

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ

Р4213/Р4226/Р4226А
Руководство по эксплуатации

Часть I. Общие сведения

ЖНКЮ.468166.032 РЭ

Предприятие-
изготовитель: АО «НПФ «Микран»
Адрес: 634041 Россия
г. Томск, пр. Кирова, 51д
тел: 8 800 301-00-29,
+7 (3822) 90-00-29
тел/факс: +7 (3822) 42-36-15
e-mail: pribor@micran.ru
сайт: www.micran.ru
Версия документа: 2.26.0

Содержание

Руководство по эксплуатации	Часть I. Общие сведения	7
1 Нормативные ссылки		7
2 Определения, обозначения и сокращения		8
3 Требования безопасности		10
4 Описание Р42 и принципов его работы		14
4.1 Назначение		14
4.2 Условия окружающей среды.....		15
4.3 Состав		16
4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации		20
4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности.....		24
4.6 Технические характеристики		24
4.7 Устройство и работа Р42		39
4.7.1 Структура		39
4.7.2 Особенности работы		43
5 Подготовка к работе		45
5.1 Эксплуатационные ограничения		45
5.2 Требования к рабочему месту		45
5.3 Контрольно-профилактические работы.....		46
5.3.1 Общие сведения о соединителях		46
5.3.2 Проверка внешнего вида		48
5.3.3 Чистка коаксиальных соединителей		51
5.3.4 Измерение присоединительных размеров		52
5.3.4.1 Калибровка.....		53
5.3.4.2 Проверка размера «А» соединителей.....		54
5.3.5 Сочленение коаксиальных соединителей.....		55
5.3.6 Расчленение коаксиальных соединителей.....		58
6 Средства измерений, инструменты и принадлежности		58
6.1 Обзор.....		58
6.2 Общие сведения о генераторах шума		62
6.2.1 Принципы работы и разновидности ГШ		62
6.2.2 Выбор генераторов шума		63
7 Порядок работы		64
7.1 Расположение органов управления и присоединения.....		64
7.1.1 Передняя панель		64
7.1.2 Задняя панель.....		65
7.2 Сведения о порядке подготовки к проведению измерений		68
7.3 Проведение измерений		70

8 Поверка.....	70
9 Техническое обслуживание.....	70
10 Текущий ремонт	71
10.1 Смена плавкого предохранителя	71
10.2 Гарантийное и послегарантийное обслуживание	72
11 Хранение, транспортирование, упаковка.....	72
11.1 Хранение	72
11.2 Транспортирование	73
11.3 Упаковка.....	73
11.3.1 Распаковывание	73
11.3.2 Повторное упаковывание	74
12 Маркировка и пломбирование	75
13 Гарантии предприятия-изготовителя	76
14 Утилизация.....	77
Приложение А (обязательное) Основные виды измерений и формулы.....	78
А.1 Исключение/встраивание цепей, компенсация	78
А.2 Общие формулы шумовых измерений.....	79
А.3 Измерения с преобразованием частоты	80
Приложение Б (справочное) Основные формулы для коррекции S- параметров и оценка погрешности измерений КШ.....	81
Приложение В (справочное) Библиография.....	91

Анализаторы цепей векторные Р4213, Р4226 выпускаются по техническим условиям ЖНКЮ.468166.032 ТУ.

Анализаторы цепей векторные Р4226А выпускаются по техническим условиям ЖНКЮ.468166.066 ТУ.

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения устройства, принципа действия, правил использования, транспортирования и хранения анализаторов цепей векторных Р4213, Р4226, Р4226А (далее – анализатор, или Р42, или АЦ¹⁾). Целью изучения является обеспечение безопасных для жизни и здоровья условий труда, уменьшение вероятности выхода из строя Р42, получение необходимых знаний для проведения корректных измерений с минимальной погрешностью и устранения возникших неисправностей, доведение до сведения рекламного-просветительской информации.

❗ Внимание! Перед ознакомлением и использованием настоящего документа необходимо проверить наличие его обновления на сайте предприятия-изготовителя (сайт указан на титульном листе) в разделе «Продукция» → «Измерительно-информационные системы» → «Контрольно-измерительная аппаратура СВЧ» → «Анализаторы цепей векторные ...» → 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 Р42, приведены условия эксплуатации, транспортирования и хранения.

Во второй части приведена информация по работе с Р42, описание и установка программного обеспечения, методики калибровки и порядок проведения измерений.

Перед началом эксплуатации Р42 необходимо ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

Год изготовления Р42 должен быть указан на его задней панели и/или в его формуляре.

Предприятие-изготовитель оставляет за собой право, не уведомляя потребителя, вносить в конструкцию Р42 изменения, не влияющие на их метрологические характеристики.

¹⁾Здесь и далее по тексту при использовании термина «анализатор», или обозначения «Р42», описание операций, требований и т.д. относится ко всем исполнениям и модификациям Р4213 и Р4226. 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, Р4226/2.

❗ Внимание! Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации Р42, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.

К эксплуатации Р42 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 Р42 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 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

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

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

ГОСТ 5556-2022 Вата медицинская гигроскопическая. Технические условия.

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

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов.

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

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

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

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

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

ГОСТ РВ 51914-2002.

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

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

ТР ТС 020/2011. Технический регламент Таможенного союза. Электро-

магнитная совместимость технических средств. – Утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011 г. N 879. – с изм. на 10.06.2022 г.

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

2 Определения, обозначения и сокращения

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

анализатор (или Р42): Векторный анализатор цепей Р4213, или Р4226, или Р4226А.

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

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

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.

АЦ – то же, что анализатор.

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.

ИОШТ – избыточная относительная шумовая температура.

ИПР – измеритель присоединительных размеров.

ИУ – исследуемое устройство.
КО – коэффициент отражения.
КП – коэффициент передачи.
КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению.
КШ – коэффициент шума.
ЛПД – лавинно-пролетный диод.
НГШ – низкотемпературный генератор шума.
ОГ – опорный генератор.
ОС – операционная система.
ПГ – погрешность.
ПК – персональный компьютер.
ПО – программное обеспечение.
ПЧ – промежуточная частота.
РЭ – руководство по эксплуатации.
СВЧ – сверхвысокие частоты.
СИ – средство измерения.
СН – согласованная нагрузка.
СПМШ – спектральная плотность мощности шума.
СЧ – синтезатор частот.
ЭД – эксплуатационная документация.
ЭМС – электромагнитная совместимость.

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

3 Требования безопасности

❗ Внимание! *Предприятие-изготовитель не несёт ответственности за последствия неправильной эксплуатации Р42, нарушения правил безопасности и несоблюдения прочих необходимых мер предосторожности.*

При эксплуатации Р42 необходимо соблюдать «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» [2], «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии» [3] актуальные на момент использования Р42.

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 Р42 возможно поражение электрическим током.*

В измерительном блоке Р42 присутствует напряжение ~ 230 В 50 Гц 1 А, поэтому при эксплуатации и контрольно-профилактических работах, проводимых с Р42, строго соблюдайте соответствующие меры предосторожности:

- запрещается включать в сеть электропитания незаземлённый Р42;
- перед работой необходимо проверить наличие системы защитного заземления;
- перед подключением Р42 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо путём визуального осмотра убедиться в исправности кабеля питания и соединить зажим защитного заземления (далее – клемма заземления), обозначенный символом  и находящийся на задней панели Р42, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с занулённым зажимом питающей сети);
- по окончании работы и отключения Р42 от сети электропитания и от других приборов клемму защитного заземления следует отсоединить от системы заземления или зануления;
- запрещается заземлять Р42 через систему отопления и другие системы, не приспособленные для этой цели; при отсутствии системы заземления необходимо воспользоваться занулённым 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 Р42!

i При попадании статического разряда на Р42 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 Р42 от сети питания и от других приборов;
- запрещается подавать на СВЧ-входы Р42 мощность и постоянное напряжение, превышающие значения, указанные на передней панели Р42 рядом со знаком  (в случае превышения мощности на входе Р42 в программе управления на левой статусной панели должен появиться индикатор перегрузки ).

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.

i Внимание! Волноводы сечением 23×10 мм и более не рекомендуется накручивать непосредственно на порты Р42 во избежание повреждения их соединителей. Накручивание рекомендуется производить с использованием кабеля СВЧ из комплекта поставки!

i Внимание! После подсоединения кабелей СВЧ (из комплекта поставки) к Р42 для уменьшения вероятности их лишних изгибов, на свободный соединитель кабелей рекомендуется подключить переход и далее при калибровке и измерениях его не отсоединять.

Между выключением электропитания и последующим включением Р42, 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 Р42 не рекомендуется оставлять кабель типа BNC (вилка) – BNC (вилка), подключённым к Р42 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 Р42! Отключение питания ГШ следует проводить в обратной последовательности!

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

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

❗ Внимание! При проведении всех видов работ с Р42 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 Р42 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 легко впитывающим материа-

лом 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 Р42 между рабочими местами, а также при длительном простое, коаксиальные соединители Р42 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 Р42 и принципов его работы

4.1 Назначение

Наименование: Анализаторы цепей векторные Р4213, Р4226; Анализаторы цепей векторные Р4226А.

Обозначение: ЖНКЮ.468166.032 для Р4213, Р4226 и ЖНКЮ.468166.066 для Р4226А.

Регистрационный номер по Государственному реестру СИ: 75325-19 для Р4213, Р4226, и 94495-25 для Р4226А.

Анализаторы цепей векторные Р4213, Р4226 и Р4226А поддерживают следующие основные виды измерений: измерение S -параметров. Р4226А дополнительно поддерживает измерение коэффициента шума (далее – КШ).

Анализаторы цепей векторные предназначены для измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения (S -параметров) двухполюсников и четырёхполюсников в метрических и дюймовых коаксиальных волноводах с диаметрами поперечных сечений 7,00/3,04; 3,50/1,52; а также в прямоугольных волноводах с сечениями 11×5,5, 16×8, 23×10, 28,5×12,6, 35×15, 40×20, 48×24, 58×25, 72×34 мм (более подробно см. п. 4.6). Для трактов с диаметрами сечений, отличными от 3,50/1,52 (дюйм), необходимо использовать соответствующие наборы мер, а также переходы на этапе калибровки и (или) измерений. Калибровка может осуществляться с помощью механических наборов мер, мер для волноводов, калибраторов электронных.

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. Р42 может эксплуатироваться в лабораторных и производственных условиях, в цехах, ремонтных мастерских и других закрытых помещениях при соответствующих условиях применения. Нормальные и рабочие условия применения приведены в п. 4.2.

Анализаторы цепей векторные 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.).

АЦ поддерживает виды пользовательской калибровки для измерений S -

параметров:

- однопортовая *SOLT*-калибровка;
- двухпортовая *SOLT*-калибровка в одном направлении;
- полная двухпортовая *SOLT*-калибровка;
- калибровка частотной неравномерности по отражению (скалярная калибровка для измерения КО);
- калибровка частотной неравномерности на проход (скалярная калибровка для измерения КП);
- калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств;
- полная двухпортовая *TRL* (либо *TRM*, или *LRL*, или *LRM* – в зависимости от состава выбранного калибровочного набора).

Р42 имеют соответствующие входы и выходы аналоговой и цифровой синхронизаций для работы с другими приборами в составе измерительных комплексов. АЦ работают под управлением внешнего ПК, который осуществляет функции управления Р42 и отображение результатов измерений (не входит в комплект поставки); для связи с ПК используется интерфейс *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*. Для управления Р42 предназначено ПО *Graphit* (программа управления); а с целью обеспечения возможности автоматизации измерений для внешнего управления Р42 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 Р42 приведены в таблице 4.1

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

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

Анализаторы цепей векторные Р42 являются устойчивыми к воздействию внешних климатических факторов в рабочих условиях применения согласно таблице 4.2, и прочными к воздействию внешних климатических факторов в предельных условиях транспортирования, а также в транспортной упаковке обладают прочностью при воздействии механических ударов многократного дей-

ствия, согласно таблице 4.3.

Т а б л и ц а 4.2 – Рабочие условия применения Р42

Влияющая величина	Значение
Температура окружающего воздуха, °С:	
нижнее значение	15
верхнее значение	35
Относительная влажность воздуха при 25 °С, %, не более	
Р4213, Р4226	85
Р4226А	80
Атмосферное давление, мм рт.ст.	537–800

Т а б л и ц а 4.3 – Предельные условия транспортирования Р42

Влияющая величина	Значение
Температура окружающего воздуха, °С:	
нижнее значение	минус 50
верхнее значение	70
Относительная влажность воздуха при 30 °С, %	95
Атмосферное давление, мм рт.ст.	537–800
Механические удары многократного действия (в транспортной упаковке):	
число ударов в минуту	80
максимальное ускорение, м/с ² (g)	30
длительность импульса, мс	6
число ударов по каждому направлению воздействия	4000

Рабочие условия применения (эксплуатации) Р42 при измерении S-параметров должны соответствовать таблице 4.2. При измерении КШ (только для Р4226А) рабочие условия применения также должны соответствовать указанной таблице (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 Р42); в противном случае рабочие условия применения должны соответствовать нормальным условиям согласно таблице 4.1.

4.3 Состав

Комплектность поставки Р42 приведена в таблицах 4.4–4.5.

Т а б л и ц а 4.4 – Комплект поставки Р4213 и Р4226

Наименование, тип	Обозначение	Количество, шт.	Примечание
Анализатор цепей векторный Р4213/1; Р4213/2; Р4213/3; Р4213/4; Р4213/5; Р4213/6	ЖНКЮ.468166.032	1	модификация определяется при заказе
Анализатор цепей векторный Р4226/1; Р4226/2; Р4226/3; Р4226/4, Р4226/5	ЖНКЮ.468166.033	1	
Кабель СВЧ КСА18А-11-11-600 (0,6 м) КСА18А-11Р-11-600 (0,6 м) КСА18А-11-11-1000 (1 м) КСА18А-11Р-11-1000 (1 м)	ЖНКЮ.685671.145-02.05 ЖНКЮ.685671.172-03.05 ЖНКЮ.685671.145-02.09 ЖНКЮ.685671.172-03.09	1 1 1 1	поставляются для Р4213 с опцией «11Р» и только парами одной длины (0,6 м или 1 м)
Кабель СВЧ КСА18А-01-01-600 (0,6 м) КСА18А-01Р-01-600 (0,6 м) КСА18А-01-01-1000 (1 м) КСА18А-01Р-01-1000 (1 м)	ЖНКЮ.685671.145-00.05 ЖНКЮ.685671.172-00.05 ЖНКЮ.685671.145-00.09 ЖНКЮ.685671.172-00.09	1 1 1 1	поставляются для Р4213 с опцией «01Р» и только парами одной длины (0,6 м или 1 м)
Кабель СВЧ КСФ26-13РН-13Н-700 (0,7 м) КСФ26-13РН-13Н-1000 (1 м)	ЖНКЮ.685675.001-01 ЖНКЮ.685675.001-04	2 1(2)	поставляются для Р4226 (длиной 0,7 м только парами)
Кабель	ЖНКЮ.685671.069	6	перемычки, для опций «ДПА», «ДМА»
Ключ тарифованный КТ-4	ЖНКЮ.296442.001-03	1	только для Р4213
Ключ поддерживающий КП-2	ЖНКЮ.764431.006	1	только для Р4213
Ключ тарифованный КТ-3	ЖНКЮ.296442.001-02	1	только для Р4226
Ключ поддерживающий КП-3	ЖНКЮ.764431.011	1	только для Р4226
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.468166.032 РЭ	1	
Формуляр	ЖНКЮ.468166.032 ФО ЖНКЮ.468166.033 ФО	1	для Р4213 для Р4226
Методика поверки	МП-191-РА.RU.310556-2019	1	
Программный комплекс GraphitP4M	ЖНКЮ.02009-00	1	поставляется на цифровом носителе ¹⁾
Электронный калибратор Р4М-ЭК4-18А-01-01 Р4М-ЭК4-18А-01Р-01 Р4М-ЭК4-18А-01Р-01Р Р4М-ЭК4-18А-11-11 Р4М-ЭК4-18А-11Р-11 Р4М-ЭК4-18А-11Р-11Р Р4М-ЭК4-20-03-03 Р4М-ЭК4-20-03Р-03 Р4М-ЭК4-20-03Р-03Р Р4М-ЭК4-20-13-13	ЖНКЮ.468169.008-12 ЖНКЮ.468169.008-13 ЖНКЮ.468169.008-14 ЖНКЮ.468169.008-15 ЖНКЮ.468169.008-16 ЖНКЮ.468169.008-17 ЖНКЮ.468169.008-06 ЖНКЮ.468169.008-07 ЖНКЮ.468169.008-08 ЖНКЮ.468169.008-09	1	Тип соединителей: III (вилка – вилка) III (розетка – вилка) III (розетка – розетка) N (вилка – вилка) N (розетка – вилка) N (розетка – розетка) IX (вилка – вилка) IX (розетка – вилка) IX (розетка – розетка) 3,5 мм (вилка – вилка)

Р4М-ЭК4-20-13Р-13 Р4М-ЭК4-20-13Р-13Р	ЖНКЮ.468169.008-10 ЖНКЮ.468169.008-11		3,5 мм (розетка – вилка) 3,5 мм (розетка – розетка)
Набор калибровочных мер НКМВ-У-35×15-01-01Р НКМВ-У-35×15-11-11Р НКМВ-У-28,5×12,6-01-01Р НКМВ-У-28,5×12,6-11-11Р НКМВ-У-23×10-01-01Р НКМВ-У-23×10-11-11Р НКМВ-У-23×10-13Р-13Р НКМВ-У-16×8-13Р-13Р НКМВ-У-11×5,5-13Р-13Р	 ЖНКЮ.468955.057 ЖНКЮ.468955.058 ЖНКЮ.468955.026 ЖНКЮ.468955.027 ЖНКЮ.468955.028 ЖНКЮ.468955.029 ЖНКЮ.468955.045 ЖНКЮ.468955.049 ЖНКЮ.468955.051	1	Сечение прямоугольного волновода 35×15 (для Р4213) 35×15 (для Р4213) 28,5×12,6 (для Р4213) 28,5×12,6 (для Р4213) 23×10(для Р4213) 23×10(для Р4213) 23×10 (для Р4226) 16×8 (для Р4226) 11×5,5 (для Р4226)
Упаковка	ЖНКЮ.468916.015 ЖНКЮ.468916.015-01	1	для Р4213 для Р4226
¹Последнюю версию программного обеспечения можно найти на официальном сайте предприятия-производителя www.micran.ru. Примечание – количество и типы кабелей СВЧ, тарифованных и поддерживающих ключей, волноводных калибровочных наборов и электронных калибраторов определяются при заказе.			

Таблица 4.5 – Комплектность Р4226А

Наименование, тип	Обозначение	Количество, шт.	Примечание
Анализатор цепей векторный Р4226А	ЖНКЮ.468166.066	1	–
Кабель СВЧ КСФ26-13РН-13Н-700 (0,7 м) КСФ26-13РН-13Н-1000 (1 м)	ЖНКЮ.685675.001-01 ЖНКЮ.685675.001-04	2 1(2)	длиной 0,7 м поставляются только парами
Кабель-перемычка	ЖНКЮ.685671.515	6	перемычки передней панели
Ключ тарифованный КТ-3	ЖНКЮ.296442.001-02	1	–
Ключ поддерживающий КП-3	ЖНКЮ.764431.011	1	–
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.468166.032 РЭ	1	–
Формуляр	ЖНКЮ.468166.066 ФО	1	–
Программное обеспечение Graphit Р4М	ЖНКЮ.02065-01	1	поставляется на цифровом носителе ¹
Наборы калибровочных мер НКММ-01-01Р	 ЖНКЮ.468955.003	–	по отдельному заказу III

Наименование, тип	Обозначение	Количество, шт.	Примечание
НКММ-11-11Р НКММ-03-03Р НКММ-13-13Р	ЖНКЮ.468955.004 ЖНКЮ.468955.001 ЖНКЮ.468955.002		N IX вар.3 3,5 мм
Калибратор электронный		1	Тип соединителей:
Р4М-ЭК4-20-03-03	ЖНКЮ.468169.008-06		IX (вилка – вилка)
Р4М-ЭК4-20-03Р-03	ЖНКЮ.468169.008-07		IX (розетка – вилка)
Р4М-ЭК4-20-03Р-03Р	ЖНКЮ.468169.008-08		IX (розетка – розетка)
Р4М-ЭК4-20-13-13	ЖНКЮ.468169.008-09		3,5 мм (вилка – вилка)
Р4М-ЭК4-20-13Р-13	ЖНКЮ.468169.008-10		3,5 мм (розетка – вилка)
Р4М-ЭК4-20-13Р-13Р	ЖНКЮ.468169.008-11		3,5 мм (розетка – розетка)
Переход коаксиальный		1(2)	Комплектуется при использовании НКМВ-У с типом соединителей III, N (по ГОСТ РВ 51914-2002)
Набор калибровочных мер		1	Сечение волновода
НКМВ-У-72х34-01-01Р	ЖНКЮ.468955.097		72х34
НКМВ-У-72х34-11-11Р	ЖНКЮ.468955.097-01		72х34
НКМВ-У-72х34-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.097-02		72х34
НКМВ-У-72х34-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.097-03		72х34
НКМВ-У-58х25-01-01Р	ЖНКЮ.468955.081		58х25
НКМВ-У-58х25-11-11Р	ЖНКЮ.468955.081-01		58х25
НКМВ-У-58х25-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.081-02		58х25
НКМВ-У-58х25-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.081-03		58х25
НКМВ-У-48х24-01-01Р	ЖНКЮ.468955.085		48х24
НКМВ-У-48х24-11-11Р	ЖНКЮ.468955.085-01		48х24
НКМВ-У-48х24-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.085-02		48х24
НКМВ-У-48х24-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.085-03		48х24
НКМВ-У-40х20-01-01Р	ЖНКЮ.468955.083		40х20
НКМВ-У-40х20-11-11Р	ЖНКЮ.468955.082		40х20
НКМВ-У-40х20-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.083-01		40х20
НКМВ-У-40х20-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.082-01		40х20
НКМВ-У-35х15-01-01Р	ЖНКЮ.468955.057		35х15
НКМВ-У-35х15-11-11Р	ЖНКЮ.468955.058		35х15
НКМВ-У-35х15-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.105		35х15
НКМВ-У-35х15-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.105-01		35х15
НКМВ-У-28,5х12,6-01-01Р	ЖНКЮ.468955.026		28,5х12,6
НКМВ-У-28,5х12,6-11-11Р	ЖНКЮ.468955.027		28,5х12,6
НКМВ-У-28,5х12,6-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.040		28,5х12,6
НКМВ-У-28,5х12,6-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.041		28,5х12,6
НКМВ-У-28,5х12,6-13Р-13Р	ЖНКЮ.468955.089		28,5х12,6
НКМВ-У-28,5х12,6-03Р-03Р	ЖНКЮ.468955.089-01		28,5х12,6

Наименование, тип	Обозначение	Количество, шт.	Примечание
НКМВ-У-28,5×12,6-13-13Р	ЖНКЮ.468955.089-02		28,5×12,6
НКМВ-У-28,5×12,6-03-13Р	ЖНКЮ.468955.089-03		28,5×12,6
НКМВ-У-23×10-01-01Р	ЖНКЮ.468955.028		23×10
НКМВ-У-23×10-11-11Р	ЖНКЮ.468955.029		23×10
НКМВ-У-23×10-03-03Р	ЖНКЮ.468955.030		23×10
НКМВ-У-23×10-13-13Р	ЖНКЮ.468955.031		23×10
НКМВ-У-23×10-01Р-01Р	ЖНКЮ.468955.042		23×10
НКМВ-У-23×10-11Р-11Р	ЖНКЮ.468955.043		23×10
НКМВ-У-23×10-03Р-03Р	ЖНКЮ.468955.044		23×10
НКМВ-У-23×10-13Р-13Р	ЖНКЮ.468955.045		23×10
НКМВ-У-16×8-13Р-13Р	ЖНКЮ.468955.049		16×8
НКМВ-У-11×5,5-13Р-13Р	ЖНКЮ.468955.051		11×5,5
Упаковка	—	1	—
¹⁾Последнюю версию программного обеспечения можно найти на официальном сайте предприятия-производителя www.micran.ru. Примечание — Количество и типы кабелей СВЧ, тарированных и поддерживающих ключей, наборов калибровочных мер, переходов коаксиальных и калибраторов электронных определяются при заказе. В комплекте должно присутствовать не менее одного кабеля СВЧ для измерений в коаксиальном волноводе, и не менее двух для измерений в прямоугольном волноводе.			

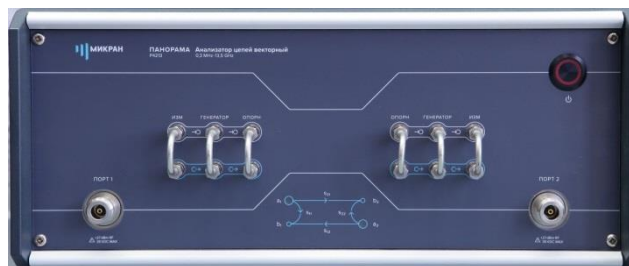
4.4 Внешний вид, опции, исполнения и модификации

АЦ выполняются в двух вариантах корпусов (в зависимости от исполнения). Внешний вид анализаторов в двух вариантах корпусов с обозначением мест нанесения знака утверждения типа и защиты от несанкционированного доступа в виде пломбирования представлен на рисунках 4.1–4.4.

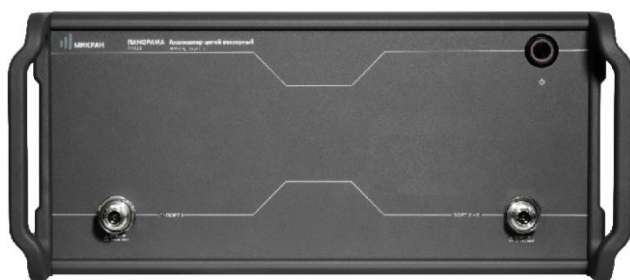
Каждая модификация характеризуется определенным набором конструктивных особенностей и возможностей (аппаратных опций), определяющих функциональные возможности Р42. Модификации Р4213, Р4226 с указанием соответствующих им наборов опций, а также описание опций, приведены в таблицах 4.6–4.7. Анализатор Р4226А имеет все опции, указанные для Р4213, Р4226, и дополнительно позволяет проводить измерения КШ. Модификаций и, соответственно, использование понятие «опция» для Р4226А не предусмотрено.



а)



в)



б)



г)

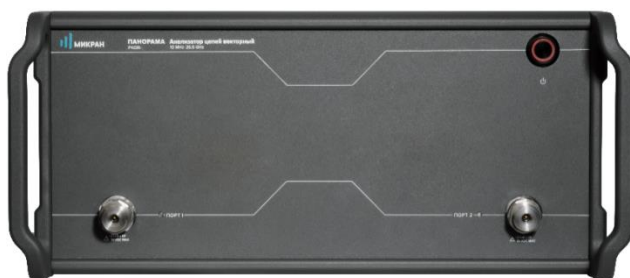
Рисунок 4.1 – Внешний вид векторного анализатора цепей Р4213 (передняя панель) в зависимости от исполнения: а) и б) Р4213/1, Р4213/2; в) и г) Р4213/3, Р4213/4, Р4213/5, Р4213/6



а)



в)



б)



г)

Рисунок 4.2 – Внешний вид векторного анализатора цепей Р4226 и Р4226А (передняя панель) в зависимости от исполнения: а) и б) Р4226/1; в) и г) Р4226/2, Р4226/3, Р4226/4, Р4226/5, Р4226А.

Место для пломбирования от несанкционированного доступа

Место нанесения знака об утверждении типа средства измерений, знака поверки и заводского номера



Рисунок 4.3 – Общий вид задней панели Р42 (для одного из вариантов исполнения) со схемой пломбировки от несанкционированного доступа

Место для пломбирования от несанкционированного доступа

Место нанесения знака об утверждении типа средства измерений, знака поверки и заводского номера



Рисунок 4.4 – Общий вид задней панели Р42 (для одного из вариантов исполнения) со схемой пломбировки от несанкционированного доступа

Таблица 4.6 – Модификации Р4213, Р4226

Наименование	Примечание
Анализатор цепей векторный Р4213/1	опция «Р42-01Р»

Наименование	Примечание
Анализатор цепей векторный Р4213/2	опция «Р42-11Р»
Анализатор цепей векторный Р4213/3	опция «Р42-01Р», «Р42-ДПА»
Анализатор цепей векторный Р4213/4	опция «Р42-11Р», «Р42-ДПА»
Анализатор цепей векторный Р4213/5	опция «Р42-01Р», «Р42-ДМА»
Анализатор цепей векторный Р4213/6	опция «Р42-11Р», «Р42-ДМА»
Анализатор цепей векторный Р4226/1	опция «Р42-13Н»
Анализатор цепей векторный Р4226/2	опция «Р42-13Н», «Р42-ДПА»
Анализатор цепей векторный Р4226/3	опция «Р42-13Н», «Р42-ДМА»
Анализатор цепей векторный Р4226/4	опция «Р42-13Н», «Р42-ДПА», «Р42-СПА»
Анализатор цепей векторный Р4226/5	опция «Р42-13Н», «Р42-ДМА», «Р42-СПА»
Примечание – Опции «Р42-01Р», «Р42-11Р», «Р42-13Н», «Р42-ДПА», «Р42-ДМА», «Р42-СПА» далее по тексту соответственно – «01Р», «11Р», «13Н» «ДПА», «ДМА» «СПА».	

Таблица 4.7 – Описание опций Р4213, Р4226

Опция	Описание
«01Р»	На измерительных портах установлен соединитель типа III, розетка ¹⁾ . Исключает опции «11Р» и «13Н»
«11Р»	На измерительных портах установлен соединитель типа N, розетка ²⁾ . Исключает опции «01Р» и «13Н»
«13Н»	На измерительных портах установлен соединитель типа NMD 3,5 мм, вилка ²⁾ . Исключает опции «01Р» и «11Р»
«ДПА»	Анализатор комплектуется перемычками для прямого доступа к входам измерительных и опорных приемников
«ДМА»	В анализаторе устанавливаются, кроме перемычек (опция «ДПА»), аттенюаторы для расширения диапазона регулировки уровня выходной мощности, подаваемого на исследуемое устройство, и обеспечения оптимального режима работы приемников
«СПА»	В анализаторе устанавливаются переключатель, позволяющий управлять путем распространения сигнала первого опорного канала для реализации измерений параметров устройств с преобразованием частоты
«ИИП» ³⁾	Программная опция импульсных измерений
«СЧП» ³⁾	Программная опция смещения частоты приемника

Опция	Описание
	¹⁾ По ГОСТ 13317; сечение тракта 7/3,04 мм, метрическая резьба. ²⁾ 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. ³⁾ Предоставление данных опций возможно для любой модификации и определяется при заказе.

4.5 Соответствие требованиям по ЭМС и безопасности

По требованиям к ЭМС Р42 в корпусах согласно рисунку 4.1 а), в) и 4.2 а), в) соответствуют ГОСТ Р МЭК 61326-1 (включенный в перечень стандартов ТР ТС 020), а по требованиям безопасности – ГОСТ 12.2.007.0 (включен в перечень стандартов ТР ТС 004).

4.6 Технические характеристики

Гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.8–4.13 с допусками или предельными значениями. Значения величин без допусков являются справочными. Далее представлены основные справочные и гарантированные характеристики Р42 (см. таблицы 4.8–4.15).

Для внешнего управления Р42 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 Р42 сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д.

Т а б л и ц а 4.8 – Основные метрологические характеристики Р4213, Р4226

Наименование характеристики	Значение характеристики
1 Диапазон рабочих частот, МГц:	
для Р4213	
- при работе в коаксиальном волноводе	от 0,3 до 13500
- при работе в прямоугольном волноводе 35×15 мм	от 5640 до 8150
- при работе в прямоугольном волноводе 28,5×12,6 мм	от 6850 до 9930
- при работе в прямоугольном волноводе 23×10 мм	от 8150 до 12050
для Р4226	
- при работе в коаксиальном волноводе	от 10 до 26500

- при работе в прямоугольном волноводе 23×10 мм - при работе в прямоугольном волноводе 16×8 мм - при работе в прямоугольном волноводе 11×5,5 мм	от 8150 до 12050 от 12050 до 17440 от 17440 до 25950
2 Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала:	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
3 Диапазон установки уровня выходной мощности, дБ/мВт ¹⁾ для Р4213: без опции «ДМА» - в диапазоне частот до 10 МГц включ. - в диапазоне частот св. 10 МГц до 6 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 6 ГГц до 13,5 ГГц включ. с опцией «ДМА» - в диапазоне частот до 10 МГц включ. - в диапазоне частот св. 10 МГц до 13,5 ГГц включ. для Р4226: без опции «ДМА» - в диапазоне частот до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ. с опцией «ДМА»	от -20 до 5 от -20 до 10 от -25 до 10 от -50 до 5 от -50 до 10 от -20 до 10 от -25 до 10 от -50 до 10
4 Пределы допускаемой относительной погрешности установки уровня выходной мощности, дБ: - при уровне мощности от минус 20 дБ/мВт до 10 дБ/мВт - при уровне мощности менее минус 20 дБ/мВт	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$
5 Пределы допускаемой относительной погрешности измерения уровня входной мощности (для диапазона установки уровня выходной мощности), дБ:	$\pm 1,5$
6 Диапазон ослаблений аттенюаторов измерительных приёмников (для измерителей с опцией «ДМА», с шагом 10 дБ и точностью установки величины ослабления $\pm 2,0$ дБ), дБ:	от 0 до 30
7 Средний уровень собственного шума приёмников в диапазоне частот, дБ/мВт в полосе 1 Гц, не более для Р4213: - в диапазоне частот от 300 кГц до 10 МГц включ. - в диапазоне частот св. 10 МГц до 13,5 ГГц включ. для Р4226: - в диапазоне частот от 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.	-100 -125 -80 -120 -125 -127 -133
8 Диапазон измерений модуля коэффициента отражения: ²⁾	от 0 до 1
9 Диапазон измерения модуля коэффициента передачи, дБ ³⁾ для Р4213: - в диапазоне частот от 300 кГц до 10 МГц включ.	от -90 до 30 от -115 до 35

- в диапазоне частот св. 10 МГц до 13,5 ГГц включ. для Р4226: - в диапазоне частот до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.	- от -70 до 30 - от -110 до 30 - от -115 до 30 - от -117 до 35 - от -123 до 35
10 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения двухполюсников ΔS_{11} (ΔS_{22}), после калибровки с: ^{4) 5)} - набором калибровочных мер (таблица 4.14) $\pm(0,011+0,006 \cdot S_{11} +0,014 \cdot S_{11} ^2)$ - калибратором электронным ⁶⁾ $\pm(0,012+0,011 \cdot S_{11} +0,032 \cdot S_{11} ^2)$ - набором калибровочных мер для прямоугольного волновода $\pm(0,010+0,011 \cdot S_{11} +0,032 \cdot S_{11} ^2)$	
11 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения четырехполюсников ΔS_{11} (ΔS_{22}), после калибровки с: ^{4) 5)} - набором калибровочных мер (таблица 4.14) $\pm(0,011+0,006 \cdot S_{11} +0,014 \cdot S_{11} ^2+0,014 \cdot S_{21} \cdot S_{12})$ - калибратором электронным ⁶⁾ $\pm(0,012+0,011 \cdot S_{11} +0,032 \cdot S_{11} ^2+0,018 \cdot S_{21} \cdot S_{12})$ - набором калибровочных мер для прямоугольного волновода $\pm(0,010+0,011 \cdot S_{11} +0,032 \cdot S_{11} ^2+0,018 \cdot S_{21} \cdot S_{12})$	
12 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения двухполюсников, градус: ^{4) 5)} - при измерениях непосредственно на порту АЦ $\pm(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{11}/ S_{11})$ - при измерениях с использованием кабеля СВЧ $\pm[1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{11}/ S_{11})]$	
13 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения четырёхполюсников, градус: ^{4) 5)} - при измерениях непосредственно на порту АЦ $\pm(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{11}/ S_{11})$ - при измерениях с использованием кабеля СВЧ $\pm[1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{11}/ S_{11})]$	
14 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи ΔS_{21} (ΔS_{12}), дБ, после калибровки с: ^{4) 5) 7)} - набором калибровочных мер (таблица 4.14) - калибратором электронным ⁶⁾ $\pm 20 \cdot \lg(1 - (0,020 + 0,014 \cdot S_{11} + 0,014 \cdot S_{22} + (5/2)^N \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot S_{21} ^{-1}))$ - набором калибровочных мер для прямоугольного волновода $\pm 20 \cdot \lg(1 - (0,025 + 0,032 \cdot S_{11} + 0,018 \cdot S_{22} + (5/2)^N \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot S_{21} ^{-1}))$	

15 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи, градус: ^{4) 5)} $\pm[0,5+(180/\pi) \cdot \arcsin(1-10^{\Delta S_{21}/20})]$	
16 Среднеквадратическое значение шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения, ⁸⁾ при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц, дБ, не более:	
для Р4213	
- в диапазоне частот от 300 кГц до 100 МГц включ.	0,01
- в диапазоне частот св. 100 МГц до 13,5 ГГц включ.	0,003
для Р4226	
- в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ.	0,01
- в диапазоне частот св. 100 МГц до 26,5 ГГц включ.	0,003
17 Параметры измерительных портов нескорректированные:	
Модуль коэффициента отражения в режиме источника сигнала, дБ, не более:	
для Р4213	
- в диапазоне частот от 10 МГц до 2 ГГц включ.	-20
- в диапазоне частот св. 2 ГГц до 13,5 ГГц включ.	-12
для Р4226	
- в диапазоне частот от 100 МГц до 12 ГГц включ.	-14
- в диапазоне частот св. 12 ГГц до 26,5 ГГц включ.	-10
Модуль коэффициента отражения в режиме приёмника сигнала в диапазоне частот, дБ, не более:	
для Р4213	
- в диапазоне частот от 10 МГц до 2 ГГц включ.	-20
- в диапазоне частот св. 2 ГГц до 13,5 ГГц включ.	-10
для Р4226	
- в диапазоне частот от 100 МГц до 12 ГГц включ.	-12
- в диапазоне частот св. 12 ГГц до 26,5 ГГц включ.	-9
Направленность, дБ, не более:	
для Р4213	
- в диапазоне частот от 10 МГц до 2 ГГц включ.	-25
- в диапазоне частот св. 2 ГГц до 13,5 ГГц включ.	-18
для Р4226	
- в диапазоне частот от 100 МГц до 12 ГГц включ.	-18
¹⁾ Сокращение дБ/мВт обозначает уровень мощности в дБ относительно 1 мВт. ²⁾ Погрешности нормируется в диапазоне модуля коэффициента отражения S11 от 0,012 до 0,998 и полосе пропускания фильтра ПЧ от 10 Гц до 1 кГц. ³⁾ Диапазон и погрешность измерений модуля коэффициента передачи от 0 дБ до 30 (35) дБ обеспечивается после выполнения полной двухпортовой калибровки при уровне выходной мощности минус 20 (минус 25) дБ/мВт соответственно. ⁴⁾ Диапазоны и пределы погрешностей измерений коэффициентов передачи и отражения приведены при использовании кабелей СВЧ из комплекта поставки, при уровне выходной мощности источника сигнала минус 10 дБ/мВт, при ослаблении аттенюаторов приёмников 0 дБ, для рабочего диапазона температур окружающей среды и изменении температуры не более ± 2 °С после выполнения однопортовой (только для коэффициента отражения) или полной двухпортовой калибровки (включая изоляцию), с использованием: - калибратора электронного ⁶⁾ , указанного в таблице 4.4;	

- набора калибровочных мер для прямоугольного волновода, указанного в таблице 4.4 (только двухпортовая калибровка);
- набора калибровочных мер для коаксиального волновода (не входит в комплект, требуемые параметры приведены в таблице 4.14).
- ⁵⁾ |S11|, |S12|, |S21| и |S22| – модули S-параметров измеряемого устройства, отн. ед.
- ⁶⁾ Нижняя граница диапазона рабочих частот калибратора электронного равна 10 МГц
- ⁷⁾ N = 0 при полосе пропускания фильтра ПЧ $\Delta f_{ПЧ} = 10$ Гц; N = 1 при $\Delta f_{ПЧ} = 100$ Гц; N = 2 при $\Delta f_{ПЧ} = 1000$ Гц; N = 3 при $\Delta f_{ПЧ} = 10000$ Гц.
- ⁸⁾ Определяется при соединении измерительных портов кабелем СВЧ и при подключении к измерительным портам короткозамкнутых нагрузок.

Т а б л и ц а 4.9 – Основные метрологические характеристики Р4226А

Наименование характеристики	Значение характеристики
1 Диапазон рабочих частот, МГц: - при работе в коаксиальном волноводе - при работе в прямоугольном волноводе 72×34 мм - при работе в прямоугольном волноводе 58×25 мм - при работе в прямоугольном волноводе 48×24 мм - при работе в прямоугольном волноводе 40×20 мм - при работе в прямоугольном волноводе 35×15 мм - при работе в прямоугольном волноводе 28,5×12,6 мм - при работе в прямоугольном волноводе 23×10 мм - при работе в прямоугольном волноводе 16×8 мм - при работе в прямоугольном волноводе 11×5,5 мм	от 10 до 26500 от 2590 до 3940 от 3200 до 4800 от 3940 до 5640 от 4800 до 6850 от 5640 до 8150 от 6850 до 9930 от 8150 до 12050 от 12050 до 17440 от 17440 до 25950
2 Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала:	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
3 Диапазон установки уровня выходной мощности, дБ/мВт¹⁾ Для ПОРТ 1 - в диапазоне частот от 10 МГц до 26,5 МГц включ. Для ПОРТ 2 - в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ. - в диапазоне частот св. 100 МГц до 24 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 24 ГГц до 26,5 ГГц включ.	от -50 до 10 от -50 до 3 от -50 до 10 от -50 до 7
4 Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности, дБ: - при уровне мощности от минус 20 дБ/мВт до 10 дБ/мВт - при уровне мощности менее минус 20 дБ/мВт	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$
5 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности (для диапазона установки уровня выходной мощности), дБ:	$\pm 1,5$
6 Диапазон ослаблений аттенуаторов измерительных приемников (с шагом 10 дБ и пределами погрешности установки величины ослабления $\pm 2,0$ дБ), дБ:	от 0 до 30
7 Средний уровень собственного шума приемников в диапа-	

Наименование характеристики	Значение характеристики
зоне частот, дБ/мВт в полосе 1 Гц, не более Для ПОРТ 1 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ. Для ПОРТ 2 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.	-80 -100 -120 -125 -127 -132 -80 -100 -120 -125 -125 -127
8 Диапазон измерений модуля коэффициента отражения	от 0 до 1
9 Диапазон измерений модуля коэффициента передачи, дБ²⁾ Для ПОРТ 1 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ. Для ПОРТ 2 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.	от -70 до 80 от -90 до 80 от -110 до 80 от -115 до 80 от -117 до 80 от -122 до 80 от -70 до 80 от -90 до 80 от -110 до 80 от -115 до 80 от -115 до 80 от -117 до 80
10 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения (КО) ³⁾⁴⁾	см. таблицу 4.10
11 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы КО ³⁾⁴⁾	
12 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи (КП) ³⁾⁴⁾	см. таблицу 4.11
13 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы КП ³⁾⁴⁾	
14 Среднеквадратическое значение шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения, ⁵⁾ при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц, дБ, не более: - в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ. - в диапазоне частот св. 100 МГц до 26,5 ГГц включ.	0,01 0,004
Измерение коэффициента шума (КШ):	

Наименование характеристики	Значение характеристики
15 Диапазон суммы $S_0 = (KШ [дБ] + S_{21} [дБ])$ исследуемого устройства (ИУ), при $ S_{21} \geq 4,5$ дБ ⁶⁾	от 5 до 40
16 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ, дБ ⁴⁾⁷⁾⁸⁾	см. таблицу 4.12
17 КСВН входа порта 2 при измерении КШ в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, не более	2,35
¹⁾Сокращение дБ/мВт обозначает уровень мощности в дБ относительно 1 мВт. ²⁾Для $КП > 0$ дБ понимается коэффициент усиления активных устройств, который может быть обеспечен путем изменения выходной мощности АЦ до минус 50 дБ/мВт и установки ослабления аттенюатора приемника АЦ до 30 дБ. При этом для $0 \text{ дБ} < КП \leq 50 \text{ дБ}$, ПГ КП будет соответствовать КП из таблицы 4.11, равного сумме значений выходной мощности ПОРТ 1 и коэффициента усиления ИУ, минус установленное ослабление аттенюатора приемника (т.е. требуется обеспечить уровень измеряемой мощности, соответствующий условиям, указанным в сноске ³⁾). Например, для коэффициента усиления 20, $R_{вых} = \text{минус } 20$, включенных аттенюаторов приемников 10 дБ, ПГ КП будет соответствовать таблице 4.11 для КП = минус 10 дБ (т.е. $КП = 20 - 20 - 10 = -10$). Для $50 \text{ дБ} < КП \leq 80 \text{ дБ}$, ПГ КП может быть рассчитана по специальной методике. ³⁾Диапазоны и пределы погрешностей измерений коэффициентов передачи и отражения нормируется в полосе пропускания фильтра ПЧ 100 Гц и приведены при уровне выходной мощности источника сигнала 0 дБ/мВт, при ослаблении аттенюаторов приемников 0 дБ, для рабочего диапазона температур окружающей среды и изменении температуры не более ± 2 °С после выполнения однопортовой (только для коэффициента отражения) или полной двухпортовой калибровки (включая изоляцию), с использованием: - наборов калибровочных мер для коаксиальных волноводов, указанных в таблице 4.5 (для наборов в тракте с поперечным сечением 7,0/3,04 мм значения погрешностей в таблицах 4.10 и 4.11 справедливы только до 18 ГГц включительно); - калибратора электронного, указанного в таблице 4.5; - набора калибровочных мер для прямоугольного волновода, указанного в таблице 4.5 (только двухпортовая калибровка). ⁴⁾Значения погрешностей приведены для наборов калибровочных мер (НКММ), калибраторов электронных (ЭК) и наборов калибровочных мер прямоугольных волноводов (НКМВ) из состава АЦ. ⁵⁾Определяется при соединении измерительных портов кабелем СВЧ и при подключении к измерительным портам короткозамкнутых нагрузок. ⁶⁾Нижняя граница достигается при фильтре разрешения не менее 15 МГц, верхняя – не более 3 МГц; данные получены для усреднения в приборе 100 на гармоническом сигнале. ⁷⁾При температуре окружающей среды 25 °С; без учета зависимости собственного шума АЦ и ИУ от входного импеданса и отличия КСВН ГШ от 1; при использовании механического набора мер для калибровки S-параметров и ГШ с номинальным ИОШТ 15 дБ; измерение КСВН, необходимых для расчета указанных пределов погрешности, проводится на порту АЦ без использования кабеля с помощью однопортовой калибровки. ⁸⁾При обеспечении входной мощности порта 2 АЦ минус 10 дБ/мВт во время измерения S-параметров (это достигается, например, регулировкой выходной мощности порта 1 АЦ, либо использованием аттенюаторов приемника от 10 до 30 дБ).	

Таблица 4.10 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля КО $\Delta|S_{xx}|$ и фазы КО $\Delta\Phi_{xx}$ Р4226А

Наборы мер	КО , отн. ед.	Диапазон частот, ГГц					
		Δ S _{xx} , отн. ед.			ΔΦ _{xx} , градус		
		от 0,01 до 0,10 ГГц невл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц	от 0,01 до 0,10 ГГц невл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц
НКММ ¹⁾	0,0	±0,025	±0,009	±0,011	±180,00	±180,00	±180,00
	0,1	±0,023	±0,009	±0,011	±14,38	±5,75	±6,84
	0,2	±0,021	±0,010	±0,011	±7,21	±3,25	±3,76
	0,3	±0,020	±0,010	±0,012	±4,91	±2,47	±2,82
	0,4	±0,019	±0,011	±0,013	±3,81	±2,13	±2,41
	0,6	±0,018	±0,014	±0,017	±2,81	±1,86	±2,14
	0,8	±0,018	±0,018	±0,023	±2,41	±1,82	±2,14
	1,0	±0,020	±0,024	±0,030	±2,25	±1,85	±2,24
ЭК	0,00	±0,028	±0,026	±0,037	±180,00	±180,00	±180,00
	0,10	±0,042	±0,023	±0,034	±27,02	±16,64	±24,18
	0,20	±0,053	±0,021	±0,032	±17,93	±9,36	±13,52
	0,30	±0,063	±0,020	±0,031	±14,64	±7,15	±10,25
	0,40	±0,071	±0,020	±0,031	±12,75	±6,18	±8,77
	0,60	±0,082	±0,023	±0,034	±10,36	±5,49	±7,58
	0,80	±0,086	±0,030	±0,042	±8,64	±5,41	±7,28
	1,00	±0,082	±0,040	±0,053	±7,20	±5,59	±7,34
Наборы мер	КО , отн. ед.	Волноводные тракты					
		Δ S _{xx} , отн.ед		ΔΦ _{xx} , градус			
		16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34 (от f _н ^{min} до f _в ^{max}) ²⁾	11×5,5 (от f _н ^{min} до f _в ^{max}) ²⁾	16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34 (от f _н ^{min} до f _в ^{max}) ²⁾	11×5,5 (от f _н ^{min} до f _в ^{max}) ²⁾		
НКМВ ²⁾	0,00	±0,006	±0,007	±180,00	±180,00		
	0,10	±0,007	±0,008	±5,78	±6,36		
	0,20	±0,007	±0,008	±4,12	±4,42		
	0,30	±0,008	±0,009	±3,60	±3,81		
	0,40	±0,010	±0,011	±3,38	±3,54		
	0,60	±0,013	±0,014	±3,20	±3,33		
	0,80	±0,016	±0,018	±3,17	±3,29		
	1,00	±0,021	±0,023	±3,20	±3,32		
¹⁾ Значения Δ S _{xx} и ΔΦ _{xx} приведены при условии S _{yx} = S _{xy} = 0 отн. ед. Для значений КО, не указанных в данной таблице, пределы допускаемой абсолютной погрешности Δ S _{xx} в отн. ед. и ΔΦ _{xx} в градусах допускается определять, пользуясь аппроксимациями в диапазонах частот по формулам: для НКММ от 0,01 до 0,1 ГГц невл.: Δ S _{xx} = ±(0,025 – 0,022· S _{xx} + 0,017· S _{xx} ²); ΔΦ _{xx} = ±(1,1 +							

$+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$; <u>от 0,1 до 18 ГГц:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,009 + 0,0001 \cdot S_{xx} + 0,0145 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 +$ $+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$); <u>свыше 18 ГГц:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,0112 - 0,0038 \cdot S_{xx} + 0,023 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 +$ $+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$);	
для ЭК <u>от 0,01 до 0,1 ГГц невл.</u> : $\Delta S_{xx} = \pm(0,028 + 0,144 \cdot S_{xx} - 0,090 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(2,5 +$ $+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$); <u>от 0,1 до 18 ГГц:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,026 - 0,034 \cdot S_{xx} + 0,048 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(3,3 +$ $+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$); <u>свыше 18 ГГц:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,037 - 0,035 \cdot S_{xx} + 0,051 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(4,3 +$ $+(180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$);	
для НКМВ <u>в трактах 16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,006 + 0,005 \cdot S_{xx} + 0,010 \cdot S_{xx} ^2)$; <u>в тракте 11×5,5:</u> $\Delta S_{xx} = \pm(0,007 + 0,005 \cdot S_{xx} + 0,011 \cdot S_{xx} ^2)$; $\Delta\Phi_{xx} = \pm(2 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]} / S_{xx} \text{ [отн. ед.]})$);	
где S_{xx} – измеренное на АЦ значение или модуля S-параметра S_{11}, или модуля S_{22}, отн. ед. 2) $f_{\text{н}}^{\text{min}}, f_{\text{в}}^{\text{max}}$ – соответственно нижняя и верхняя рабочие частоты для прямоугольных волноводов. Значения погрешностей для НКМВ даны только в диапазонах рабочих частот от $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ соответствующих прямоугольных волноводов.	

Т а б л и ц а 4.11 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля КП $\Delta|S_{yx}|$ и фазы КП $\Delta\Phi_{yx}$ Р4226А

Наборы мер	КП , дБ	Диапазон частот, ГГц					
		$\Delta S_{yx} $, дБ			$\Delta\Phi_{yx}$, градус		
		от 0,01 до 0,10 ГГц невл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц	от 0,01 до 0,10 ГГц невл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц
НКММ ¹⁾	0	±0,97	±0,08	±0,11	±6,9	±1,11	±1,16
	-10	±0,99	±0,09	±0,12	±7,1	±1,16	±1,21
	-20	±1,03	±0,10	±0,13	±7,3	±1,24	±1,29
	-30	±1,07	±0,11	±0,15	±7,6	±1,35	±1,42
	-40	±1,14	±0,14	±0,17	±8,0	±1,52	±1,59
	-50	±1,22	±0,18	±0,21	±8,6	±1,76	±1,86
	-60	±1,35	±0,23	±0,27	±9,4	±2,11	±2,24
	-70	±1,52	±0,31	±0,36	±10,6	±2,63	±2,80
ЭК	0	±1,15	±0,33	±0,33	±19,63	±2,85	±4,26
	-10	±1,23	±0,33	±0,33	±20,12	±2,87	±4,27
	-20	±1,34	±0,33	±0,33	±20,85	±2,89	±4,30

	-30	±1,50	±0,34	±0,34	±21,97	±2,94	±4,36
	-40	±1,75	±0,35	±0,36	±23,65	±3,04	±4,48
	-50	±2,13	±0,38	±0,39	±26,16	±3,22	±4,69
	-60	±2,67	±0,44	±0,46	±29,87	±3,57	±5,10
	-70	±3,43	±0,54	±0,57	±35,28	±4,23	±5,88
НКМВ ²⁾	Диапазон частот, ГГц						
	КП , дБ	$\Delta S_{yx} $, дБ			$\Delta\Phi_{yx}$, градус		
		(от $f_H^{\min}$ до $f_B^{\max}$) ²⁾			(от $f_H^{\min}$ до $f_B^{\max}$) ²⁾		
	0	±0,15			±1,54		
	-10	±0,16			±1,61		
	-20	±0,17			±1,70		
	-30	±0,20			±1,84		
	-40	±0,23			±2,04		
	-50	±0,27			±2,34		
	-60	±0,34			±2,77		
	-70	±0,43			±3,39		

¹⁾Значения $\Delta|S_{yx}|$ указаны при условии $S_{xx}=S_{yy}=0$ отн. ед., $S_{yx}=S_{xy}$ при $S_{yx}<1$ отн. ед. и $S_{yx}=1/S_{xy}$ при $S_{yx}>1$ отн. ед. Для значений КП, не указанных в данной таблице, пределы погрешностей $\Delta|S_{yx}|$ в дБ и $\Delta\Phi_{yx}$ в градусах допускается определять, пользуясь аппроксимациями в диапазонах частот по формулам:

для НКММ

от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,111 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,00735 \cdot 10^{-0,0148 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

от 0,1 до 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,0071 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,0019 \cdot 10^{-0,0169 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,6 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

свыше 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,0103 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,0021 \cdot 10^{-0,0168 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,45 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

для ЭК

от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,124 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,018 \cdot 10^{-0,0186 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (12 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

от 0,1 до 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,00028 \cdot 10^{-0,028 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,7 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

свыше 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,00033 \cdot 10^{-0,028 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (2,1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

для НКМВ

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,015 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,0025 \cdot 10^{-0,0165 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta F_{yx} = \pm(0,55 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

где $|S_{xx}|$ или $|S_{yy}|$ – измеренные на АЦ значения модулей S-параметров соответственно $|S_{11}|$ и $|S_{22}|$ или наоборот, отн. ед.; так же $|S_{yx}|$ и $|S_{xy}|$ – модули $|S_{21}|$ и $|S_{12}|$.

2) $f_{\text{н}}^{\text{min}}$, $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ нижняя и верхняя рабочие частоты для прямоугольных волноводов. Значения погрешностей для НКМВ даны только в диапазонах рабочих частот от $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ соответствующих прямоугольных волноводов.

Таблица 4.12 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ ΔF Р4226А

Наборы мер	Пределы погрешности ИОШТ ГШ, дБ	ΔF , дБ
НКММ	$\pm 0,13$	от минус 0,27 до 0,26
	$\pm 0,40$	от минус 0,50 до 0,45
ЭК	$\pm 0,13$	от минус 0,31 до 0,29
	$\pm 0,40$	от минус 0,52 до 0,47
НКМВ	$\pm 0,13$	от минус 0,29 до 0,27
	$\pm 0,40$	от минус 0,51 до 0,45
Примечание – Указанные пределы погрешности ΔF получены для конкретных значений пределов погрешности ИОШТ ГШ, используемого при измерениях КШ исследуемого устройства, и представляют собой доверительные границы НСП (для вероятности 0,95), рассчитанные согласно МИ 2083-90; для других значений пределов погрешности ИОШТ ГШ значения ΔF следует пересчитывать. Пределы ΔF справедливы после проведения пользовательской калибровки коэффициента шума, без учета потери ее актуальности с течением времени.		

Таблица 4.13 – Основные технические характеристики Р4213, Р4226 и Р4226А

Наименование характеристики	Значение
Количество измерительных портов, шт.	2
Волновое сопротивление измерительных портов, Ом	50
Максимально допустимый уровень мощности входного сигнала на измерительных портах, дБ/мВт	27
Тип соединителей измерительных портов по ГОСТ РВ 51914-2002: - Р4213/1, Р4213/3, Р4213/5, - Р4213/2, Р4213/4, Р4213/6 - Р4226 и Р4226А	III N NMD 3,5 мм, (совместим с соединителем 3,5 мм розетка по ГОСТ РВ 51914-2002, а также с типом XI вариант 3 по ГОСТ 13317-89)
Напряжение питания от сети переменного тока частотой 50 Гц, В ¹⁾	от 207 до 253
Потребляемая мощность, В·А, не более:	

- для Р4213	120
- для Р4226 и Р4226А	130
Время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапазоне, ч, не более	1
Максимальное время непрерывной работы в рабочих условиях эксплуатации (не включая время установления рабочего режима) при сохранении технических характеристик в пределах норм, должно быть не менее	16
Номинальное значение напряжения питания генератора шума для Р4226А, В	28
Габаритные размеры измерительного блока (ширина, высота, длина), мм, не более:	
- Р4213, Р4226	390 × 390 × 160
- Р4226А	400 × 200 × 450
Масса измерительного блока, кг, не более	
- для Р4213	11
- для Р4226	16
- Р4226А	19,5
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP 20
Рабочие условия эксплуатации:	
- температура окружающей среды, °С	от 15 до 35
- относительная влажность воздуха, при 25 °С, %, не более	
Р4213, Р4226	85
Р4226А	90
- атмосферное давление, мм рт. ст.	от 537 до 800
Показатели надёжности:	
- средний срок службы, лет, не менее	5
- средняя наработка на отказ, ч, не менее	10 000
Поддерживаемые виды пользовательской калибровки для измерений S-параметров	—
- однопортовая SOLT-калибровка;	
- двухпортовая SOLT-калибровка в одном направлении;	
- полная двухпортовая SOLT-калибровка;	
- калибровка частотной неравномерности по отражению (скалярная калибровка для измерения КО);	
- калибровка частотной неравномерности на проход (скалярная калибровка для измерения КП);	
- калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств;	
- полная двухпортовая TRL (либо TRM, или LRL, или LRM – в зависимости от состава выбранного калибровочного набора)	
¹⁾ Сеть электропитания переменного тока должна соответствовать ГОСТ 32144.	

Т а б л и ц а 4.14 – Характеристики набора калибровочных мер (для которых приводятся пределы погрешностей в таблицах 4.10 и 4.11) Р4213, Р4226 и Р4226А

Характеристика	Значение
Тип соединителей в коаксиальных волноводах ¹⁾ : - с диаметрами поперечных сечений 7,0/3,04 мм - с диаметрами поперечных сечений 3,5/1,52 мм	III; N IX, вариант 3; 3,5 мм
Модуль коэффициента отражения нагрузок короткозамкнутых и холостого хода в диапазоне рабочих частот, не менее	0,98
Номинальная разность фаз и допускаемые предельные отклонения от номинальных значений разности фаз между нагрузками короткозамкнутой и холостого хода, градус	(180±10)
Пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения нагрузок короткозамкнутых и холостого хода в диапазонах частот: с соединителем типа III, N - от 0,3 МГц до 8 ГГц включ. - св. 8 ГГц до 18 ГГц включ. с соединителем типа IX, вариант 3, 3,5 мм - св. 0,3 МГц до 18 ГГц включ. - св. 18 ГГц до 26,5 ГГц включ.	±0,008 ±0,010 ±0,008 ±0,014
Пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения нагрузок короткозамкнутых и холостого хода в диапазоне частот, градус: с соединителем типа III, N - от 0,3 МГц до 8 ГГц включ. - св. 8 ГГц до 13 ГГц включ. с соединителем типа IX, вариант 3, 3,5 мм - св. 0,3 МГц до 18 ГГц включ. - св. 18 ГГц до 26,5 ГГц включ.	±0,8 ±1,5 ±1,0 ±1,8
Модуль коэффициента отражения нагрузок согласованных в диапазоне рабочих частот, не более: - от 0,3 МГц до 13 ГГц включ. - св. 13 ГГц до 26,5 ГГц включ.	0,04 0,09
Пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения нагрузок согласованных в диапазоне частот: с соединителем типа III, N - от 0,3 МГц до 8 ГГц включ. - св. 8 ГГц до 13 ГГц включ. с соединителем типа IX, вариант 3, 3,5 мм - св. 0,3 МГц до 18 ГГц включ. - св. 18 ГГц до 26,5 ГГц включ.	±0,004 ±0,008 ±0,005 ±0,008

Характеристика	Значение
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.	

Т а б л и ц а 4.15 – Дополнительные технические характеристики Р42

Наименование характеристики	Значение
1 Максимальная входная рабочая мощность, дБ/мВт	10
2 Номинальные значения ширины полосы пропускания селективных фильтров (фильтров ПЧ) по уровню минус 3 дБ, Гц	10; 30; 100; 300; 1000; 3000; 10000; 30000; 100000
3 Диапазон ослабления аттенюаторов генераторов ВЧ с шагом 10 дБ для Р4213, Р4226 опции ДМА, а также Р4226А, дБ	от 0 до 70
4 Нескорректированные модули КО для портов Р4226А в режимах источника и приемника сигналов должны быть, дБ, не более	-7
5 Нескорректированная направленность Р4226А должна быть, дБ, не более	-17
6 Модуль пределов нестабильности измерения КШ $ \delta F_{\text{нест}} $, в поддиапазонах частот, должен быть, дБ, не более (для Р4226А): - от 0,1 до 4,0 ГГц включ. - св. 4 до 7 ГГц включ. - св. 7 до 16 ГГц включ. - св. 16 до 20 ГГц включ. - св. 20 до 24 ГГц включ. - св. 24 до 26,5 ГГц включ.	0,521 0,213 0,077 0,098 0,182 0,210
7 Предел среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности измерения КШ σ_F , в поддиапазонах частот, должен быть, дБ, не более (для Р4226А): - от 0,1 до 4,0 ГГц включ. - св. 4 до 7 ГГц включ. - св. 7 до 16 ГГц включ. - св. 16 до 20 ГГц включ. - св. 20 до 24 ГГц включ. - св. 24 до 26,5 ГГц включ.	0,126 0,350 0,100 0,135 0,203 0,280
8 Максимальное значение отклонения модуля КО кабелей СВЧ при изгибе кабеля (изгиб в произвольную сторону, диаметр изгиба приблизительно равен 12 см) и возврате в исходное состояние, в поддиапазонах частот, дБ, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,5 до 26,0 ГГц включ.	0,15 0,20
9 Максимальное значение отклонения фазы КО кабелей СВЧ при изгибе кабеля (изгиб в произвольную сторону, диаметр изгиба приблизительно равен 12 см) и возврате в исходное состояние, в поддиапазонах частот, градус, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,5 до 26,0 ГГц включ.	3 5
10 Максимальное значение отклонения модуля КО кабелей СВЧ при	

изгибе на 90 °, точка изгиба – середина кабеля, в поддиапазонах частот, дБ, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,50 до 26,50 ГГц включ.	0,25 0,35
11 Максимальные значения отклонений фазы КО кабелей СВЧ при изгибе на 90 °, точка изгиба – середина кабеля, в поддиапазонах частот, градус, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,50 до 26,50 ГГц включ.	8 10
12 Максимальное значение отклонения модуля КО кабелей СВЧ при изгибе кабеля на 360 ° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля, в поддиапазонах частот, дБ, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,50 до 26,50 ГГц включ.	0,25 0,45
13 Максимальное значение отклонения фазы КО кабелей СВЧ при изгибе кабеля на 360 ° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля, в поддиапазонах частот, градус, не должно превышать: - от 0,01 до 13,50 ГГц включ. - св. 13,50 до 26,50 ГГц включ.	10 20
14 Максимальное значение отклонения модуля КО $\Delta S_{xx} $ и фазы КО $\Delta\Phi_{xx}$ при повторном подключении нагрузки с поворотом должно быть не более - для $\Delta S_{xx} $, отн. ед. - для $\Delta\Phi_{xx}$, градус	0,006 1
15 Значения крутящего момента ключей тарированных, входящих в комплект поставки, Н·м, должны быть: - для КТ-3 - для КТ-4	0,9 ± 0,1 1,35 ± 0,20
16 Напряжение питания ГШ на выходе «ГШ  » при максимальном токе не более 100 мА, В, должно быть: - во включенном состоянии - в выключенном состоянии	28,00 ± 0,28 менее 0,5
17 Максимальная допустимая мощность на входе «ПОРТ 1» и «ПОРТ 2», дБ/мВт	27
18 Максимальная допустимая мощность на входах «ИЗМ», «ОПОРН», «ГЕНЕРАТОР» должна быть, дБ/мВт, не менее	5
19 Допустимый диапазон постоянного напряжения на входе, В	от –35 до 35
20 Параметры сигнала внешнего ОГ (для входа «ОГ  » на задней панели) на нагрузку 50 Ом: - частота, МГц - среднеквадратическое значение напряжения, В	5 и 10 от 0,23 до 1,5
21 Параметры сигнала внутреннего ОГ (выход «ОГ  » на задней панели) при нагрузке 50 Ом: - частота, МГц - среднеквадратическое значение напряжения, В	10 0,6 ± 0,1
22 Номинальное сопротивление входа для сигнала внешнего ОГ (вход «ОГ  » на задней панели измерителя) и выхода внутреннего ОГ (выход «ОГ  » на задней панели измерителя), Ом	50
23 Параметры импульсов синхронизации на выходах «СИНХР 1  »	

», «СИНХР 2  », «СИНХР 3  » задней панели: - напряжение высокого уровня (логическая «1»), В, при нагрузке не менее 1 кОм по постоянному току; - напряжение низкого уровня (логический «0»), В, при нагрузке не менее 1 кОм по постоянному току - минимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации, мкс - максимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации - длительность фронта и среза импульса, нс, не более	от 4,6 до 5,0 не более 0,4 $1,0 \pm 0,5$ 255 ± 50 100
24 Параметры импульсов синхронизации на входе «СИНХР  » задней панели: - напряжение высокого (логическая «1»), В, при нагрузке не менее 100 кОм по постоянному току; - напряжение низкого уровня (логический «0»), В, при нагрузке не менее 100 кОм по постоянному току; - минимальное устанавливаемое значение длительности импульса синхронизации, мкс; - длительность фронта и среза импульса, нс, не более	от 2,0 до 5,5 не более 0,8 $1,0 \pm 0,5$ 100
25 Минимальный временной интервал между циклами непрерывной работы должен быть, ч, не более	2
26 Поддерживаемые виды пользовательской калибровки для измерений S-параметров: - однопортовая SOLT-калибровка; - двухпортовая SOLT-калибровка в одном направлении; - полная двухпортовая SOLT-калибровка; - калибровка частотной неравномерности по отражению (скалярная калибровка для измерения КО); - калибровка частотной неравномерности на проход (скалярная калибровка для измерения КП); - калибровка для измерений частотно-преобразующих устройств; - полная двухпортовая TRL (либо TRM, или LRL, или LRM – в зависимости от состава выбранного калибровочного набора)	— — — — — — —

4.7 Устройство и работа Р42

4.7.1 Структура

Р42 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. Р42 включает в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть выполняет набор базовых функций, определяющих режимы измерений. Программная часть обеспечивает реализацию выбранного пользователем ре-

жима измерений, управление и отображение результатов измерений.

Данная архитектура позволяет гибко увеличивать функциональность Р42 за счёт внедрения программных опций. Открытый программный интерфейс, совместимый со стандартом *IVI-COM*, дает возможность пользователю управлять Р42 сторонним программным обеспечением *LabVIEW*, *MS Excel* и т.д. Адаптивная система синхронизации позволяет обеспечить совместную работу Р42 с другими приборами в составе измерительных комплексов.

Компьютер обеспечивает панорамное отображение результата измерений и выполняет ряд вычислительных функций. Связь между Р42 и компьютером осуществляется по протоколу *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*.

Упрощенная структурная схема для Р42 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 Р42.

Принцип действия АЦ при измерении *S*-параметров основан на принципе рефлектометра – раздельного выделения измерительных сигналов: падающего, прошедшего через измеряемый СВЧ четырехполюсник и отраженных от его входов, преобразования их в опорный и измеряемые сигналы, формирование напряжений, пропорциональных этим сигналам, и дальнейшего дискретного преобразования этих напряжений с целью цифровой обработки и индикации измеряемых величин. АЦ имеет два измерительных порта с волновым сопротивлением 50 Ом.

Анализаторы цепей векторные совмещают в себе синтезированный источник сигнала, измеритель *S*-параметров и настраиваемый приемник в одном корпусе. В состав АЦ входят: синтезатор частот, две пары направленных ответвителей, два опорных и два измерительных приемника, блок сбора данных и управления, источник питания, а для Р4226А также плата приемника шумового сигнала, подключаемая ко второму порту АЦ, при измерении КШ. Выделение измерительных сигналов производится с помощью направленных ответвителей. Принцип измерения КШ основан на измерении модуля коэффициента передачи исследуемого четырехполюсника и спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения на его выходе, приведенной к его входу и выраженной в масштабе единиц $k \cdot T_0$, где k – постоянная Больцмана, а $T_0 = 293$ К. Измерение КШ проводится с помощью генератора шума (не входит в комплект поставки АЦ).

АЦ состоят из следующих частей:

- СЧ;
- электронный ключ (переключатель);
- два опорных и два измерительных приёмника;
- переключки на передней панели (опция «ДПА» для Р4213, Р4226);
- аттенюаторы по выходу СЧ и входу измерительных приёмников

(опция «ДМА» для Р4213, Р4226);

- переключатель в опорном канале (опция «СПА» для Р4226, а также для Р4226А).

Все блоки объединены схемой управления. Индикация и расчёт результатов измерений выполняются на внешнем ПК.

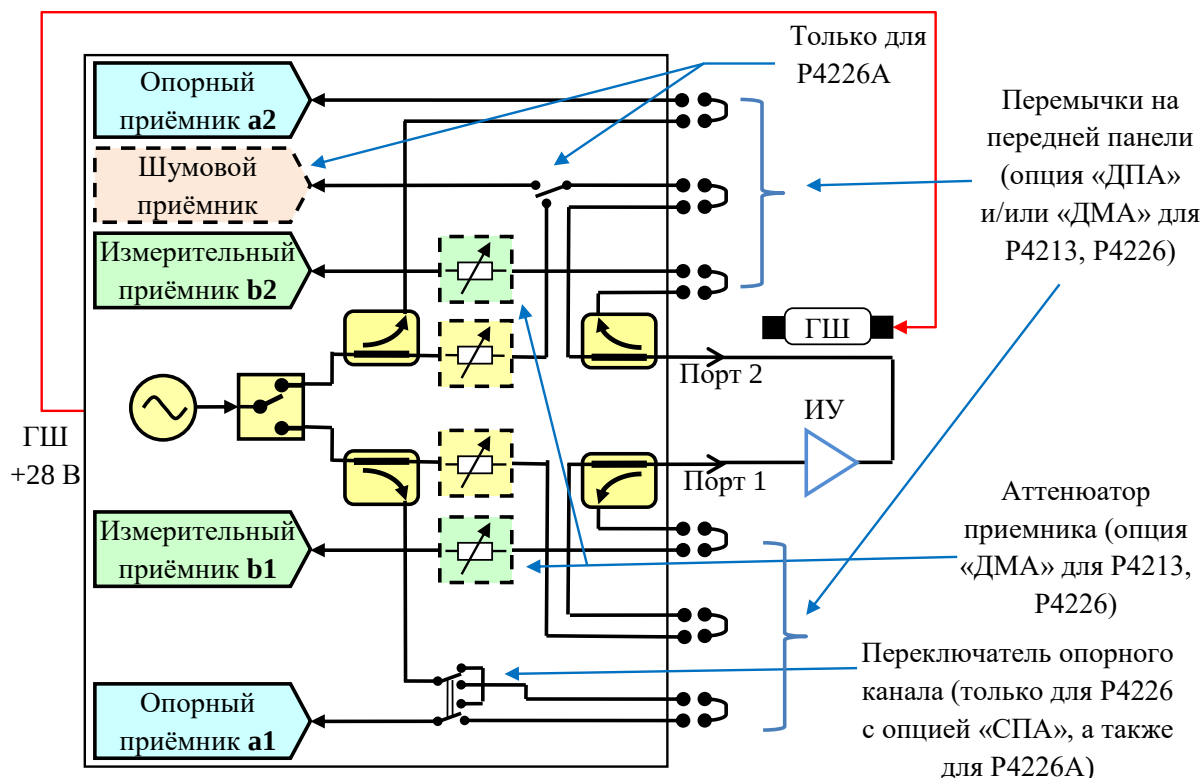


Рисунок 4.5 – Структурная схема Р42

Принцип измерения комплексных КП и КО заключается в подаче на ИУ зондирующего гармонического сигнала заданной частоты, последующего измерения амплитуды и фазы прошедших и отражённых от ИУ сигналов и сравнения их с амплитудой и фазой зондирующего сигнала.

Электронный ключ предназначен для изменения направления распространения сигнала. При прямом зондировании сигнал подаётся на порт 1, проходит ИУ и попадает в порт 2. При обратном зондировании сигнал первоначально подаётся на порт 2. Применение режима двунаправленной развёртки (последовательного переключения направления зондирования) позволяет измерить полную матрицу S -параметров ИУ за одно подключение.

Результаты измерений могут отображаться на экране ПК в многооконном режиме в форматах декартовых координат (частота-амплитуда, частота-фаза), диаграммы Вольперта-Смита, полярной диаграммы.

В Р42 предусмотрена однопортовая, полная двухпортовая, однонаправленная двухпортовая калибровка, нормализация частотной характеристики тракта передачи или отражения и соответствующая векторная коррекция составляющих систематической погрешности измерений. Калибровка выполняется с использованием набора калибровочных мер или электронного калибратора.

Для расширения функциональных возможностей в Р42 предусмотрен набор аппаратных и программных опций (для Р4213, Р4226). Аппаратные опции предполагают наличие определённых блоков внутри Р42, программные опции активируются лицензионным ключом в ПО *Graphit*. Для работы некоторых программных опций требуется наличие аппаратных опций.

Р4213, Р4226 могут содержать следующие аппаратные опции (в Р4226А эти опции входят по умолчанию):

- Опция «ДПА» – Р4213, Р4226 комплектуется переключателями для прямого доступа к входам измерительных и опорных приёмников с целью дополнительного ослабления или усиления сигналов. Подобная схема построения позволяет осуществлять конфигурацию для проведения специальных измерительных задач. В тракт источника сигнала и приёмника могут быть введены дополнительные усилители, аттенюаторы, различные фильтрующие или согласующие цепи для каждого из портов. Пример включения для порта 1 представлен на рисунке 4.6.
- Опция «ДМА» – в Р4213, Р4226 устанавливаются аттенюаторы для расширения диапазона регулировки уровня выходной мощности, подаваемого на ИУ, и обеспечения оптимального режима работы приёмников. Аттенюаторы, устанавливаемые в тракте источника сигнала, позволяют регулировать уровень мощности, который поступает на ИУ. Аттенюаторы, устанавливаемые на входе измерительных приёмников, позволяют обеспечить линейный режим работы приёмников. Последнее необходимо, например, при измерении КП усилителей.
- Опция «СПА» – в анализатор устанавливается переключатель, позволяющий управлять путём распространения сигнала первого опорного канала. Переключатель в опорном канале используется для измерений параметров устройств с преобразованием частоты.

Р42 могут содержать следующие программные опции:

- Опция «ИИП» – анализатор с данной опцией может проводить тестирование устройств, которые работают в импульсном режиме. Измерения могут выполняться за серию импульсов или в течение одного импульса. Для синхронизации с фазой импульсов анализатор может воспринимать внешние синхроимпульсы или формировать собственные стробы заданной длительности и скважности.

Зондирующий сигнал может быть постоянной мощности или модулироваться внутренним модулятором;

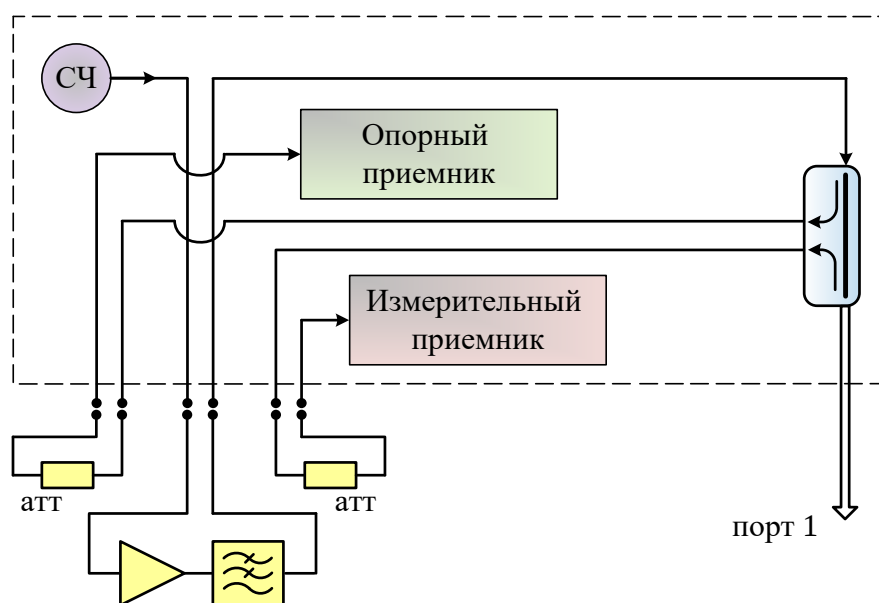


Рисунок 4.6 – Использование дополнительных внешних устройств в измерительном тракте

- Опция «СЧП» – управление частотой приёмника независимо от частоты источника зондирующего сигнала. Опция позволяет проводить измерения на произвольной частоте при анализе усилителей, смесителей и устройств с преобразованием частоты.

В Р4226А помимо вышеперечисленного дополнительно устанавливается измерительный приёмник шума (шумовой приемник), электромеханический переключатель и направленный ответвитель, обеспечивающие одновременные измерения коэффициента шума и матрицы S -параметров исследуемых устройств.

4.7.2 Особенности работы

Прогрев Р42. Перед началом необходимо прогревать Р42. Время прогрева Р42, т.е. время установления рабочего режима при запущенном процессе измерения в требуемом частотном диапазоне составляет 1 ч (см. таблицу 4.13).

И Для достижения наибольшей точности измерений и показателей, приведенных в технических характеристиках Р42, прогрев Р42 необходимо проводить при запущенном процессе измерения.

❗ Для достижения минимального среднеквадратического значения шумов и стабильности измерительной трассы модуля коэффициента передачи и отражения, а также коэффициента шума (только для R4226A), необходимо запускать процесс измерений (т.е. процесс перестройки гетеродина по частоте) на 10 мин непосредственно перед началом измерений для выбранного частотного диапазона. Подобный прогрев рекомендуется проводить всякий раз после смены диапазона сканирования по частоте или кратковременной остановки измерений; 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 R42.

Спящий режим ПК. В случае длительной непрерывной работы R42 необходимо отключить в ОС спящий режим, т.к., например в Windows 7 после ухода ПК в спящий режим, связь программы управления и R42 теряется, соответственно процесс измерения останавливается.

Дифференциальный КШ (для R4226A). Прямыми измерениями являются измерения мощности. Хотя измерения являются панорамными в заданном диапазоне частот, расчет КШ осуществляется в достаточно узкой полосе, ширина которой выставляется программно соответствующим фильтром разрешения на панели управления «Измерение шума». Предполагается, что в этой узкой полосе значение КШ и КП постоянно, а шум является тепловым; т.е. осуществляется измерение так называемого дифференциального КШ [5].

Интерполяция. Также следует заметить, что в заданном частотном диапазоне измерение производится лишь в определенных точках, число которых задается на панели управления «Частота» в поле ввода «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, например, для S-параметров используемых наборов мер в тех случаях, когда частоты, на которых проводятся измерения, не совпадают с частотами в характеристике наборов. Если в характеристике набора установлена одна единственная частота и соответствующие ей S-

параметры, то эти значения S -параметров будут использованы во всем частотном диапазоне измерений.

Округление. При сохранении результатов калибровки S -параметров в файл значения калибровочных коэффициентов не округляются, т.е. сохранение результатов калибровки в файл происходит без потери точности.

Основные виды измерений и формулы приведены в Приложение А.

5 Подготовка к работе

Сведения о распаковывании и повторном упаковывании Р42 приводятся в п. 11.3 настоящего РЭ.

5.1 Эксплуатационные ограничения

Р42 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.

Максимальное время непрерывной работы в рабочих условиях эксплуатации (не включая время установления рабочего режима) при сохранении технических характеристик в пределах норм 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 Р42 возможна потеря связи с ПК, при этом требуется вмешательство оператора с целью перезапуска ПО и/или Р42 и переподключения к ПК.

Об особенностях прогрева Р42 перед началом работы см. п. 4.7.2.

5.2 Требования к рабочему месту

На рабочем месте должны обеспечиваться рабочие условия применения согласно п. 4.2, система защитного заземления и электропитание $\sim (230 \pm 23)$ В 50 Гц 1 А.

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

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

Перед установкой Р42 на рабочее место необходимо убедиться, что площадь поверхности рабочего стола достаточна для размещения на ней Р42, комплекта принадлежностей и ИУ, а также на рабочем месте выполнены требования раздела 3, относящиеся к рабочему месту.

5.3 Контрольно-профилактические работы

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

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

5.3.1 Общие сведения о соединителях

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

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	—

Кодировка	Тип соединителя	Сечение тракта, мм	$F_{\max}^{1)}$, ГГц	Примечания
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 12P	SMA, Вилка ³⁾ SMA, Розетка ³⁾	4,15/1,27	26	Дюйм (механически совместим с трактом 3,5/1,52 мм; вилка дюйм механически совместима с розеткой метрикой)
13 13P	3,5 мм, Вилка ³⁾ 3,5 мм, Розетка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм
13H 13PH	NMD 3,5мм, Вилка ³⁾ NMD 3,5мм, Розетка ³⁾	3,5/1,52	33	Дюйм

Кодировка	Тип соединителя	Сечение тракта, мм	$F_{\max}^{1)}$, ГГц	Примечания
14 14P	2,92 мм, Вилка 2,92 мм, Розетка	2,92/1,27	40	Дюйм (механически совместим с трактом 3,5/1,52 мм)
15 15P	1,85 мм, Вилка 1,85 мм, Розетка	1,85/0,804	67	Механически совместим с трактом 2,4/1,042 мм
16 16P 16O 16C	SMP, Вилка, <i>full detent</i> SMP, Розетка SMP, Розетка, <i>limited detent</i> SMP, Розетка, <i>smooth bore</i>	—	32	—
¹⁾ $F_{\max}$ – верхняя рабочая частота. ²⁾ По ГОСТ 13317. ³⁾ По IEEE Std 287-2007; тип N совместим с тип III, Вар. 3 по ГОСТ 13317, сечение тракта 7/3,04 мм, дюймовая резьба 5/8"-24UNEF; по присоединительным размерам тип 3,5 мм соответствует типу IX Вар. 3 по ГОСТ 13317, сечение тракта 3,5/1,52 мм, дюймовая резьба 1/4"-36UNS; тип SMA частично совместим с тип IX, Вар. 1 по ГОСТ 13317.				

5.3.2 Проверка внешнего вида

Проверку внешнего вида соединителей необходимо проводить каждый раз при подготовке к измерениям. Проверка внешнего вида Р42 и аксессуаров, входящих в комплект поставки, проводится по следующей методике.

Шаг 1. Проверить внешний вид изделия путём визуального осмотра и сравнения 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;

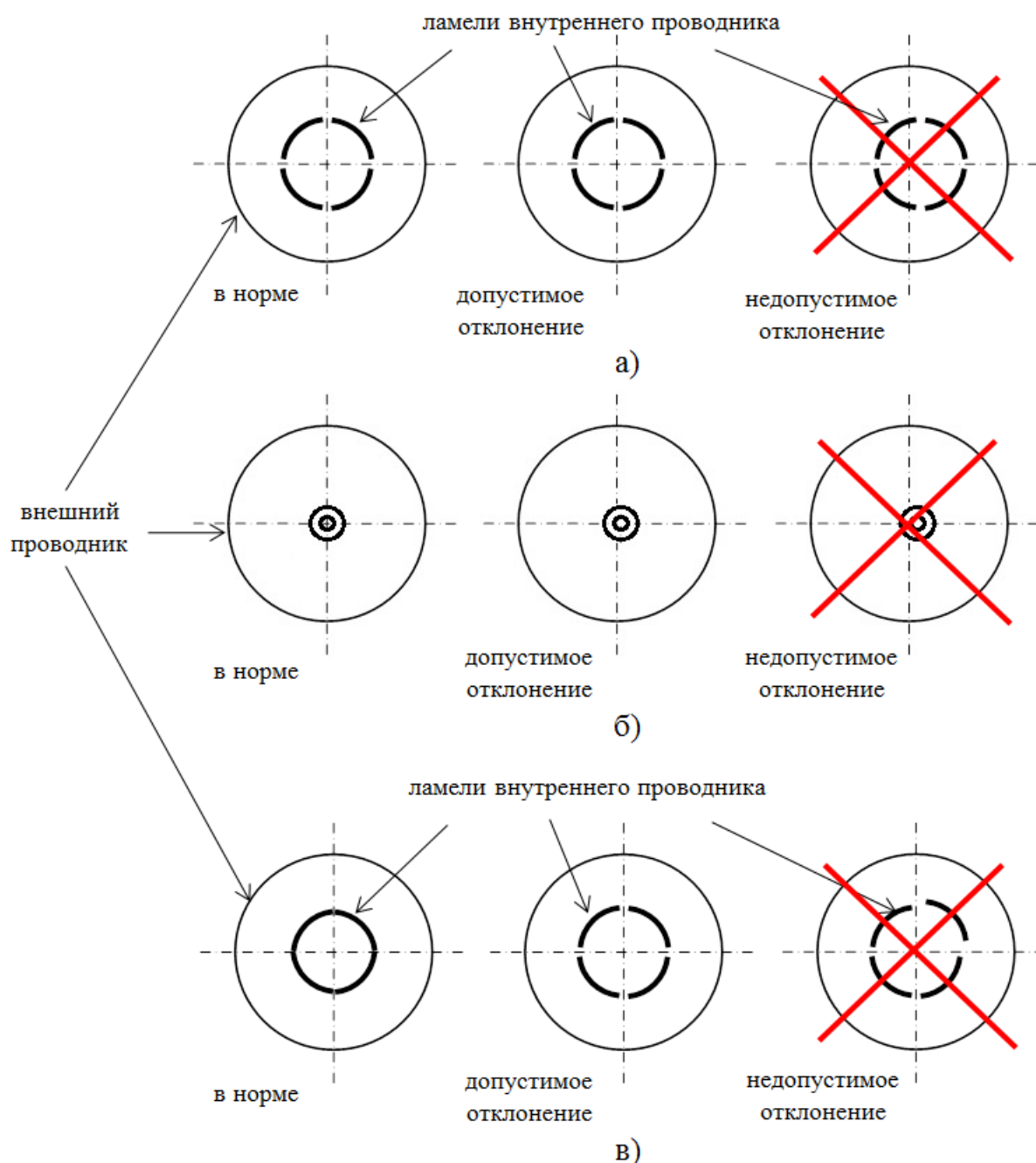


Рисунок 5.1 – Визуальный контроль соединителей: а) контроль соосности для «розетки»; б) контроль соосности для «вилки»; в) контроль неповрежденности

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 Р42).

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

5.3.3 Чистка коаксиальных соединителей

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

Чистка соединителей проводится в следующей последовательности:

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

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

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

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

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

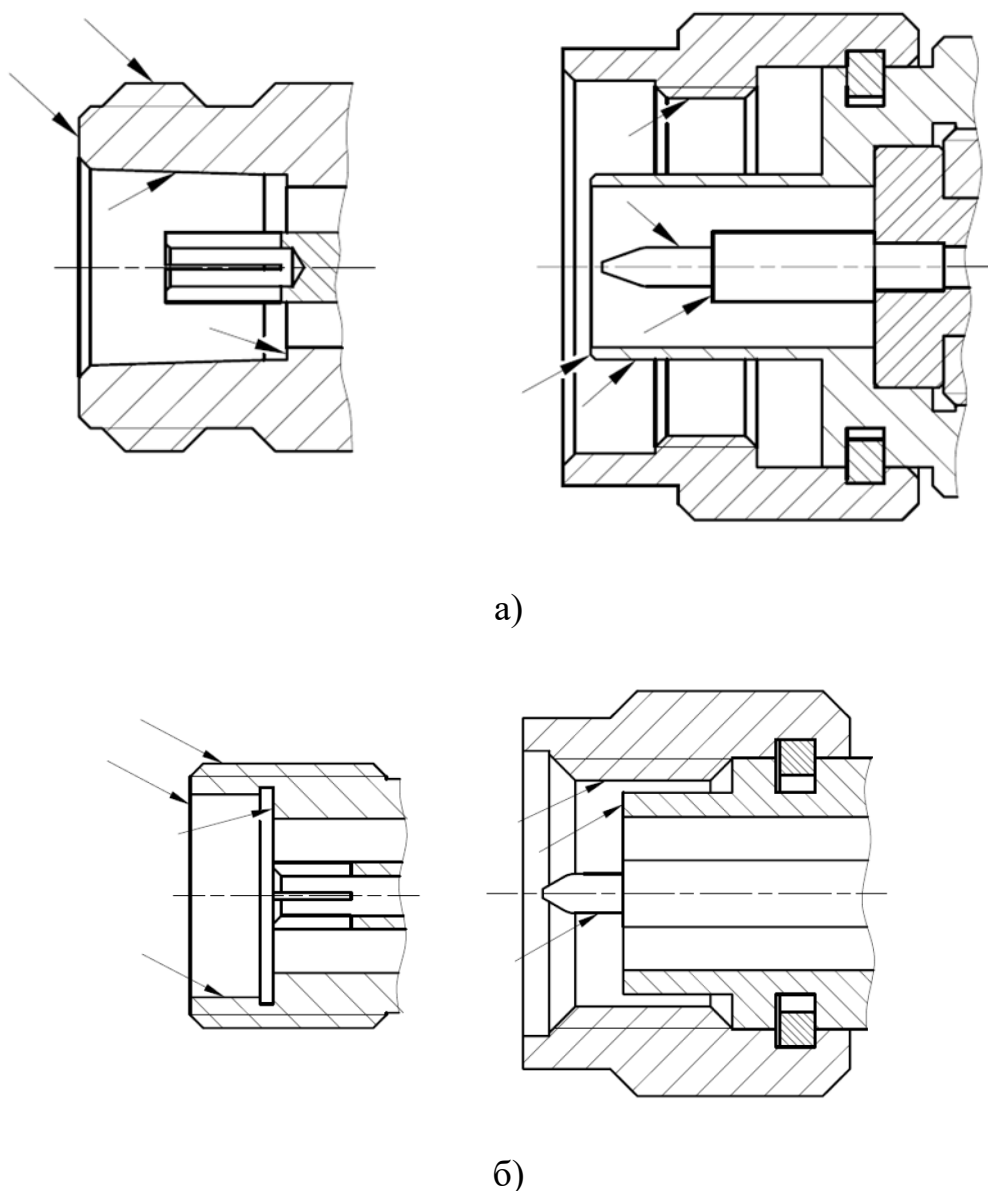


Рисунок 5.2 – Очищаемые поверхности: а) соединители типов *N* и *III*; б) соединители типов 3,5 мм и *IX*, вариант 3

5.3.4 Измерение присоединительных размеров

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

ля, вследствие давления на внутренний проводник ответной части.

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

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 Р42 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 Р42 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 Р42.

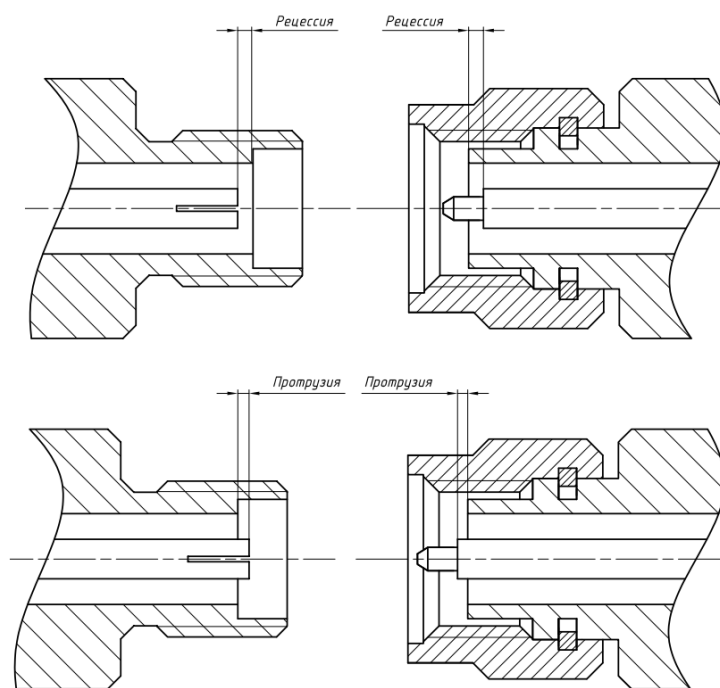


Рисунок 5.3 – Рецессия и протрузия соединителей

5.3.4.1 Калибровка

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

сируется «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.

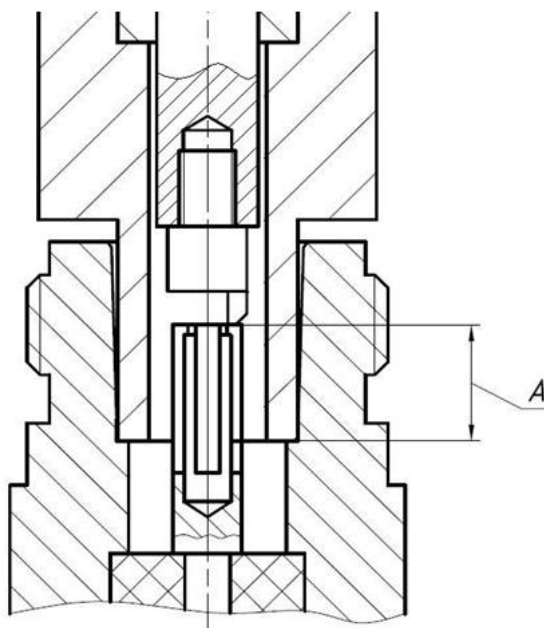


Рисунок 5.4 – Проверка размера «А» соединителя «розетка»

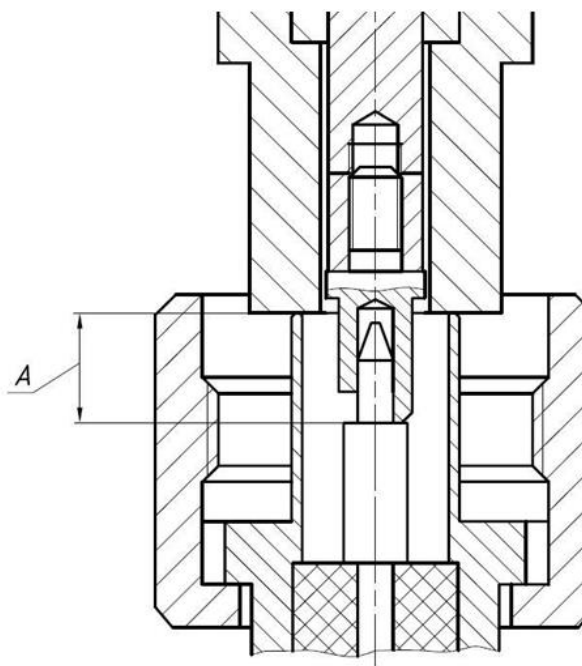


Рисунок 5.5 – Проверка размера «А» соединителя «вилка»

5.3.5 Сочленение коаксиальных соединителей

Перед сочленением следует провести визуальный контроль целостности и чистоты соединителей подключаемых устройств и, при необходимости, выпол-

нить проверку присоединительных размеров.

❗ Запрещается производить подключение:

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

Невыполнение этих действий может привести к механическим повреждениям соединителей устройств.

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

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

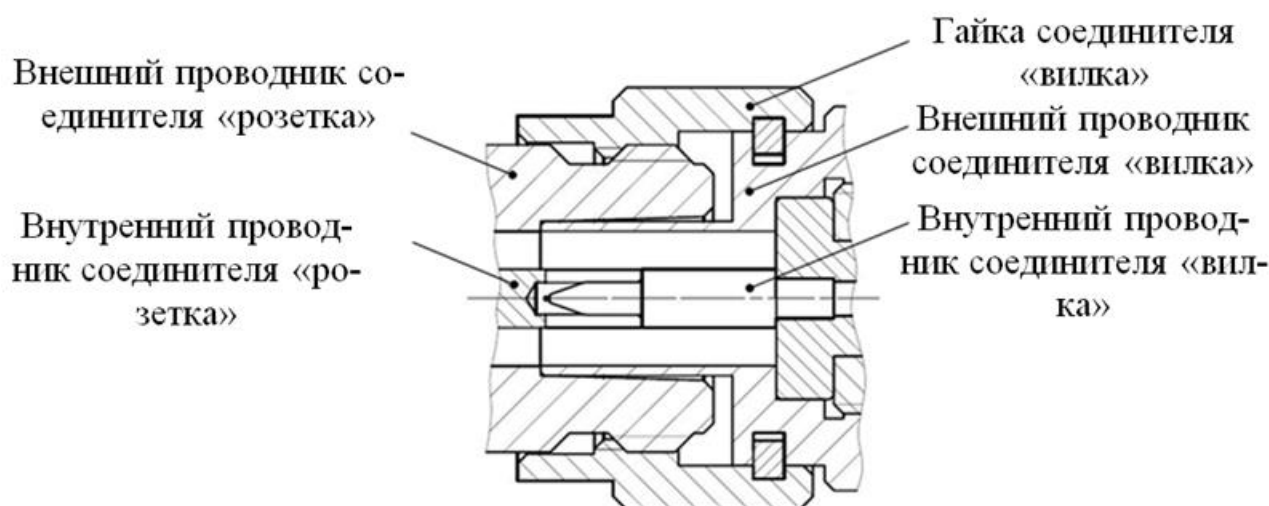
Устройство, фиксация которого обеспечена, будем называть зафиксированным или устройством, к которому проводится подключение. Устройство, которое не зафиксировано – подключаемым (отключаемым) устройством.

Непосредственно сочленение проводить по следующей методике:

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

❗ Внимание! Сочленение осуществляется только вращением гайки соединителя «вилка».

❗ Запрещается вращать корпус подключаемого устройства. Вращение корпуса подключаемого устройства приводит к механическому повреждению внутренних проводников обоих устройств.



(слева – соединитель «розетка», справа – «вилка»)
 Рисунок 5.6 – Сочленение соединителей типов III или N

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

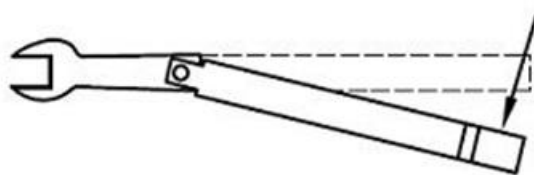


Рисунок 5.7 – Допустимый излом ключа

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

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

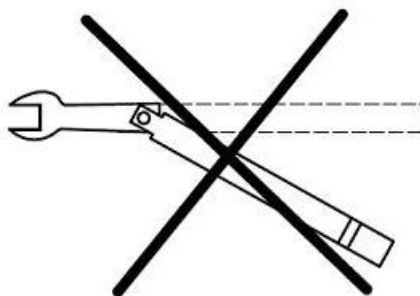


Рисунок 5.8 – Недопустимый излом ключа

5.3.6 Расчленение коаксиальных соединителей

Расчленение соединителей проводится в последовательности обратной сочленению.

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

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

Расчленение соединителей проводить по методике:

- с помощью ключа, которым проводилось затягивание, ослабить крепление гайки соединителя «вилка», при этом удерживать отключаемое устройство пальцами или с помощью ключа гаечного, 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 Р42. Поставляемое оборудо-

дование 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 пользования и скорости работы с Р42.

Средства, необходимые при эксплуатации и обслуживании, но которые могут отсутствовать в комплекте Р42, приведены ниже, а также в таблице 6.1 и в др. пунктах данного раздела:

- **Ключи тарированные** – требуются для выполнения качественных подключений к портам Р42. При использовании тарированных ключей подключение соединителей к портам Р42 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.
- **Кабели СВЧ (кабельные сборки)** – данное оборудование необходимо для смещения измерительного порта (плоскости калибровки и измерения) с передней панели прибора, поскольку не каждое устройство можно подключить непосредственно к портам анализатор из-за его габаритов или расположения измеряемых входных и выходных соединителей. Поставляемые кабельные сборки обладают хорошей стабильностью и низкой чувствительностью к изгибам, что позволяет их перемещать после проведения калибровки, не ухудшая характеристики скалиброванного сечения. Кабельные сборки по желанию пользователя могут поставляться различной длины в необходимых для него количествах. Кабельные сборки длиной 0,7 м и менее поставляются только парами, т.к. их длина недостаточна, чтобы соединить оба порта «на проход» и провести полную двухпортовую калибровку при поверке.
- **Наборы калибровочных мер** – требуются для проведения калибровки (определения действительных значений составляющих погрешностей) перед проведением измерений S-параметров. Наборы калибровочных мер поставляются в различных вариантах, как для полной двухпортовой калибровки, так и в «усечённых» вариантах для калибровки портов на один тракт или на один тип соединителя ИУ. Калибровка, проведённая с помощью набора калибровочных мер, является более точной, т.к. в этом случае параметры мер отражения и передачи определяются их геометрией, более стабильной

во времени, нежели параметры электронных схем. Вместе с тем, данный способ более затратный по времени и требует большей квалификации и внимательности персонала, т.к. каждую меру из набора нужно будет подключать вручную. Данный способ калибровки рекомендован для применения на выходном контроле и при проведении особо важных и ответственных операций.

- **Электронные калибраторы** – выполняют ту же функцию, что и наборы калибровочных мер. Калибровка в большинстве вариантов проводится за одно подключение, а все меры передачи и отражения находятся внутри электронного калибратора в виде электрических схем и переключаются ПО *Graphit*. Данный способ калибровки менее точен за счёт применения «электронных» мер, зато проводится быстрее и не требует высокой квалификации персонала. Такую калибровку рекомендуется применять на допусковом контроле и там, где не требуется высокая точность измерений. В комплект электронного калибратора также входят коаксиальные переходы для подключения к портам анализатор.

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

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
ПК (настольный или портативный) ¹⁾ в составе: - системный блок - экран (монитор) - клавиатура - манипулятор типа «мышь»	Минимальные системные требования к ПК приведены в разделе с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ	—
Комплект измерителей присоединительных размеров (для опции «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)

Наименование и обозначения	Характеристики	Рекомендуемое
Ключ тарированный (для опции «13Н») для соединителей тип <i>SMA</i> ; тип IX, вар. 1	Калиброванное усилие $(0,56 \pm 0,1)$ Н·м, размер зева 8 мм (для соединителей тип <i>SMA</i>)	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 <i>NMD</i> 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 <i>N</i> ; 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 <i>SMA</i> ; тип IX, вар. 1	Размер зева 8 мм	Ключ поддерживающий КП-1
Ключ поддерживающий (для опции «11Р») для соединителей тип <i>N</i> ; тип III	Размер зева 14 мм	Ключ поддерживающий КП-2
Ключ поддерживающий (для опции «13Н») для соединителей тип <i>NMD</i> 3,5 мм	Размер зева 19 мм	Ключ поддерживающий КП-3
Генератор шума	Твердотельные, включаемые постоянным напряжением плюс 28 В	ГШМ2-18 для опции «11Р» и ГШМ2-20 для опции «13Н»
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 Р42 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. ³⁾ См. таблицу 5.1.		

6.2 Общие сведения о генераторах шума

6.2.1 Принципы работы и разновидности ГШ

Для измерений КШ с помощью Р42 предполагается использование генераторов шума (ГШ), которые не входят в комплект поставки Р42 (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 Р42, обычно состоят из лавинно-пролетного диода (ЛПД) и генераторной секции, служащей для согласования входного сопротивления p - n -перехода с сопротивлением нагрузки. Если на ЛПД подать напряжение смещения, то выходной сигнал будет соответствовать тепловому шуму высокой температуры, что обусловлено соответствующими генерациями диода. Это своего рода имитация горячей резистивной нагрузки. Источником шумового излучения в ЛПД являются дробовые флуктуации тока насыщения диода и флуктуации коэффициента умножения лавины. Если напряжение смещения отсутствует, то выходной сигнал будет соответствовать шуму согласованной нагрузки температуры окружающей среды (холодная резистивная нагрузка). Мощность, отдаваемая диодом в нагрузку с сопротивлением R , определяется выражением:

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

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

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

R_S – сопротивление растекания диода.

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

Низкотемпературные ГШ обычно состоят из сосудов Дьюара, наполненных жидким азотом, с помещенной в них согласованной нагрузкой. Сигнал, снимаемый с этой холодной нагрузки, соответствует тепловому шуму с шумовой температурой около 77 К. В качестве горячей нагрузки используется согласованная резистивная нагрузка комнатной температуры, либо аттенюатор 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 нагруз-

зок, а также потенциальная разница в коэффициенте стоячей волны (КСВ), 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, в пределах которого можно проводить измерения характеристик ИУ *Cold*-методом.

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 P42 минимальна.

КСВН. Качественные генераторы шума имеют низкий коэффициент стоячей волны по напряжению (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 P42 позволяют автоматически управлять включением и выключением подобных ГШ за счет подачи/отключения на них постоянного напряжения плюс 28 В с соответствующего разъема задней панели P42 (цифра 6 на рисунке 7.2). Немаловажной характеристикой является зависимость ИОШТ от нестабильности напряжения питания, а также время установления выходной мощности при пода-

че/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 проверок/калибровок.

Шумовая температура является, зачастую, нормируемой величиной для НГШ. Для твердотельных ГШ шумовая температура непосредственно связана с ИОШТ по формуле (14.7).

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

7 Порядок работы

7.1 Расположение органов управления и присоединения

7.1.1 Передняя панель

Общий вид передней панели Р42 и расположение органов управления и присоединения представлен на рисунке 7.1.

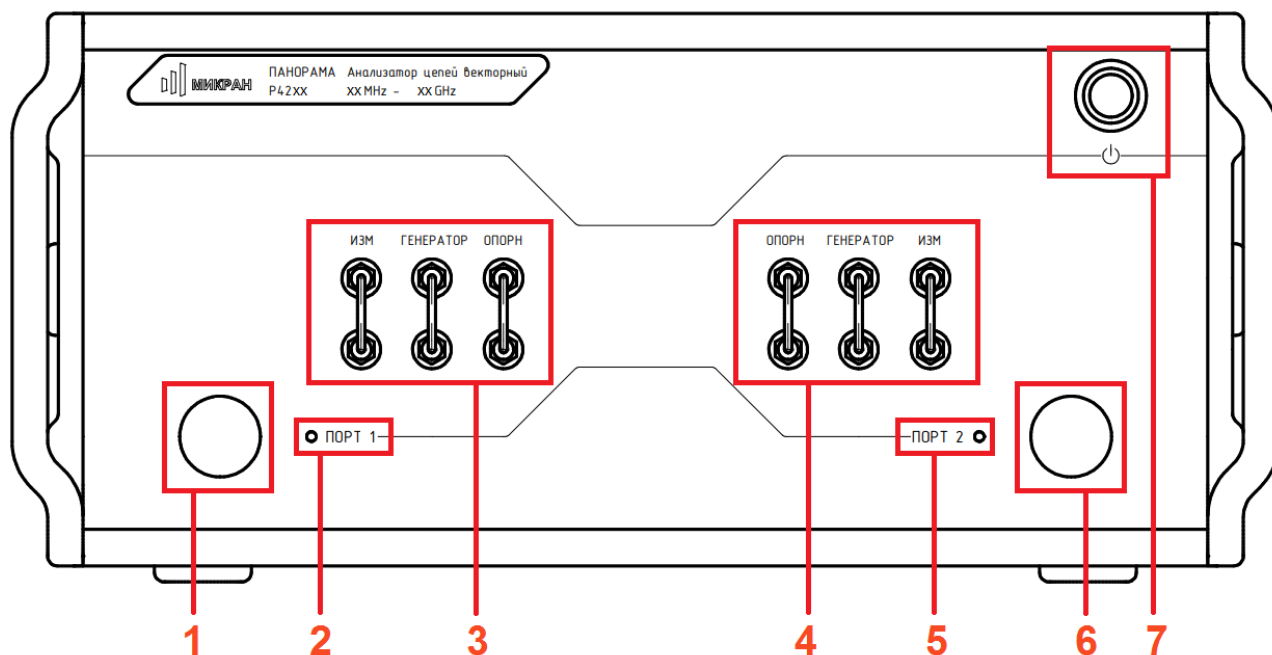
Назначение органов управления и присоединения следующее.

Коаксиальный соединитель (вход/выход СВЧ) порта 1 и 2 (цифры 1 и 6 на рисунке 7.1) – тип соединителя определяется модификацией (см. таблицы 4.6, 4.7 и 5.1, Р4226А по опциям соответствует Р4226/5); предназначен для подачи (с него и на него) сигналов СВЧ; включенные индикаторы (цифры 2 и 5 на рисунке 7.1) свидетельствуют об излучении сигнала СВЧ с соответствующих портов.

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

Перемычки входов/выходов для прямого доступа к измерительным и опорным приемникам, выходу генератора (цифры 3 и 4 на рисунке 7.1) – соединители имеют тип SMA (см. таблицу 5.1); обозначения ОПОРН – соответствуют тракту с опорным приемником, ИЗМ – тракту с измерительным приемником, ГЕНЕРАТОР – с генератором; более подробно о схеме подключения к

указанным входам/выходам см. структурную схему на рисунке 4.5.



- 1 – коаксиальный соединитель (вход/выход СВЧ) порта 1;
- 2 – индикатор состояния порта 1;
- 3 – переключки входов/выходов для прямого доступа к измерительным и опорным приемникам, выходу генератора порта 1;
- 4 – переключки входов/выходов для прямого доступа к измерительным и опорным приемникам, выходу генератора (только для Р4226А и для Р4213, Р4226 с опцией «ДПА» или «ДМА»), а также к шумовому приемнику (только для Р4226А), порта 2;
- 5 – индикатор состояния порта 2;
- 6 – коаксиальный соединитель (вход/выход СВЧ) порта 2;
- 7 – выключатель питания «» со встроенным индикатором питания.

Рисунок 7.1 – Расположение органов управления и присоединения передней панели Р42

Выключатель питания (цифра 7 на рисунке 7.1) – выключатель электропитания; в «утопленном» состоянии соответствует включенному электропитанию, при этом выключатель должен подсвечиваться встроенным индикатором; в отжатом состоянии соответствует выключенному электропитанию.

7.1.2 Задняя панель

Общий вид задней панели для Р42 и расположение органов управления и присоединения представлены на рисунке 7.2.

Назначение органов управления и присоединения следующее.

1) Выключатель блока питания (цифра 1 на рисунке 7.2) – отключает/включает электропитание блока питания; в выключенном состоянии включение Р42 с помощью выключателя на передней панели невозможно.

2) Гнездо установки предохранителя блока питания (цифра 2 на рисунке 7.2) – для получения большей информации о замене предохранителя см. п. 10.1.

3) Колодка кабеля питания (цифра 3 на рисунке 7.2) ~ 230 В 50 Гц 1 А – содержит гнездо установки предохранителя блока питания.

4) Зажим (клемма) защитного заземления  (цифра 4 на рисунке 7.2) – предназначена для соединения с системой заземления (либо зануления).

❗ Внимание: перед подключением Р42 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо путём визуального осмотра убедиться в исправности кабеля питания и соединить зажим защитного заземления (далее – клемма заземления), обозначенный символом  и находящийся на задней панели Р42, с заземляющим проводником (в крайнем случае, с занулённым зажимом питающей сети)!

5) Входной соединитель опорного генератора «ОГ →» (цифра 5 на рисунке 7.2), тип BNC, розетка, – вход опорного генератора частоты 10 МГц.

6) Выходной соединитель питания «ГШ ←» (цифра 6 на рисунке 7.2) имеет тип BNC, розетка, – предназначен для подачи на генератор шума питающего постоянного напряжения плюс 28 В.

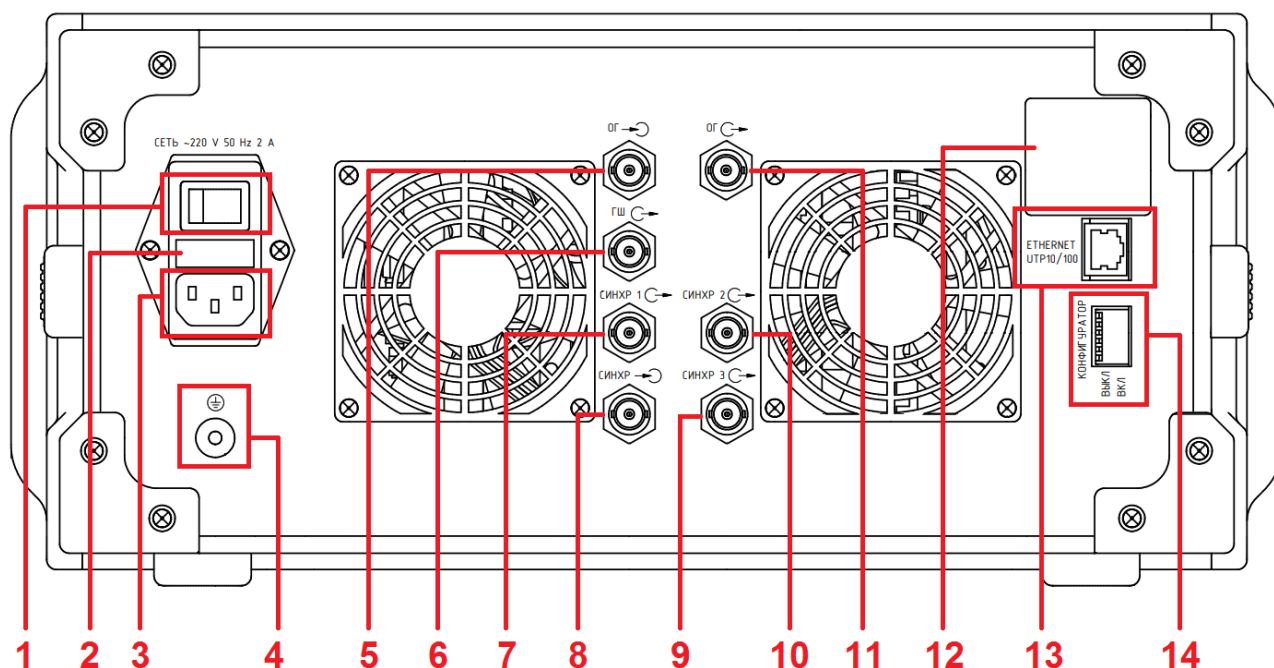
7) Выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 1 ←» (цифра 7 на рисунке 7.2) тип BNC, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по использованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.

8) Входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР →» (цифра 8 на рисунке 7.2) тип BNC, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по использованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.

9) Выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 3 ←» (цифра 9 на рисунке 7.2) тип BNC, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по ис-

пользованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.

10) Выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 2 » (цифра 10 на рисунке 7.2) тип *BNC*, розетка, – может использоваться для цифровой синхронизации с другими приборами при построении измерительных комплексов; для получения более подробной информации по использованию данного разъема см. описание системы синхронизации в разделе измерений ч. II настоящего РЭ.



- 1 – выключатель блока питания (выключатель питания на задней панели);
- 2 – гнездо установки предохранителя блока питания;
- 3 – колодка кабеля питания;
- 4 – зажим (клемма) защитного заземления 
- 5 – входной соединитель опорного генератора «ОГ »;
- 6 – выходной соединитель питания «ГШ »;
- 7 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 1 »;
- 8 – входной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР »;
- 9 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 3 »;
- 10 – выходной соединитель сигнала цифровой синхронизации «СИНХР 2 »;
- 11 – выходной соединитель опорного генератора «ОГ »;
- 12 – этикетка;
- 13 – разъём для подключения P42 к ПК «ETHERNET UTP 10/100»;
- 14 – панель переключателей КОНФИГУРАТОР.

Рисунок 7.2 – Расположение органов управления и присоединения задней панели Р42

11) Выходной соединитель опорного генератора «ОГ » (цифра 11 на рисунке 7.2), тип *BNC*, розетка – выход опорного генератора частоты 10 МГц.

12) Этикетка (цифра 12 на рисунке 7.2) – содержит информацию о заводском номере, модификациях и опциях (при наличии), год изготовления и др.

13) Разъём для подключения Р42 к ПК «ETHERNET UTP 10/100» (цифра 13 на рисунке 7.2).

14) Панель переключателей КОНФИГУРАТОР (цифра 14 на рисунке 7.2) – переключатели, которые позволяют устанавливать необходимые наборы сетевых параметров, определяющих тип логического подключения к управляющему ПК (управление осуществляется по протоколу *TCP/IP*) по интерфейсу *Ethernet UTP 10/100 (IEEE 802.3)*; в начальном состоянии для прямого подключения все переключатели должны находиться в состоянии *OFF* или ВЫКЛ (крайнее левое положение); настройки конфигулятора вступают в силу после включения Р42, если в ходе работы настройки были изменены, то для их применения следует перезапустить Р42; для получения более подробной информации по настройке КОНФИГУРАТОРА см. описание и выбор сетевых параметров раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ.

7.2 Сведения о порядке подготовки к проведению измерений

Документация. Перед началом подготовки Р42 к эксплуатации необходимо занести в формуляр дату ввода Р42 в эксплуатацию. Убедиться путём внешнего осмотра в отсутствии дефектов и поломок по причине некачественной упаковки или неправильного транспортирования.

Установка перемычек. Соединить входы и выходы соединителей ИЗМ, ГЕНЕРАТОР, ОПОРН (цифры 3 и 4 на рисунке 7.1), при их наличии, перемычками, если они не соединены.

Установка на рабочее место (если не устанавливался ранее). Установить Р42 на ровную горизонтальную поверхность рабочего стола так, чтобы все ножки измерительного блока упирались в неё, развернуть Р42 в удобное для работы положение, обеспечив свободный доступ к органам управления и соединителям задней и передней панелей. Поверхность стола должна быть твёрдой, без мягких прокладок, листов бумаги и т.п., чтобы не закрывались вентиляционные отверстия на днище Р42. Для обеспечения нормальной вентиляции расстояние между задней панелью Р42 и соседними предметами должно быть не менее 150 мм.

Условия эксплуатации. Для измерения КШ убедиться, что условия эксплуатации соответствуют нормальным условиям (см. п. 4.2), а для остальных измерений – рабочим условиям применения, приведенным в таблице 4.2. В случае если Р42 и комплект принадлежностей находились в условиях, отличных от условий эксплуатации, но при значениях влажности значительно меньших, чем указаны для предельных условий транспортирования (см. табли-

цу 4.3), то необходимо выдержать Р42 в условиях эксплуатации не менее 3 ч. Если условия транспортирования по относительной влажности воздуха можно считать близкими к предельным условиям транспортирования (см. таблицу 4.3), то необходимо выдержать Р42 в рабочих условиях эксплуатации не менее 24 ч.

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

Соединить клемму заземления Р42 (цифра 4 на рисунке 7.2) с системой заземления или занулённым зажимом питающей сети (по окончании работы и отключения Р42 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) Р42 в положение «О» (или отжатое состояние)).

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

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

Физическое подключение кабеля Ethernet. Осуществить физическое подключение Р42 напрямую к управляющему ПК (рекомендуется), либо к локальной сети, кабелем Ethernet, обеспечив хороший контакт. Включить ПК, с которого будет осуществляться управление Р42.

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 Р42 к сети электропитания или подключением к нему других приборов необходимо убедиться в исправности кабеля питания, а также убедиться, что кнопка питания «» на передней панели Р42 находится в отжатом («неутопленном») состоянии «О», а выключатель питания на задней панели в положении «О»!***
-  ***"ВНИМАНИЕ! Перед любым подключением зажим защитного заземления на задней панели Р42 должен быть подсоединен к внешней защитной системе заземления!"***

Соединить Р42 кабелем питания с сетью электропитания ~ 230 В 50 Гц 1 А. Включить блок питания Р42 выключателем на задней панели (цифра 1 на

рисунке 7.2), при его наличии, переведя его в положение «I». Включить Р42 выключателем «⏻» на передней панели (цифра 7 на рисунке 7.1), переведя его в нажатое («утопленное») состояние, убедиться в наличии индикации кнопки «⏻».

Запуск ПО и логическое подключение. Запустить ПО в необходимом режиме измерения и подключиться к Р42 (см. описание запуска программы и подключения к Р42 раздела с общими сведениями и указаниями ч. II настоящего РЭ).

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

Прогрев. Перед началом проведения измерений на Р42 необходимо осуществлять его прогрев. Выдержать Р42 во включённом состоянии при запущенном процессе измерений в течение времени установления рабочего режима (т.е. 1 ч). Об особенностях прогрева Р42 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 Р4213 и Р4226 проводится согласно методике поверки МП-191-RA.RU.310556-2019, а поверка Р4226А – согласно методике поверки МП 113-23-013.

9 Техническое обслуживание

Для Р42 предусмотрено неплановое техническое обслуживание, выполняемое фирменным методом по ГОСТ 18322. Других видов и способов технического обслуживания для Р42 не предусмотрено.

При соблюдении условий эксплуатации особое техническое обслуживание Р42 не требуется.

Техническое обслуживание Р42 проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

10 Текущий ремонт

Для Р42 предусмотрен текущий ремонт, выполняемый фирменным методом согласно ГОСТ 18322. Других видов и способов ремонта для Р42 не предусмотрено.

Ремонт Р42 проводится только предприятием-изготовителем или его уполномоченными представителями.

❗ Запрещается проводить самостоятельный ремонт Р42 и комплекта принадлежностей!

Допускается самостоятельная замена плавкого предохранителя согласно п. 10.1.

После проведения ремонта Р42 должен быть подвергнут поверке (при необходимости).

10.1 Смена плавкого предохранителя

Смена плавкого предохранителя производится в следующем порядке:

а) выключить питание Р42 (на передней панели), отключить блок питания выключателем на задней панели Р42 (при наличии), установив его в положение «О»; отключить кабель питания; отсоединить клемму защитного заземления Р42 от системы заземления;

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

в) установить сменный предохранитель, находящийся в гнезде. В случае отсутствия сменного предохранителя установить предохранитель типоразмера 5х20 с номинальным током 1 А;

г) закрыть крышку фильтра питания; соединить клемму защитного заземления Р42 с шиной системы защитного заземления; подключить Р42 к сети электропитания $\sim (230 \pm 23)$ В 50 Гц 1 А с помощью кабеля питания; включить блок питания выключателем на задней панели Р42 (при наличии);

д) включить питание выключателем питания на передней панели Р42, убедиться в наличии индикации кнопки «⏻».

❗ Повторный выход из строя предохранителя после включения означает неисправность Р42. Для устранения неисправности необходимо обратиться в службу технической поддержки по телефону или электронной почте, указанным на титульной странице настоящего РЭ.

10.2 Гарантийное и послегарантийное обслуживание

Предприятие-изготовитель гарантирует согласно разделу 13 «Гарантии предприятия-изготовителя» соответствие Р42 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 Р42 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 Р42 и комплект принадлежностей, согласно п. 11.3.2, и отправить их на предприятие-изготовитель для ремонта или замены.

Комплект поставки Р42, при отправке на предприятие-изготовитель для ремонта или замены, должен соответствовать комплекту поставки, указанному в формуляре.

 *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 Р42 и комплекта принадлежностей проводится только силами предприятия-изготовителя или его уполномоченных представителей.

Предприятие-изготовитель осуществляет платный негарантийный ремонт и сервисное обслуживание Р42 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

Р42 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.

Р42 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 Р42 и комплекта принадлежностей допускается любыми закрытыми транспортными средствами с условиями транспортирования согласно таблице 4.3, исключая сильные удары и значительные механические повреждения упаковки, а также механические повреждения Р42 и комплекта принадлежностей. Погрузка и выгрузка не требует применения погрузочно-разгрузочных средств.

Транспортировать и устанавливать упакованный Р42 следует согласно знакам, нанесённым на транспортную упаковку.

При транспортировании воздушным транспортом Р42 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 Р42 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 Р42 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) Р42, комплект принадлежностей и документацию;

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

г) сравнить номера Р42 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 Р42 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 Р42 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 Р42.

11.3.2 Повторное упаковывание

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

Перед упаковыванием Р42 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 Р42 и комплект принадлежностей должны быть осмотрены и очищены от пыли и грязи.

Упаковывание Р42 и комплекта принадлежностей проводится в следующей последовательности:

а) соединители входов и выходов Р42 закрыть заглушками (колпачками);

б) поместить Р42, 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 Р42, комплекта принадлежностей и документации, укладываемых в кейс.*

в) упакованный Р42 и комплект принадлежностей уложить во вторичную упаковку (пластмассовый контейнер (кейс)). Пространство между стенками

вторичной упаковки и упакованными Р42 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 Р42 от одного потребителя другому;

и *Примечание – «Свидетельство об упаковывании» в формуляре заполняется только при первом упаковывании на предприятии-изготовителе. При повторном упаковывании Р42 заполнять в формуляре «Свидетельство об упаковывании» не требуется, отметка делается только в таблице приёма-передачи Р42 от одного потребителя другому.*

д) распечатать страницы с пунктом 11.3.1 «Распаковывание» и вместе с остальной документацией, указанной в таблицах 4.4 и 4.5, 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 Р42 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 Р42;

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 Р42 должны быть нанесены следующие обозначения:

- название предприятия-изготовителя;
- тип Р42;
- обозначения органов управления, индикаторов и соединителей (см.

п. 7.1.1).

На задней панели Р42 должны быть нанесены следующие обозначения:

- тип, модификация (или опции, либо модификация и опции) Р42;
- 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 Р42;
- 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 4.3 и 4.4.

❗ Р42 имеет защитные пломбы (места пломбировки указаны на рисунках 4.3 и 4.4), несанкционированное вскрытие которых запрещается!

13 Гарантии предприятия-изготовителя

Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие Р42 требованиям настоящего РЭ (гарантированными считают технические и метрологические характеристики, приводимые в таблицах 4.8–4.13 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 Р42 или комплект принадлежностей не распространяются в следующих случаях:

- имеются механические повреждения Р42 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 Р42 или комплекта принадлежностей;
- повреждены пломбы предприятия-изготовителя;
- имеются следы вскрытия корпуса Р42 или комплекта принадлежностей;

- стей;
- 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

Р42 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

Р42 поддерживает один измерительный канал:

- Измерения в частотной области.

Канал «Измерения в частотной области» позволяют проводить измерения S -параметров и коэффициента шума (только для Р4226А), а также, соответственно, связанных с ними величин (например комплексные проводимости, шумовую температуру и др.).

При измерении S -параметров для компенсации систематических ПГ используется модель ошибок, включающая 12 параметров (факторов ошибок), которые вычисляются в процессе калибровки. Для получения информации о формулах и дополнительных комментариях к различным вариантам нормировки см. Приложение Б.

А.1 Исключение/встраивание цепей, компенсация

Если калибровка и измерения проводятся в различных трактах, то необходимо применять функции исключения/встраивания цепей (см. описание исключения/встраивания цепей раздела с измерениями ч. II настоящего РЭ). Для исключения/встраивания цепи используются T -параметры.

При исключении цепи 1 (Ц1) и цепи 2 (Ц2) (т.е. когда эти цепи используются при измерении, но не использовались при калибровке) S -параметры этих цепей в ПО *Graphit* сначала переводятся в T -параметры, т.е. соответственно $[S1] \rightarrow [T1]$ и $[S2] \rightarrow [T2]$, где $[T \dots]$ и $[S \dots]$ – матрицы соответствующих параметров; далее рассчитываются матрица T -параметров $[T_{\Sigma}]$ для системы «Ц1+ИУ+Ц2» из измеренных S -параметров $[S_{\Sigma}]$, которая в свою очередь связана с T -параметрами ИУ по формуле

$$[T_{\Sigma}] = [T1] \times [T_{иу}] \times [T2], \quad (14.2)$$

где $[T_{иу}]$ – матрица T -параметров ИУ.

далее рассчитывается матрица $[T_{иу}]$ и из нее матрица S -параметров ИУ $[S_{иу}]$:

$$[T_{иу}] = [T1]^{-1} \times [T_{\Sigma}] \times [T2]^{-1} \Rightarrow [T_{иу}] \rightarrow [S_{иу}]. \quad (14.3)$$

При встраивании цепей используется обратная последовательность. После вычисления матрицы T -параметров $[T_{иу}]$ из измеренных S -параметров ИУ

без цепей Ц1 и Ц2, которые были использованы при калибровке и которые нужно «встроить» при измерении, вычисляется матрица $[T_{\Sigma}]$ для системы «Ц1+ИУ+Ц2» и далее для этой системы рассчитывается матрица S-параметров $[S_{\Sigma}]$ по формуле

$$[T_{иу}] = [T1] \times [T_{\Sigma}] \times [T2] \Rightarrow [T_{иу}] \rightarrow [S_{иу}]. \quad (14.4)$$

Также в ПО *Graphit* предусмотрена компенсация потерь из-за аттенюаторов (внешних или встроенных, ослабление которых устанавливается на панели управления «Мощность». При компенсации мощность (в Вт) делится на модуль коэффициента передачи (в отн. ед.) аттенюатора.

А.2 Общие формулы шумовых измерений

При измерении КШ (только для Р4226А) в основу работы положено нахождение дифференциального КШ методом холодного источника (или, по-другому, *Cold*-методом, или *Gain*-методом). Прямыми измерениями при этом являются измерения мощности. Процесс измерения в общем случае выполняется в два этапа: пользовательская калибровка (ГШ подключается ко входу к порту 2 Р42). Измерение в свою очередь подразумевает два подэтапа: измерение коэффициента передачи (т.е. S_{21} , обычное измерение S-параметров) и измерение коэффициента шума (на вход ИУ подключается согласованная нагрузка (в качестве СН может выступать выключенный ГШ или порт 1 Р42), а выход ИУ подключается к порту 2 Р42).

ПО, под управлением которого находится Р42, производит вычисление КШ ИУ $F_{иу}$, отн. ед., по формуле

$$F_{иу} = \frac{P_{вых}^{иу}}{N_0 \cdot G_{иу}}, \quad (14.5)$$

где $P_{вых}^{иу}$ – мощность, измеренная с выхода ИУ, мВт;
 $N_0 = k \cdot T_0 \cdot B$ – мощность, измеренная с выхода СН, мВт;
 $G_{иу}$ – КП ИУ по мощности ($G_{иу} = (S_{21}^{иу})^2$), отн. ед.;
 B – полоса фильтра ПЧ, в которой проводится измерение, Гц;
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К.
 КШ ИУ $F_{иу}$ в дБ рассчитывается по формуле

$$F_{иу}[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(F_{иу}[\text{отн.ед.}]). \quad (14.6)$$

ИОШТ ГШ выражается через шумовые температуры по формуле

$$ENR = \frac{T_h - T_c}{T_0}, \quad (14.7)$$

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

T_h, T_c – 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 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

$$ENR[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(ENR[\text{отн.ед.}]), \quad (14.8)$$

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.

Для оценки ПГ измерения КШ см. Приложение Б.

А.3 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)

$$f_{\text{ПЧ}} = -(f_{\text{Г}} - f_{\text{с}}), \quad (14.9)$$

где $f_{\text{ПЧ}}$ – преобразованные частоты на выходе ИУ;

$f_{\text{Г}}$ – частота гетеродина, используемого совместно с ИУ;

$f_{\text{с}}$ – частота сигнала на входе ИУ;

для нижнего гетеродина

$$f_{\text{ПЧ}} = f_{\text{Г}} + f_{\text{с}}. \quad (14.10)$$

Приложение Б (справочное)

Основные формулы для коррекции S-параметров и оценка погрешности измерений КШ

Общие сведения о погрешностях измерений S-параметров

Погрешности R42 по закономерностям проявления можно разделить на следующие группы:

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

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

- в) Систематические погрешности:

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

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

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

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

Под инструментальными составляющими погрешности здесь понимаются погрешности, связанные с неопределённостью параметров самого R42 (коэффициентов отражения от его портов, изоляции между портами и т.п.). Для исключения этих составляющих необходима пользовательская калибровка и ее применение к результатам измерений (коррекция). Тем не менее, даже после коррекции, остаются неисключенные систематические составляющие погрешности. Итоговую погрешность измерений S-параметров после коррекции можно оценить по формулам из технических характеристик (п. 4.6). Эти же формулы

будут справедливы и при измерениях S -параметров устройств с преобразованием частоты (если не учитывать составляющие погрешности, связанные с точностью переноса частоты и дополнительных потерь, вносимых схемой преобразования).

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

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

Для оценки и компенсации систематических составляющих погрешности необходима модель влияния факторов ошибок на измеряемые параметры. На рисунке Б.1 представлена упрощённая функциональная схема Р42, иллюстрирующая распространение сигналов и помех.

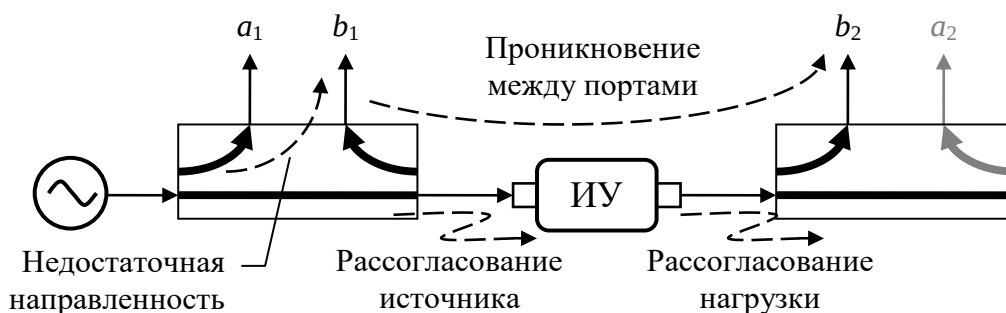


Рисунок Б.1 – Функциональная схема прямого зондирования

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

Т а б л и ц а Б.1 – Факторы ошибок

Наименование	Обозначение	Источник
Направленность (<i>Directivity</i>)	E_D	Паразитные проникновения
Изоляция (<i>Crosstalk or Isolation</i>)	E_X	
Согласование источника сигнала (<i>Source impedance mismatches</i>)	E_S	Паразитные отражения

Наименование	Обозначение	Источник
Согласование нагрузки (<i>Load impedance mismatches</i>)	E_L	
Частотная неравномерность тракта отражённого сигнала (<i>Frequency response reflection tracking</i>)	E_R	Частотные неравномерности
Частотная неравномерность тракта передаваемого из порта в порт сигнала (<i>Frequency response transmission tracking</i>)	E_T	

Р42 измеряет амплитуды и фазы сигналов на входах a_1, b_1, b_2 при прямом зондировании и на входах a_2, b_1, b_2 – при обратном. Из измеренных значений вычисляются **измеряемые параметры рассеяния** исследуемого устройства по формулам:

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

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

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

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

Свойства искажающих адаптеров описываются S -параметрами, представляющие собой факторы ошибок, приведённые в таблице Б.1. Вторая буква в индексе F или R , означает направление зондирования. Искажающие адаптеры характеризуют как цепи внутри Р42, так и кабели СВЧ и переходы вплоть до соединителя, к которому подключались меры при калибровке и к которому должно подключаться исследуемое устройство. Можно сказать, что Р42 калибруется в некотором сечении коаксиального тракта, обозначенного пунктирной линией на рисунках Б.2 и Б.3.

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

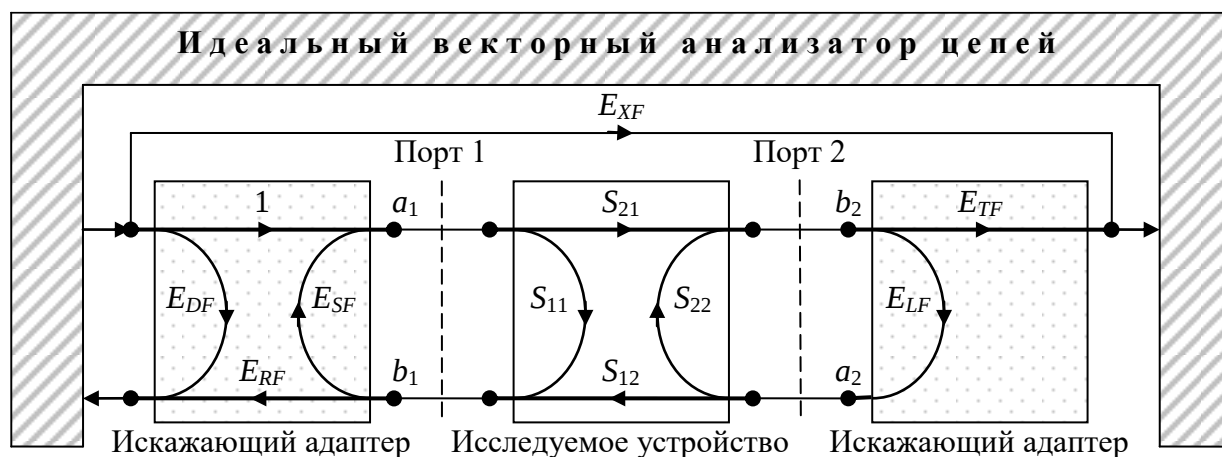


Рисунок Б.2 – Модель с 6 факторами ошибок при прямом зондировании

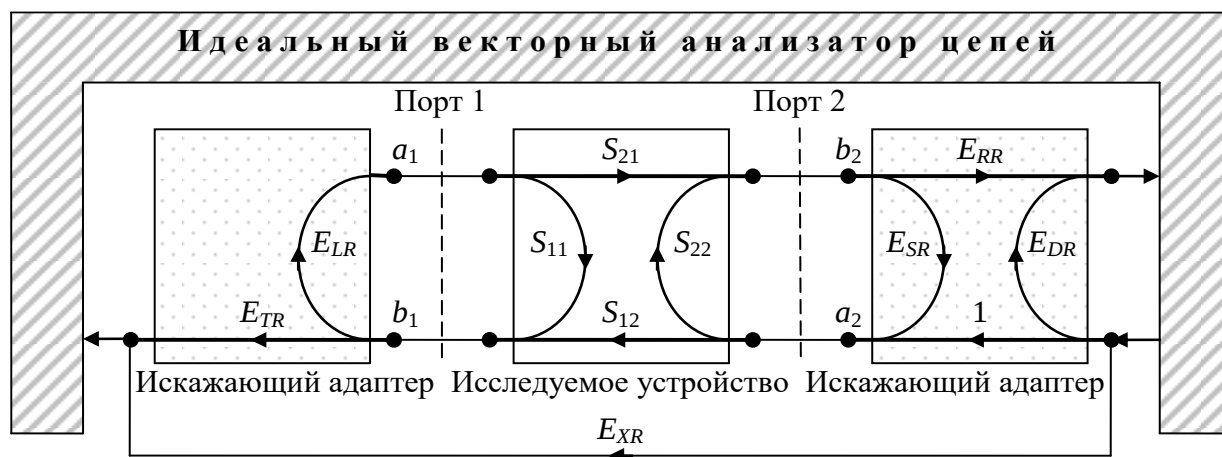


Рисунок Б.3 – Модель с 6 факторами ошибок при обратном зондировании

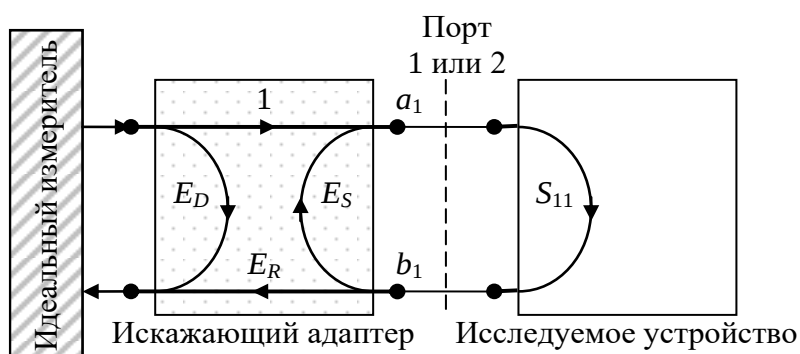


Рисунок Б.4 – Модель с 3 факторами ошибок для работы с одним портом

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

параметров:

$$S_{11}^M = f_{3err}(E_D, E_R, E_S, S_{11}), \quad (\text{Б.12})$$

$$S_{11} = f_{3err}^{-1}(E_D, E_R, E_S, S_{11}^M), \quad (\text{Б.13})$$

для модели с 3 факторами ошибок;

$$\begin{bmatrix} S_{11}^M & S_{12}^M \\ S_{21}^M & S_{22}^M \end{bmatrix} = f_{12err} \left(\{E\}, \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \right), \quad (\text{Б.14})$$

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = f_{12err}^{-1} \left(\{E\}, \begin{bmatrix} S_{11}^M & S_{12}^M \\ S_{21}^M & S_{22}^M \end{bmatrix} \right), \quad (\text{Б.15})$$

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

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

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

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

Коррекция коэффициента передачи осуществляется в соответствии с выражением

$$S_{21}^* = (S_{21}^M - E_{XF}^*) \cdot \frac{S_{21Thru}}{S_{21Thru}^M}, \quad (\text{Б.16})$$

$$S_{12}^* = (S_{12}^M - E_{XR}^*) \cdot \frac{S_{12Thru}}{S_{12Thru}^M}, \quad (\text{Б.17})$$

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

S_{21Thru} и S_{12Thru} – известные коэффициенты передачи меры на проход.

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

ции, то $E_X^* = 0$.

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

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

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Open}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Open} \text{ или } S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Short}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Short}, \quad (\text{Б.18})$$

при использовании одной нагрузки ХХ или КЗ;

$$S_{11}^* = \frac{\frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Open}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Open} + \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Short}^M - E_{DF}^*} \cdot \Gamma_{Short}}{\Gamma_{Open} + \Gamma_{Short}} \cdot 2, \quad (\text{Б.19})$$

при использовании двух нагрузок ХХ и КЗ;

$$S_{11}^* = \frac{S_{11}^M - E_{DF}^*}{S_{11Калиб}^M - E_{DF}^*}, \quad (\text{Б.20})$$

при калибровке на произвольную нагрузку.

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

Γ_{Open} и Γ_{Short} – известные коэффициенты отражения нагрузок ХХ и КЗ;

S_{11Open}^M и $S_{11Short}^M$ – измеренные при калибровке коэффициенты отражения от нагрузок ХХ и КЗ;

$S_{11Калиб}^M$ – измеренные при калибровке коэффициент отражения от произвольной нагрузки.

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

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

Аналогичные выражения можно записать для S_{22} и зондирования в обратном направлении.

Однопортовая векторная калибровка оценивает и корректирует факторы ошибок E_D , E_R и E_S .

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

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

Для однопортовой и полной двухпортовой калибровки нормируются пределы погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения, указанные в характеристиках P42.

Оценка погрешности измерения КШ (для P4226A)

Для оценки действительной погрешности измерения коэффициента шума можно воспользоваться файлом «Расчет_ПГ_КШ_P42x_v1.7.x», при его наличие на поставляемом цифровом носителе из комплекта поставки P42. Ниже приводится вариант расчёта погрешности, представляющей собой доверительные границы неисклѳѳенной систематической ПГ (для вероятности 0,95), рассчитанные согласно МИ 2083.

Исходными данными для расчёта являются:

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

$$|S_{11}^{P4}| = (КСВН_{P4} - 1) / (КСВН_{P4} + 1), \quad (Б.21)$$

где $КСВН_{P4}$ – значение КСВН порта 2 P42 при включѳѳенном шумовом приёмнике (методика измерения описана в методике поверки, также результаты измерений данной величины можно взять из протоколов приѳѳемо-сдаточных испытаний P4226A);

- погрешность измерения отношения Y из-за нелинейности амплитудной характеристики (АХ) P42 $\Delta Y_{нел}$ (методика измерения описана в методике поверки, также результаты измерений данной величины можно взять из протоколов приѳѳемо-сдаточных испытаний P4226A);

- ИОШТ используемого ГШ ENR ;
- действительная погрешность ИОШТ используемого ГШ (ΔENR) (берётся из протоколов его поверки);
- температура, при которой проводились измерения T , К;
- сумма погрешности термометра и отклонения температуры окружающей среды от стандартной температуры ΔT , К;
- ПГ измерения КП ИУ $|\Delta S_{21}^{ИУ}|$, рассчитываемой, дБ, по формулам из технических характеристик Р42 (см. п. 4.6; при этом в качестве $|S_{yx}|$ следует подставлять значение минус 10 дБ (или 0,31623 отн. ед.), если при измерении S-параметров обеспечивался уровень измеряемой мощности на порту 2 Р42 минус 10 дБ/мВт путём установки соответствующего уровня мощности генератора и включения аттенюаторов).

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

Расчёт составляющей погрешности измерений КШ, обусловленной погрешностью измерения $|S_{21}|$ ИУ, отн. ед., определить по формуле:

$$\Delta F_G = -F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot |\Delta G_{ИУ}|[\text{дБ}]} - 1), \quad (\text{Б.22})$$

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

$$\Delta G_{ИУ} = 10 \cdot \lg(1 + 2 \cdot |\Delta S_{21}^{ИУ}| / |S_{21}^{ИУ}|), \quad (\text{Б.23})$$

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

$$F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] = 10^{0,1 \cdot F_{ИУ}[\text{дБ}]}, \quad (\text{Б.24})$$

$$|S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] = 10^{0,05 \cdot G_{ИУ}[\text{дБ}]}, \quad (\text{Б.25})$$

$$|\Delta S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] = |S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,05 \cdot |\Delta S_{21}^{ИУ}|[\text{дБ}]} - 1). \quad (\text{Б.26})$$

Составляющую погрешности измерения КШ из-за погрешности ИОШТ ГШ ΔF_{ENR} определять, отн. ед., по формуле:

$$\Delta F_{ENR} = F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta ENR[\text{дБ}]} - 1), \quad (\text{Б.27})$$

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

$$Z = \left(1 - \frac{\bar{M}}{|S_{21}^{ИУ}|^2 \cdot F_{ИУ}}\right), \quad (\text{Б.28})$$

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

$$\bar{M} = ((1 - |S_{22}^{ИУ}| \cdot |S_{11}^{P4}|)^2 + (1 + |S_{22}^{ИУ}| \cdot |S_{11}^{P4}|)^2) / 2, \quad (\text{Б.29})$$

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

$$\Delta F_Y = F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot \frac{\Delta Y[\text{отн. ед.}]}{Y[\text{отн. ед.}]}, \quad (\text{Б.30})$$

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

$$Y = \frac{1}{ENR[\text{отн. ед.}]} \left(\frac{F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot G_{ИУ}[\text{отн. ед.}]}{\bar{M}[\text{отн. ед.}]} - 1 \right), \quad (\text{Б.31})$$

где $ENR[\text{отн. ед.}] = 10^{0,1 \cdot ENR[\text{дБ}]}$;

а ΔY , отн. ед., по формуле:

$$\Delta Y = 1,1 \sqrt{(\Delta Y_{\text{нел}}[\text{отн. ед.}])^2 + (\Delta Y_T[\text{отн. ед.}])^2}, \quad (\text{Б.32})$$

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

$$\Delta Y_T = - \frac{(F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] - 1) \cdot G_{ИУ}[\text{отн. ед.}]}{\bar{M}[\text{отн. ед.}] \cdot ENR[\text{отн. ед.}]} \cdot \frac{\Delta T[\text{К}]}{T[\text{К}] + \Delta T[\text{К}]}, \quad (\text{Б.33})$$

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

$$\Delta Y_{\text{нел}} = Y[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta Y_{\text{нел}}[\text{дБ}]} - 1). \quad (\text{Б.34})$$

За предел составляющей погрешности измерений из-за рассогласования выхода ИУ и входа порта 2 Р42 $\Delta F_{M \max}$ для КСВН_{Р4} $\leq 2,35$ и $|S_{22}^{ИУ}| \leq 0,259$ отн. ед. допускается принять значение 53,577 отн. ед., либо рассчитать по специальной методике.

Найти верхнюю $\Delta F_{1+}^{ИУ}$ и нижнюю $\Delta F_{1-}^{ИУ}$ доверительные границы погрешности $\Delta F_1^{ИУ}$, дБ, для вероятности 0,95, по формуле

$$\Delta F_{1\pm}^{\text{ИУ}} = 10 \cdot \lg \left(1 \pm \frac{1,1}{F_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \cdot \sqrt{\Delta F_G^2[\text{отн. ед.}] + \right. \\ \left. + \Delta F_{ENR}^2[\text{отн. ед.}] + (1/1,1)^2 \Delta F_Y^2[\text{отн. ед.}] + \Delta F_{M \max}^2[\text{отн. ед.}]} \right). \quad (\text{Б.35})$$

Приложение В (справочное) Библиография

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

2. Российская Федерация. Законы. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н // Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок : Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н : Зарегистрировано в Министерстве Юстиции РФ 30.12.2020, рег. N 61957 / Министерство труда и социальной защиты; Министр 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.