетью электропитания ~ 220 В 50 Гц 1 А. Включить блок питания X5M выключателем на задней панели (для X5M-18 цифра 1 на рисунке 7.4), при его наличии, переведя его в положение «I». Включить X5M выключателем на передней панели (цифра 6 на рисунке 7.1 и цифра 9 на рисунке 7.2), переведя его в положение «I».

Запуск ПО и логическое подключение. Запустить ПО в необходимом режиме измерения и подключиться к X5M (см. описание запуска программы и подключения к X5M раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ).

Активация программных опций (при наличии). Произвести активацию программных опций (см. 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 Х5М необходимо осуществлять его прогрев. Выдержать Х5М во включенном состоянии при запущенном процессе измерения в течение времени установления рабочего режима (т.е. 1 ч для Х5М-04 и 0,5 ч для Х5М-18). Об особенностях прогрева Х5М 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 Х5М-04 проводится в соответствии с ЖНКЮ.468166.021 ДЗ «Измеритель коэффициента шума Х5М-04. Методика поверки»; а Х5М-18 в соответствии с документом ЖНКЮ.468166.011ДЗ «Измеритель коэффициента шума Х5М-18. Методика поверки».

9 Техническое обслуживание

Для Х5М предусмотрено неплановое техническое обслуживание, выполняемое фирменным методом по ГОСТ 18322. Других видов и способов технического обслуживания для Х5М не предусмотрено.

При соблюдении условий эксплуатации особое техническое обслуживание Х5М не требуется.

Техническое обслуживание Х5М проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

10 Текущий ремонт

Для Х5М предусмотрен текущий ремонт, выполняемый фирменным методом согласно ГОСТ 18322. Других видов и способов ремонта для Х5М не предусмотрено.

Ремонт Х5М проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

❗ *Запрещается проводить самостоятельный ремонт X5M и комплекта принадлежностей.*

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

После проведения ремонта X5M должен быть подвергнут поверке (при необходимости).

10.1 Смена плавкого предохранителя блока питания

Смена плавкого предохранителя производится в следующем порядке:

а) выключить питание X5M (на передней панели), отключить блок питания выключателем на задней панели X5M (при наличии), установив его в положение «О»; отключить кабель питания; отсоединить клемму защитного заземления X5M от системы заземления;

б) открыть крышку фильтра питания, закрывающую гнездо установки предохранителя блока питания (находится непосредственно около колодки кабеля электропитания, см. цифра 2 рисунок 7.3 для X5M-04 и цифра 2 на рисунке 7.4 для X5M-18);

в) установить сменный предохранитель, находящийся в гнезде. В случае отсутствия сменного предохранителя установить предохранитель типоразмера 5x20 с номинальным током 1 А для X5M-04 и 2 А для X5M-18;

г) закрыть крышку фильтра питания; соединить клемму защитного заземления X5M с шиной системы защитного заземления; подключить X5M к сети электропитания ~ (220±22) В 50 Гц 1 А с помощью кабеля питания; включить блок питания выключателем на задней панели X5M (при наличии);

д) включить питание выключателем питания на передней панели X5M, убедиться в наличии индикации возле выключателя питания на передней панели X5M.

i *Повторный выход из строя предохранителя после включения означает неисправность X5M. 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 X5M (см. цифра 3 рисунок 7.1 для X5M-04, и цифра 3 на рисунке 7.2 для X5M-18).

Смена плавкого предохранителя производится в следующем порядке:

а) выключить питание Х5М (на передней панели), отключить блок питания выключателем на задней панели Х5М (при наличии), установив его в положение «О»; отключить кабель питания; отсоединить клемму защитного заземления Х5М от системы заземления;

б) надавить на крышку с прорезью, которая вставлена с лицевой стороны в держатель предохранителя адаптера питания (см. цифра 3 рисунок 7.1 для Х5М-04, и цифра 3 на рисунке 7.2 для Х5М-18) 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 «→ СВЧ» и внутренним проводником соединителя адаптера питания (цифра 1 на рисунке 7.1 для Х5М-04 и цифра 4 на рисунке 7.2 для Х5М-18); короткое замыкание между внутренним проводником входа «→ СВЧ» и внутренним проводником соединителя адаптера питания в Х5М-18 устанавливается программно (т.е. для этого потребуется включить Х5М-18, осуществить подключение к управляющему ПО, в управляющем ПО на панели управления «Общие параметры» установить флажок (или переключатель) «Подать напряжение на СВЧ вход»), а в Х5М-04 – с помощью специальной кнопки (цифра 1 на рисунке 7.1).

10.3 Гарантийное и послегарантийное обслуживание

Предприятие-изготовитель гарантирует согласно разделу 13 «Гарантии предприятия-изготовителя» соответствие Х5М 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 Х5М 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 Х5М и комплект принадлежностей, согласно п. 11.3.2, и отправить их на предприятие-изготовитель для ремонта или замены.

Комплект поставки Х5М, 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 Х5М и комплекта принадлежностей проводится только силами предприятия-изготовителя или его уполномоченных представителей.

Предприятие-изготовитель осуществляет платный негарантийный ремонт и сервисное обслуживание Х5М 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

Х5М 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.

Х5М 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 Х5М и комплекта принадлежностей допускается любыми закрытыми транспортными средствами с условиями транспортирования согласно таблицам 4.2 и 4.4, исключая сильные удары и значительные механические повреждения упаковки, а также механические повреждения Х5М и комплекта принадлежностей. Погрузка и выгрузка не требует применения погрузочно-разгрузочных средств.

Транспортировать и устанавливать упакованный Х5М следует согласно знакам, нанесённым на транспортную упаковку.

При транспортировании воздушным транспортом Х5М 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 X5M 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 X5M 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) X5M, комплект принадлежностей и документацию;

в) провести по формуляру (паспорту) сверку с сопроводительной документацией;

г) сравнить номера X5M 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 X5M 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 X5M 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 X5M.

11.3.2 Повторное упаковывание

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

Перед упаковыванием Х5М 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 Х5М и комплект принадлежностей должны быть осмотрены и очищены от пыли и грязи.

Упаковывание Х5М и комплекта принадлежностей проводится в следующей последовательности:

а) соединители входов и выходов Х5М закрыть заглушками (колпачками);

б) поместить Х5М, комплект принадлежностей в первичную упаковку (пакет полиэтиленовый), удалить из первичной упаковки избыток воздуха и заварить швы первичной упаковки, во избежание попадания влаги.

 *Примечание – Здесь и далее в данном подразделе допускается не заваривать швы первичной упаковки Х5М, комплекта принадлежностей и документации, укладываемых в кейс.*

в) упакованный Х5М и комплект принадлежностей уложить во вторичную упаковку (пластмассовый контейнер (кейс)). Пространство между стенками вторичной упаковки и упакованными Х5М 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 Х5М от одного потребителя другому;

 *Примечание – «Свидетельство об упаковывании» в формуляре заполняется только при первом упаковывании на предприятии-изготовителе. При повторном упаковывании Х5М заполнять в формуляре «Свидетельство об упаковывании» не требуется, отметка делается только в таблице приёма-передачи Х5М от одного потребителя другому.*

д) распечатать страницы с пунктом 11.3.1 «Распаковывание» и вместе с остальной документацией, указанной в таблицах 4.5 и 4.6, 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 Х5М 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 Х5М;

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 Х5М должны быть нанесены следующие обозначения:

- название предприятия-изготовителя;
- тип Х5М;
- обозначения органов управления, индикаторов и соединителей (см. п. 7.1.1).

На задней панели Х5М должны быть нанесены следующие обозначения:

- тип, модификация (или опции, либо модификация и опции) Х5М;
- 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 Х5М;
- 2) название предприятия-изготовителя;
- 3) адреса получателя и отправителя;
- 4) манипуляционные знаки ☹ «Хрупкое – осторожно!», ☂ «Беречь от влаги», ⬆ «Верх» (маркировка согласно ГОСТ 14192).

Защитные пломбы наносятся согласно рисункам 4.2 и 4.4.

❗ ***X5M имеет защитные пломбы (места пломбировки указаны на рисунках 4.2 и 4.4), несанкционированное вскрытие которых запрещается!***

13 Гарантии предприятия-изготовителя

Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие X5M требованиям настоящего РЭ (гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.10 и 4.11 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 X5M или комплект принадлежностей не распространяются в следующих случаях:

- имеются механические повреждения X5M 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 X5M или комплекта принадлежностей;
- повреждены пломбы предприятия-изготовителя;
- имеются следы вскрытия корпуса X5M 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

X5M 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

X5M поддерживает несколько режимов измерения:

- Модуляционный метод – режим измерения КШ и КП, при котором управляющее питание твердотельного генератора шума является модулированным (управление питанием генератора шума осуществляется автоматически с помощью X5M);
- Метод двух отсчетов – 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.

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 X5M, 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 X5M, 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 X5M.

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

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 Исключение/встраивание цепей, компенсация

Для режима «Модуляционный метод» 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 (14.2). Если внешняя цепь подключена после ИУ (см. рисунок 14.1-б), то по формуле (14.3). Коэффициент усиления по мощности ИУ $G_{ИУ}$ в обоих случаях рассчитывается по формуле (14.4).

$$F_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = G_{ДЦ} [\text{отн. ед.}] \cdot (F_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] - F_{ДЦ} [\text{отн. ед.}]) + 1, \quad (14.2)$$

где $G_{ДЦ}$ – коэффициент усиления по мощности дополнительной цепи;

$F_{ИУ+ДЦ}$ – суммарный КШ для системы «ИУ+ДЦ»;

$F_{ДЦ}$ – КШ дополнительной цепи.

$$F_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = F_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] - \frac{F_{ДЦ} [\text{отн. ед.}] - 1}{G_{ИУ} [\text{отн. ед.}]}, \quad (14.3)$$

$$G_{ИУ} [\text{отн. ед.}] = G_{ИУ+ДЦ} [\text{отн. ед.}] / G_{ДЦ} [\text{отн. ед.}], \quad (14.4)$$

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

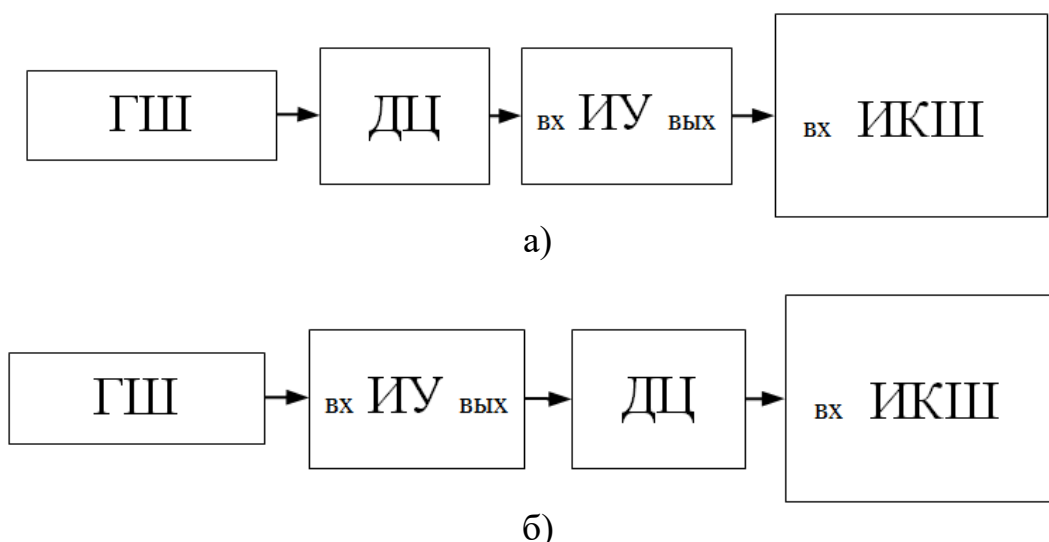


Рисунок 14.1 – Схемы включения дополнительной цепи (ДЦ): а) до ИУ;
б) после ИУ

А.2 Общие формулы шумовых измерений

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

$$F_{ИУ} [\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(F_{ИУ} [\text{отн. ед.}]). \quad (14.5)$$

ИОШТ ГШ выражается через шумовые температуры по формуле

$$ENR = \frac{T_h - T_c}{T_0}, \quad (14.6)$$

где 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

$$ENR[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(ENR[\text{отн.ед.}]). \quad (14.7)$$

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:

$$T_e[\text{К}] = T_0[\text{К}] \cdot (F_{\text{иу}}[\text{отн.ед.}] - 1). \quad (14.8)$$

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

$$P_{\text{изм}} = k \cdot T_e^{\text{изм}} \cdot B, \quad (14.9)$$

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 $T_{\text{ОКР}}/T_0$. Подобная 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.3 Режим «Модуляционный метод»

Модуляционный метод (режим «Модуляционный метод») 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 выключенном 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 Х5М, 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 «**→ СВЧ**» Х5М. В процессе калибровки измеряется собственный КШ Х5М $F_{\text{ИКШ}}$ во всем установленном частотном диапазоне. Вычисления собственного КШ Х5М $F_{\text{ИКШ}}$, отн. ед., производится программным обеспечением, под управлением которого находится Х5М, по формуле:

$$F_{\text{ИКШ}} = \frac{ENR_1}{\frac{P_{\text{ШВКЛ.КАЛ}}}{P_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}} - 1}, \quad (14.10)$$

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

$P_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}$ – 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 Х5М $G_{\text{ИКШ}}$ (с учетом калибровки предприятия-изготовителя) определяется, отн. ед., по формуле

$$G_{\text{ИКШ}} = \frac{P_{\text{ШВКЛ.КАЛ}} - P_{\text{ШВЫКЛ.КАЛ}}}{k \cdot (T_h - T_c) \cdot B}. \quad (14.11)$$

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

$$\begin{aligned} \GammaШ_{ВКЛ.КАЛ} &= k \cdot T_K^{hot} \cdot B; \GammaШ_{ВКЛ.КАЛ} = k \cdot T_K^{cold} \cdot B; \\ \GammaШ_{ВКЛ} &= k \cdot T_I^{hot} \cdot B; \GammaШ_{ВЫКЛ} = k \cdot T_I^{cold} \cdot B, \end{aligned} \quad (14.12)$$

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 «**→** СВЧ» Х5М.

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

$$F_{ИУ} = F_{\Sigma} - \frac{F_{ИКС}-1}{G_{ИУ}} = \frac{ENR_N}{\frac{\GammaШ_{ВКЛ}}{\GammaШ_{ВЫКЛ}}-1} - \frac{F_{ИКС}-1}{G_{ИУ}}, \quad (14.13)$$

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

$G_{ИУ}$ – КП ИУ, отн. ед.;

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

$\GammaШ_{ВЫКЛ}$ – уровень измеренной мощности для системы ИУ-ИКС 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

$$G_{ИУ} = \frac{\GammaШ_{ВКЛ}-\GammaШ_{ВЫКЛ}}{\GammaШ_{ВКЛ.КАЛ}-\GammaШ_{ВЫКЛ.КАЛ}} \cdot \frac{ENR_1}{ENR_N} \cdot АТТ, \quad (14.14)$$

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

$$F_{ИУ п}[\text{отн.ед.}] \approx \frac{P_{ш h}[\text{Вт}]}{k \cdot [\text{Дж/К}] \cdot T_0[\text{К}] \cdot B[\text{Гц}] \cdot G_{ИУ п}[\text{отн.ед.}]} - ENR_{N п}[\text{отн.ед.}], \quad (14.15)$$

где $P_{ш h}$ – точка сжатия шумового приемника Х5М; 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

$$F_{\text{ИУ п}}[\text{дБ}] + G_{\text{ИУ п}}[\text{дБ}] \approx 55 [\text{дБ}]. \quad (14.16)$$

А.4 Режим «Метод двух отсчетов»

Метод двух отсчётов (режим «Метод двух отсчетов») 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 «Модуляционный метод» 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; с отличием в том, что каждый этап в свою очередь также разделяются на два подэтапа: 1) сначала на вход Х5М (или ИУ, в зависимости от этапа измерения) подключается СН, а выход ИУ (для этапа измерения) присоединяется ко входу «→ СВЧ» Х5М; 2) далее ко входу Х5М (или ИУ) подсоединяется НГШ, а выход ИУ (для этапа измерения) также присоединяется ко входу «→ СВЧ» Х5М.

В этом режиме при расчете КШ и КП ИУ используются те же формулы, что и в режиме «Модуляционный метод». При использовании НГШ результат измерений бывает удобнее отображать в виде шумовых температур, получаемых из формул (14.12), 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 пункт главного меню «Параметры > Температура холодного источника».

 В ПО Graphit версии 2.2rc6 (сертифицирована для Х5М-18), а также в более ранних версиях, допущена ошибка: при измерении КШ в дБ в режиме «Метод двух отсчетов» на экране отображается величина $10 \cdot \lg(T_e [K])$ вместо $10 \cdot \lg(F_{\text{ИУ}} [\text{отн.ед.]})$. Также в этой версии этап пользовательской калибровки не предусмотрен, т.е. предполагается, что КП ИУ должно быть не менее 20 дБ (т.к. при этом условии учет пользовательской калибровки практически не влияет на результат измерений).

А.5 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 « $\rightarrow$ СВЧ» X5M присоединяется эталонный ГШ, на втором этапе – исследуемый ГШ.

i Для получения более точных результатов градуировки вместо режима «Градуировка генераторов шума» рекомендуется приобрести специальную программную опцию «ГРП», а также лицензию на использование специальной инструкции по градуировке 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

$$ENR'_{ИУ} = ENR_{ЭТ} \frac{ГШ_{ВКЛ}^{ИУ} - ГШ_{ВЫКЛ}^{ИУ}}{ГШ_{ВКЛ}^{ЭТ} - ГШ_{ВЫКЛ}^{ЭТ}}, \quad (14.17)$$

где $ENR_{ЭТ}$ – ИОШТ эталонного ГШ, отн. ед.;

$ГШ_{ВКЛ}^{ИУ}$ и $ГШ_{ВЫКЛ}^{ИУ}$ – измеренные уровни выходной мощности исследуемого ГШ соответственно во включенном и выключенном состояниях, мВт;

$ГШ_{ВКЛ}^{ЭТ}$ и $ГШ_{ВЫКЛ}^{ЭТ}$ – измеренные уровни выходной мощности эталонного ГШ соответственно во включенном и выключенном состояниях, мВт.

А.6 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)

$$f_{ПЧ} = -(f_{Г} - f_{с}), \quad (14.18)$$

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

$$f_{ПЧ} = f_{Г} + f_{с}. \quad (14.19)$$

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 (четырёхполосники), и не распространяется на двухполосники, такие как нагрузки или генераторы. Качество генераторов характеризуется 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.

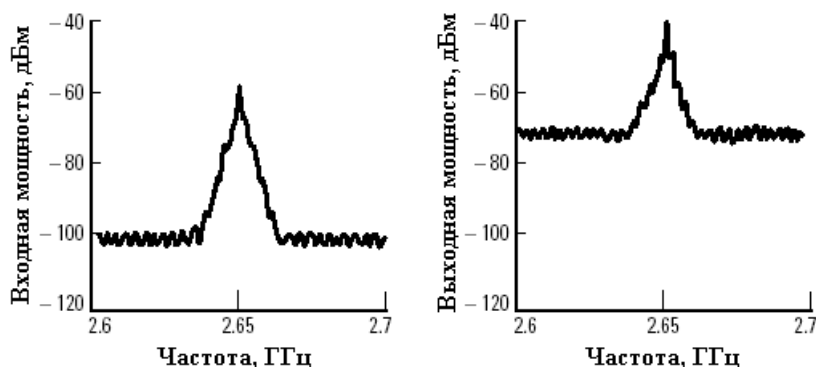


Рисунок Б.1 – Пример, иллюстрирующий ухудшение отношения сигнал/шум в результате добавления собственного шума приёмно-усилительного устройства

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.

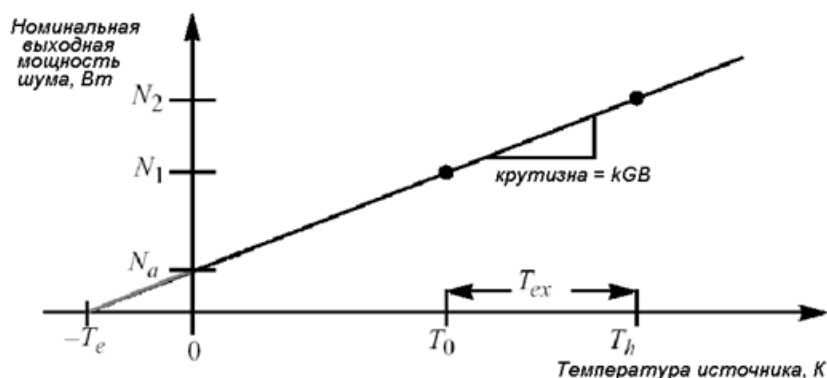


Рисунок Б.2 – Принцип измерения КШ

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 **(справочное)** **Обзор факторов, влияющих на погрешность измерений**

В.1 Общие сведения о погрешностях измерений КШ

Погрешности Х5М 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 неустранимы. 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 Х5М. 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 Х5М (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.

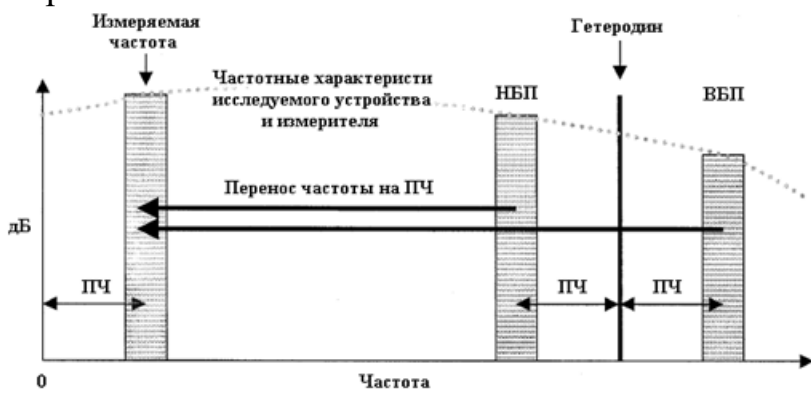
Т а б л и ц а В.1 – Устранимые источники погрешности

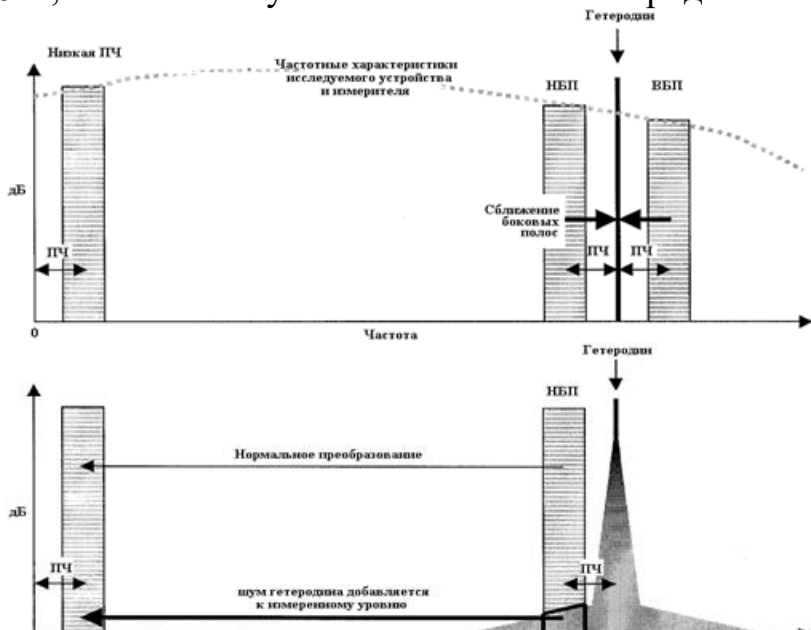
Название	Описание, рекомендации
Использование загрязненных или поврежденных соединителей и переходов	Значения ИОШТ (<i>ENR</i>) приводятся непосредственно для выходного разъема ГШ. Переходы могут вносить дополнительные потери или ухудшать согласование тракта, что увеличивает общую погрешность измерений. 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 X5M; проводить измерения в экранированной комнате

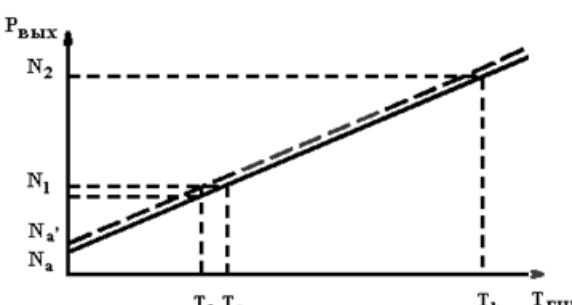
Название	Описание, рекомендации
Изменение КСВН во «включенном» и «выключенном» состояниях	В процессе измерений ГШ автоматически включается и выключается, это приводит к изменению его выходного импеданса (т.е. КСВН), которое отражается на согласовании с исследуемым устройством. Для уменьшения этого эффекта 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
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 (ENR) 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 X5M. 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 X5M, не превышающую полосу пропускания ИУ

Название	Описание, рекомендации
Ограниченная полоса пропускания исследуемого устройства	Основное предположение при измерении КШ заключается в том, чтобы амплитудно-частотная характеристика исследуемого устройства была постоянной в пределах полосы пропускания измерителя. Таким образом, при анализе узкополосных систем необходимо соответственно уменьшать полосу пропускания X5M. Если полоса пропускания исследуемого устройства будет меньше полосы пропускания X5M, это приведет к возникновению погрешности измерения КП, что скажется на коррекции собственного КШ X5M. 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 – X5M». 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 Х5М, 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.

Название	Описание, рекомендации
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 Х5М. 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 Х5М, 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 X5M. 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 Х5М, ГШ и Х5М 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

Название	Описание, рекомендации
Погрешность калибровки значений ИОШТ (<i>ENR</i>) источника шума	Погрешность, обусловленная различием между калиброванными значениями ИОШТ (<i>ENR</i>), представленными на корпусе источника шума (или на жестком носителе), и действительными значениями

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

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 X5M. Исходными данными для вычислений являются другие показатели точности X5M, которые измеряются согласно методикам, приведённым в методике поверки и/или ТУ.

Помимо погрешностей (ПГ) X5M (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) $F_2 = 8,075 \text{ дБ} = 6,419 \text{ отн. ед.}$ – собственный КШ X5M;
- б) $F_{\text{ИУ}} = 5 \text{ дБ} = 3,162 \text{ отн. ед.}$ – КШ исследуемого устройства (ИУ);
- в) $G_{\text{ИУ}} = 10 \text{ дБ} = 10 \text{ отн. ед.}$ – коэффициент передачи (КП) ИУ;
- г) $\text{КСВН}_{\text{ГШ}} = 1,200$ – КСВН выхода генератора шума (ГШ) (соответственно КО $\rho_{\text{ГШ}} = 0,091 [\text{отн. ед.}]$);
- д) $\text{КСВН}_{\text{вх_ИУ}} = \text{КСВН}_{\text{вых_ИУ}} = 1,300$ – КСВН выхода ИУ (соответственно КО будет $\rho_{\text{вх_ИУ}} = \rho_{\text{вых_ИУ}} = \rho_{\text{ИУ}} = 0,130 \text{ отн. ед.}$);

е) $KCBH_{ИКШ} = 1,500$ – $KCBH$ СВЧ-входа Х5М (соответственно $KO_{РИКШ} = 0,200$ [отн. ед.]);

ж) $\Delta F_{сист} = 0,016$ дБ – ПГ измерения КШ из-за нелинейности амплитудной характеристики (инструментальная ПГ) Х5М;

з) $\Delta G_{сист} = 0,014$ дБ – ПГ измерения КП из-за нелинейности АХ Х5М;

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 Х5М F_{12} , отн. ед., по формуле

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Переводя последнее выражение в дБ, получим

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

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

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

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

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

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

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

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

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. : НТИЦ 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 Котляков 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.