

# УСТРОЙСТВА РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ЧАСТЬ 3

В 1980 гг. на рынке измерительного оборудования появились системы векторного анализа цепей (Vector Network Analysis, VNA) для полного охвата волноводного диапазона, способные измерять характеристики поглощения (absorption), отражательную способность (reflectivity) и параметры рассеяния (scattering) до 110 ГГц. В конце 1990 гг. верхняя частотная граница применения волноводов увеличилась до 220 ГГц. В начале 2000 гг. были разработаны векторные анализаторы цепей (ВАЦ) на частоты до 230 ГГц. По мере развития техники СВЧ стали доступными системы ВАЦ для работы с волноводами на частоте выше 300 ГГц.

## РАСШИРИТЕЛИ ЧАСТОТ ДЛЯ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА SAX

Расширители диапазонов рабочих частот для анализаторов спектра SAX (*Spectrum Analyzer Extenders*) можно реализовывать и использовать в разных конфигурациях (рис. 37) для выполнения ряда функций: расширение частотного диапазона анализаторов (*Spectrum Analyzer Extension*), преобразование сигнала с уменьшением частоты (*Block Down-conversion*) и преобразова-

ние с увеличением частоты (*Block Up-conversion*).

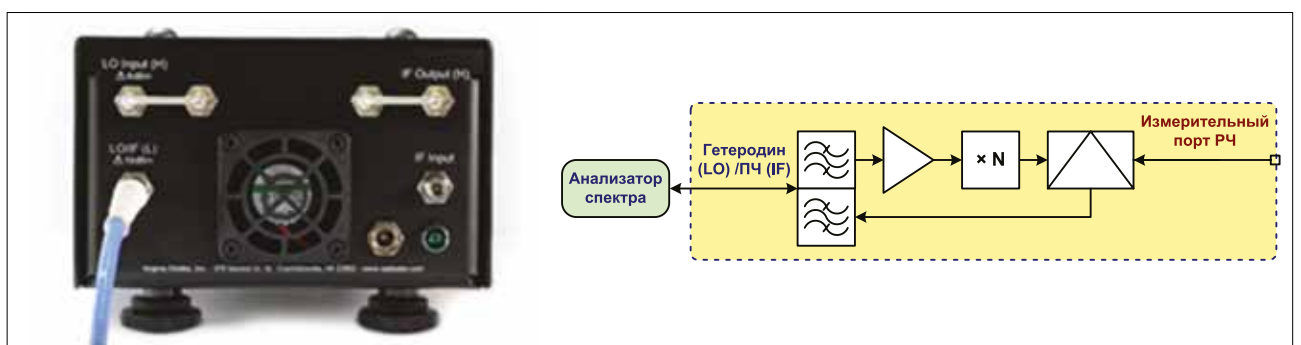
Расширители частот анализаторов спектра SAX компании Virginia Diodes (VDI) осуществляют высококачественное широкополосное понижающее преобразование и обеспечивают функционирование анализаторов спектра в терагерцовом диапазоне. Модули VDI SAX, обеспечивая полный охват волноводного диапазона, работают в 12 полосах, начиная с WR15 (50–75 ГГц) и заканчивая

WR1.0 (750–1100 ГГц) с дополнительными полосами, которые разрабатываются компанией в настоящее время. При преобразовании сигналов с понижением частоты можно использовать широкий диапазон ПЧ до 40 ГГц.

Использование модулей в разных режимах и на разных частотах осуществляется подачей необходимых сигналов на соответствующие входы тестового оборудования и установкой полужестких кабельных перемычек на задней панели



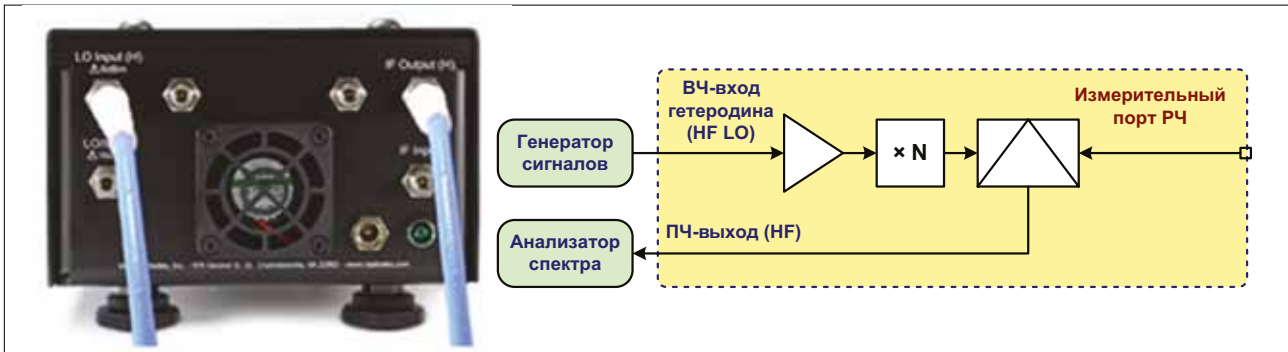
▲ Рис. 37. Комплект модуля расширения рабочего диапазона анализатора спектра серии SAX компании Virginia Diodes (VDI) и вид на заднюю панель



▲ Рис. 38. Расширение рабочего диапазона анализатора спектра; входной порт ПЧ не используется



▲ Рис. 39. Преобразование сигнала вниз по частоте с использованием низкочастотного входного порта гетеродина. Входной ПЧ-порт не используется



▲ Рис. 40. Преобразование сигнала вниз по частоте с использованием высокочастотного входного порта гетеродина. Входной ПЧ-порт не используется

расширителей. Измерительный волноводный РЧ-порт расположен на передней панели расширителя.

В режиме расширения рабочего диапазона анализатора спектра (рис. 38) сигнал гетеродина поступает в расширитель с анализатора сигналов, умножается до гораздо более высокой частоты и смешивается с входным СВЧ-сигналом, поступающим в модуль с измерительного волноводного РЧ-порта на передней панели расширителя. Полученный сигнал ПЧ с выхода смесителя отправляется обратно в анализатор сигналов. Встроенный диплексер осуществляет обмен по одному коаксиальному кабелю сигналами гетеродина (LO) и ПЧ (IF), позволяя по одному кабелю обеспечивать соединение между анализатором спектра и расширителем частот.

При реализации режима расширения частот анализатора спектра эти модули совместимы с большинством совре-

менных анализаторов спектра с опцией внешнего смесителя. Для преобразования по частоте вниз и вверх с модулями SAX можно использовать генератор сигнала гетеродина, который соответствует требованиям по частоте его входного сигнала и по мощности (рис. 39). ПЧ-вход гетеродина не используется. Для питания расширителей необходим источник питания 9 В, которым комплектуется модуль.

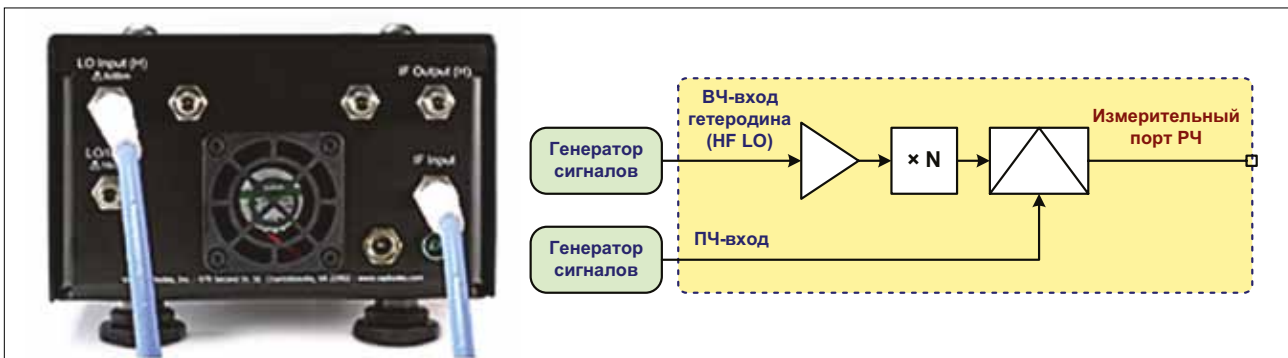
При использовании расширителя в качестве широкополосного понижающего преобразователя (рис. 40) для создания фиксированного сигнала гетеродина используется отдельный генератор сигналов. Тестируемый СВЧ-сигнал преобразуется с понижением частоты до диапазона ПЧ и подается на анализатор сигналов. ПЧ-вход гетеродина не используется. Такая конфигурация, в которой может сохраняться спектральная информация, очень полезна при работе с сигналами,

изменяющимися (дрейфующими) по частоте, или при анализе широкополосных сигналов связи.

В режиме **повышающего преобразователя (upconverter mode)** генератор низкочастотного информационного (бейсбенд) сигнала может применяться с СВЧ-генератором сигналов для формирования широкополосного сигнала на ПЧ-несущей (рис. 41). Входные сигналы гетеродина и ПЧ преобразуются в расширителе частот, а зеркальные сигналы можно отфильтровать волноводными фильтрами. Выходной порт ПЧ (Н) не используется.

Для использования со своими анализаторами сигналов X-Series компания Keysight Technologies предлагает пользователям 11 моделей СВЧ-расширителей, разработанных компанией Virginia Diodes.

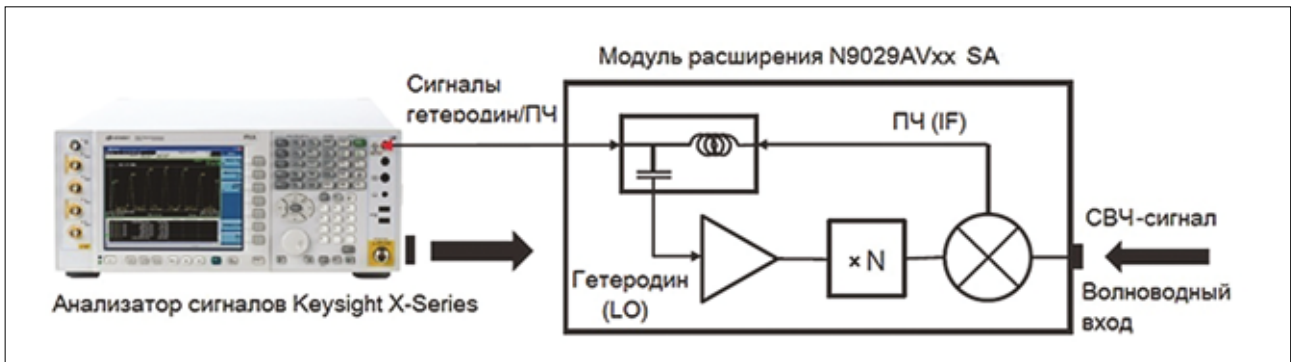
Серия N9029AVxx расширителей диапазона рабочих частот для анализа-



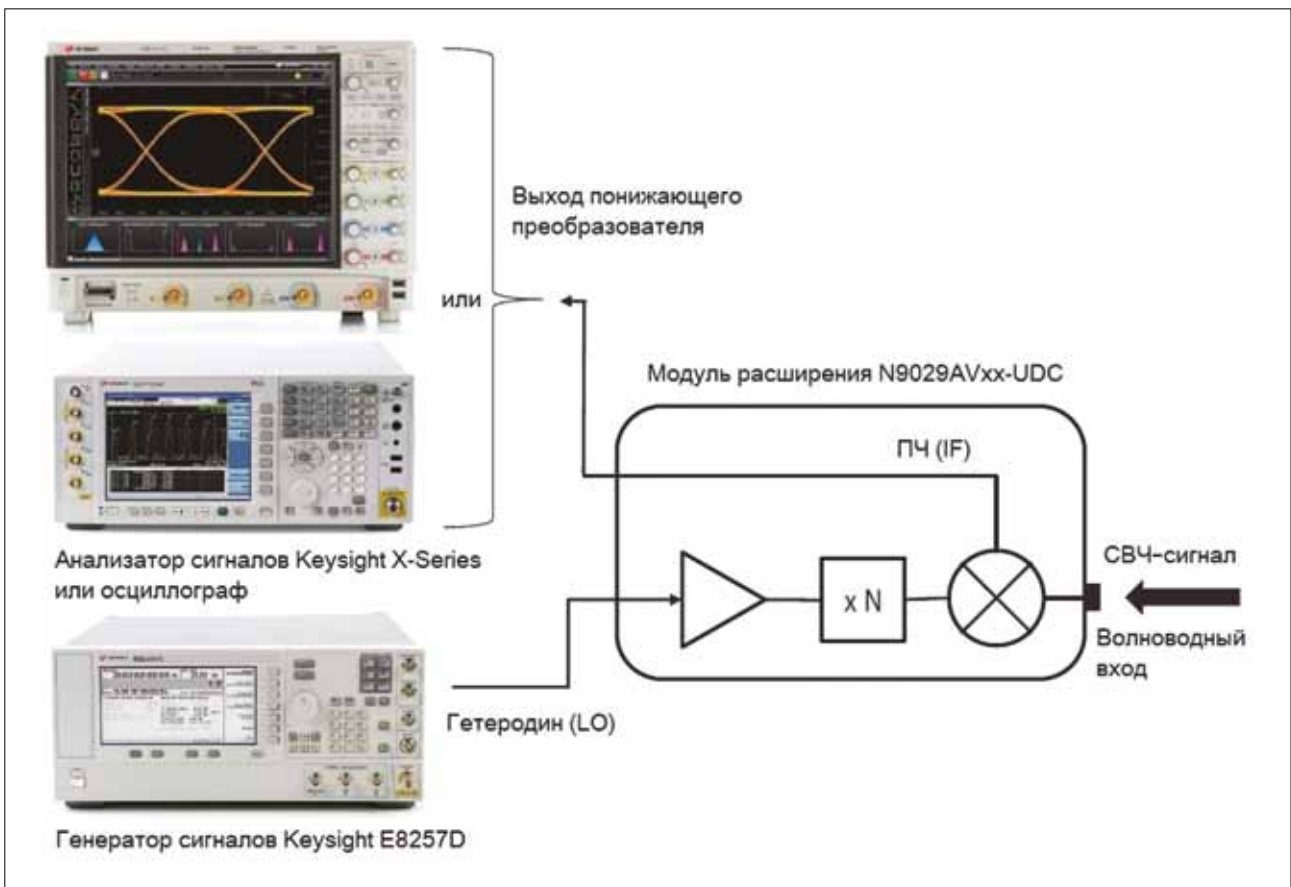
▲ Рис. 41. Преобразование сигнала с повышением частоты. Порт выхода ПЧ (Н) не используется



▲ Рис. 42. Модель расширителя частот N9029AV03 перекрывает диапазон WR3.4 220–330 ГГц



▲ Рис. 43. Модуль расширения частот анализатора сигналов N9029AVxx, работающий в стандартном режиме

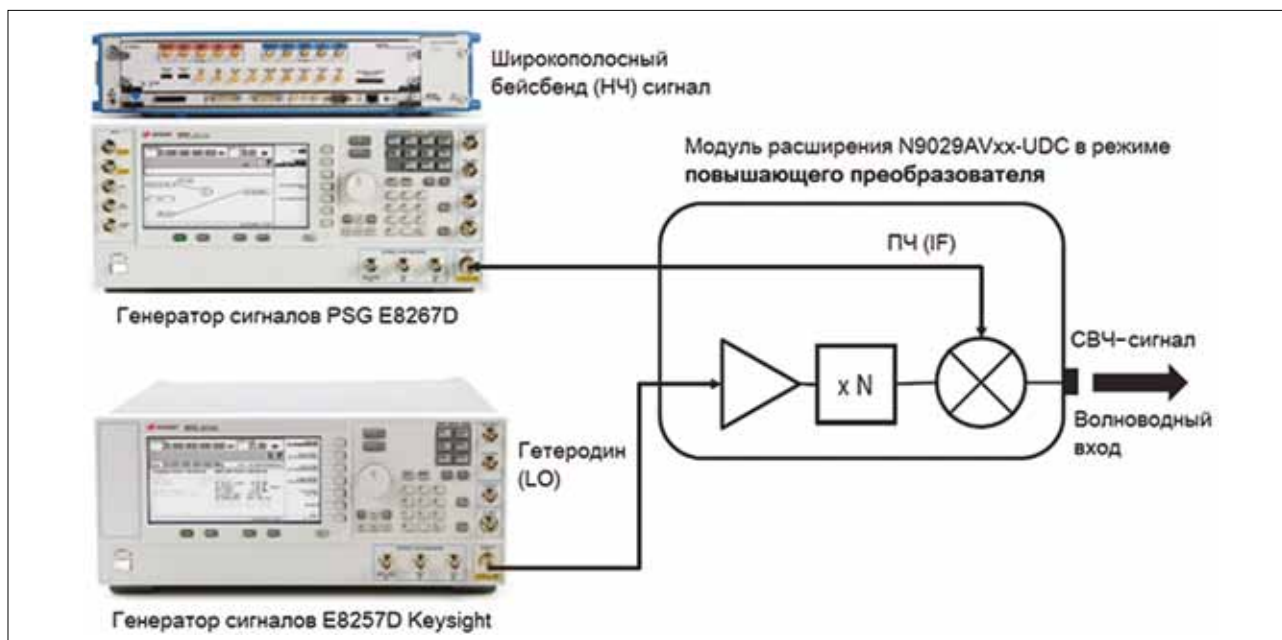


▲ Рис. 44. Использование расширителя частот анализатора сигналов N9029AVxx в режиме понижающего преобразователя

торов сигналов увеличивает спектр измерений микроволновых анализаторов сигналов в миллиметровом диапазоне частот, обеспечивая рабочий диапазон 50–1100 ГГц (рис. 42). Они сочетают

в себе низкие потери при преобразовании с малым уровнем шума, что обеспечивает максимальную чувствительность при измерении сигналов низкого уровня.

Анализаторы сигналов X-Series компании Keysight обладают высокими эксплуатационными качествами в широком ряду характеристик, к которым относятся динамический диапазон, отобра-



▲ Рис. 45. Структура системы с преобразованием вверх по частоте



▲ Рис. 46. 300-ГГц расширители частот компании VivaTech для портативных ПЧ-анализаторов от Keysight (Agilent) FieldFox

жаемый средний уровень шума DANL (*displayed average noise level*), уровень искажений, уровень фазовых шумов и скорость измерения на частотах до 50 ГГц. В сочетании с новой линейкой расширителей частот от **Virginia Diodes (VDI)** многие из этих возможностей доступны при работе до 1,1 ТГц для удовлетворения требований не только существующих, но и появляющихся приложений для миллиметровых диапазонов.

В зависимости от типа измеряемых сигналов модули N9029AVxx могут использоваться в двух режимах работы. В **стандартном режиме** (рис. 43) сигнал гетеродина поступает с анализатора сигналов в расширитель N9029AVxx, умножается по частоте и смешивается с входящим СВЧ-сигналом, подающимся в модуль с тестового волноводного входа. Полученный 322,5-МГц сигнал ПЧ затем через встроенный диплексер по общему кабелю возвращается в анализатор сигналов.

В этом режиме для точного определения фактической частоты радиосигнала и устранения побочных сигналов могут использоваться функции идентифика-

ции сигнала и подавления зеркального сигнала (*signal identification and image suppression*) анализаторов сигналов Keysight X-Series. При необходимости измерения мощности анализируемого сигнала амплитудные (мощностные) показания анализатора сигналов можно скорректировать с помощью таблицы потерь преобразования для модуля расширения N9029AVxx. Такая таблица хранится на USB-накопителе, включенном в каждый комплект расширения, чтобы его можно было легко загрузить в память анализатора сигналов. Стандартный режим полезен для общего анализа спектра и лучше всего работает со стабильными незатухающими CW- или узкополосными сигналами.

Модуль N9029AVxx также можно использовать в качестве **широкополосного понижающего преобразователя** (рис. 44). В этом режиме отдельный генератор сигналов применяется для создания фиксированного сигнала гетеродина, а радиочастотные сигналы (и верхней, и нижней боковых полос) преобразуются с понижением частоты в ПЧ и подаются в анализатор сигналов или радиочастот-

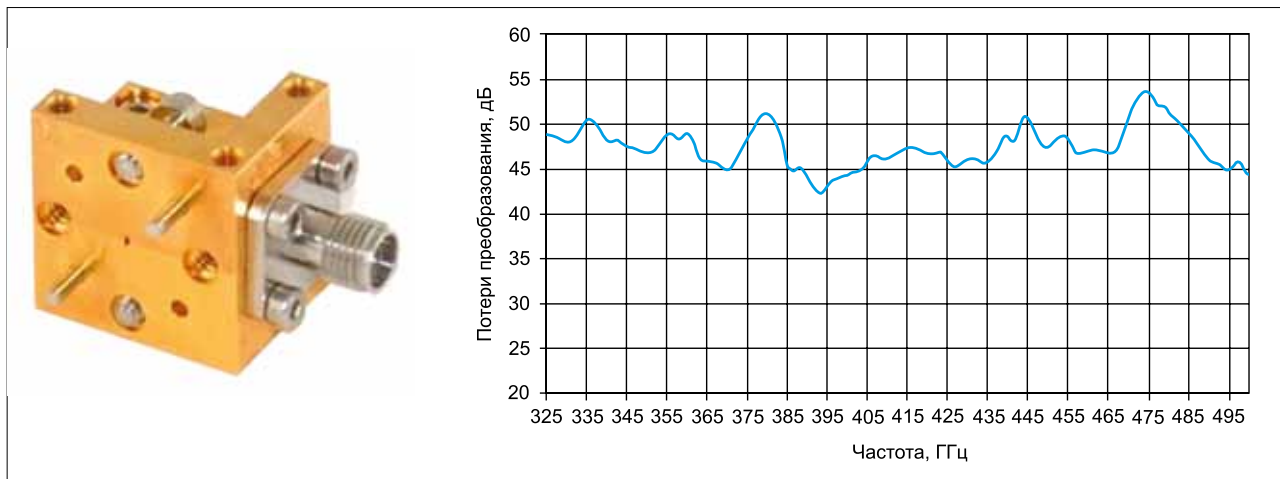
ный вход осциллографа. Такая конфигурация обеспечивает полосу пропускания ПЧ до 20 ГГц. Побочные продукты смешивания можно определить, слегка изменив частоту генератора сигнала, чтобы установить порядок смешивания.

В некоторых моделях расширителей частот N9029AVxx имеется дополнительная функция, называемая опцией преобразования **UDC**, которая позволяет устройству работать как широкополосный понижающий преобразователь (рис. 44) или повышающий преобразователь (рис. 45). Режим преобразования определяется путем установки полужестких кабелей переключек на задней панели расширителя N9029AVxx-UDC.

В режиме **повышающего преобразователя** генератор бейсбэнд-сигнала, например генератор сигналов произвольной формы Keysight M8190A, можно использовать с векторным генератором сигналов PSG E8267D для формирования широкополосного сигнала на ПЧ-несущей. Сигналы ПЧ (IF) и гетеродина (LO) преобразуются с повышением частоты с помощью расширителей частот.

Таблица 9. Основные сведения о расширителях частот 300 ГГц компании VivaTech

Преобразователь с повышением (Up-converter)	Выходные РЧ-частоты, ГГц	Входные ПЧ-частоты, ГГц	Выходная мощность, дБм	Уровень побочных и гармоник, дБн	Волновод
VTBUC-03-xxx	280–300	0–20	–15	>20	WR03, UG387/U-M
Преобразователь с понижением (Down-converter)	Входные РЧ-частоты, ГГц	Выходные ПЧ-частоты, ГГц	К ус, дБ	Коэффициент шума, дБ	Волновод
VTBDC-03-xxx	280–300	0–20	10	16 (тип.)	WR03, UG387/U-M



▲ Рис. 47. Конструктивное исполнение и частотная зависимость коэффициента преобразования смесителя WHMB-02 в диапазоне 325–500 ГГц



▲ Рис. 48. Конструктивное исполнение расширителей серии EXTSPA от компании 3J Microwave

Побочные продукты смешивания можно определить, слегка изменив частоту генератора сигнала, чтобы установить порядок смешивания. Улучшить подавление сигнала по зеркальному каналу на выходе преобразователя можно при использовании внешних полосовых волноводных фильтров, которые обеспечивают подавление внеполосных сигналов до 100 дБ. Заявленная производителем величина потерь при преобразовании сигнала используется при энергетическом расчете системы преобразования только до определенной величины выходной РЧ-мощности.

Компания VivaTech разработала расширители частот до 300 ГГц для портативных РЧ-анализаторов компании Keysight (Agilent) FieldFox (рис. 46).

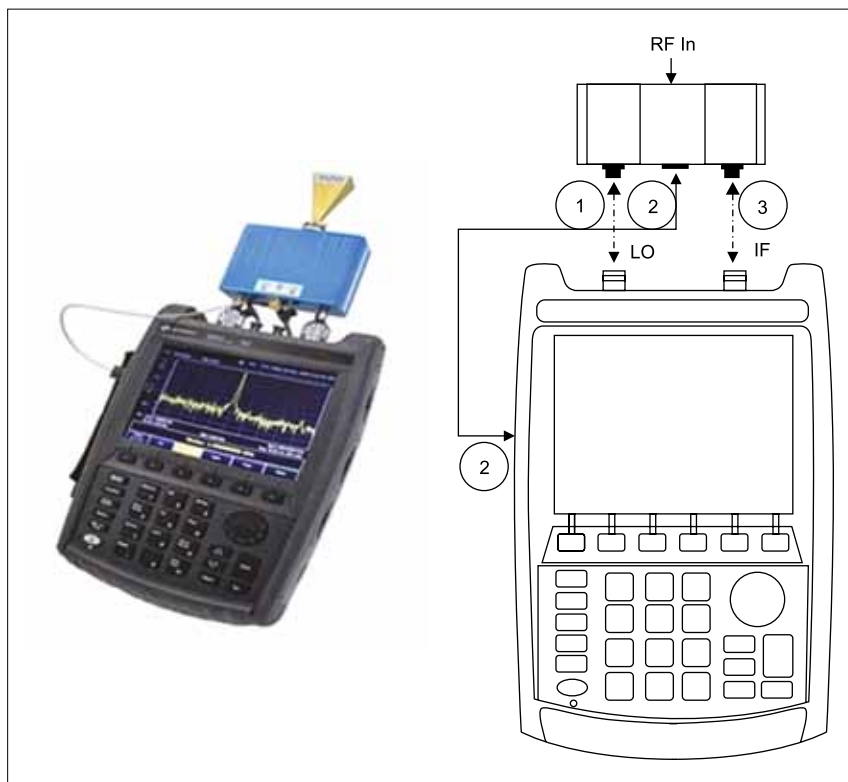
Расширитель содержит пару широкополосных преобразователей по частоте (передача/прием, TX/RX) и предназначен для радиолокационных и коммуникационных приложений (см. см. табл. 9). Преобразователи имеют линейные характеристики, что позволяет обрабатывать сложные сигналы. Ширина рабочей полосы частот достигает 40 ГГц. Мощность передачи, как правило, составляет –15 дБм при коэффициенте шума приемника 16 дБ. Расширители могут сопрягаться с обычным оборудованием анализатора ВАЦ или другим стандартным СВЧ-оборудованием. Блоки компактные и легкие, позволяют осуществить простую интеграцию в установку для тестирования антенн. Они также предназначены для портативных мобиль-

ных приложений с питанием от аккумуляторов.

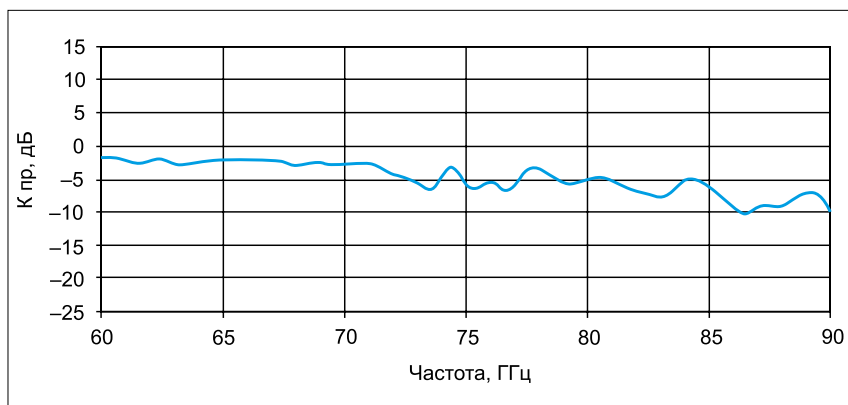
Для расширения рабочего диапазона анализаторов спектра компания Farran предлагает 10 моделей гармониковых смесителей серии WHMB с высокой производительностью, имеющих низкие потери при конвертации без использования внешних источников питания. Устройства предназначены для расширения рабочих частот анализаторов спектра Agilent и Rohde & Schwarz.

Наиболее высокочастотная модель смесителя WHMB-02, использующая 36-ю гармонику сигнала, предназначена для работы в диапазоне 325–500 ГГц с волноводом WR-2.2 (рис. 47). В изделиях может использоваться частота ПЧ в диапазоне 10–1000 МГц, а в некоторых изделиях — даже 0–1000 МГц. Самая низкочастотная модель смесителя WHMB-28, работающая на частотах 26,5–40 ГГц с волноводами WR-28, использует 4-ю гармонику при работе с изделиями R&S и 8-ю гармонику сигнала — с оборудованием компании Keysight.

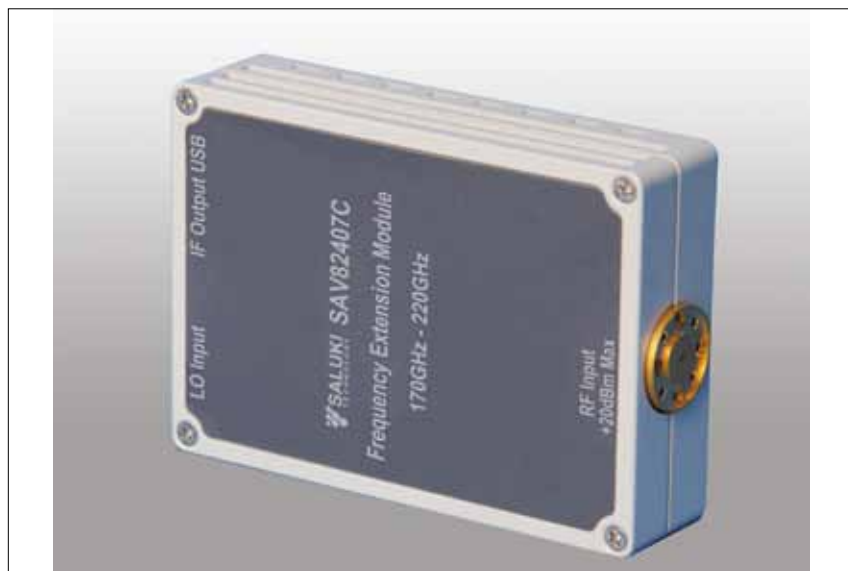
Компания 3J Microwave предлагает полную линейку расширителей диапазонов рабочих частот для анализаторов спектра в восьми волноводных диапазонах (рис. 48). Эти расширители серии EXTSPA характеризуются малым уровнем побочных компонентов и низкими потерями преобразования. Расширители частот совместимы с наиболее распространенными моделями анализаторов спектра. Эти компоненты являются оптимальным выбором для расширения возможностей измерения спектра при-



▲ Рис. 49. Использование расширителя компании OML и схема его подключения к портативному анализатору спектра Keysight FieldFox



▲ Рис. 50. Типовая частотная зависимость характеристики преобразования для модели M12H6DC на ПЧ = 0,5 ГГц



▲ Рис. 51. Конструктивное исполнение расширителей серии SAV82407 компании Saluki

борами с частотным диапазоном ниже 18 ГГц до частот от 18–110 ГГц.

Как уже упоминалось, компания OML предлагает осуществлять расширение диапазона рабочих частот имеющихся у пользователей анализаторов спектра миллиметрового диапазона путем подключения небалансных смесителей на гармониках. Эти расширители частот предлагаются для волноводных диапазонов 18–325 ГГц и совместимы с большинством анализаторов спектра, в которых предусмотрено использование дополнительного внешнего смесителя.

Компания OML представила новую серию гармонических смесителей MxxHxDC, специально разработанных для проведения точных спектральных измерений в миллиметровом диапазоне с использованием портативных анализаторов спектра.

Эти смесители позволяют расширить диапазон рабочих частот имеющихся моделей портативных анализаторов спектра, например широко используемого Keysight FieldFox (рис. 49). При использовании в качестве источника гетеродинного сигнала генератора портативного анализатора и его внутреннего источника постоянного тока эти гармонические смесители обеспечивают удобство портативных полевых измерений в едином конструктивном решении.

Расширители предлагаются в волноводных полосах WR-12 (60–90 ГГц), WR-15 (50–75 ГГц) и WR-10 (75–110 ГГц). Эти новаторские изделия, позволяющие расширить диапазон миллиметровых волн компании OML, предназначены для тестирования оборудования в новых областях применения, например аппаратуры стандартов WiGig, 5G, радарных систем предотвращения столкновений, опорных сетей (backhaul) E-диапазона, военных и оборонных систем. На рис. 50 приведена типичная частотная характеристика модели смесителя M12H6DC при его использовании с анализатором Keysight FieldFox.

Расширители диапазона рабочих частот анализаторов спектра серии SAV82407, разработанные компанией Saluki для использования с анализаторами серии S3503, переводят эти анализаторы в разряд тестового оборудования миллиметрового диапазона частот. Компания предлагает пять моделей расширителей для полосового перекрытия диапазона частот 50–325 ГГц (рис. 51).

Частотно-понижающий преобразователь Anritsu FCN4760, предназначенный для расширения диапазона рабочих частот, позволяет использовать анализаторы Anritsu Spectrum Master MS2711D или Site Master S332D с опцией 6 в диапазоне частот 4,7–6 ГГц (рис. 52). Основное назначение преобразователя FCN4760 —



▲ Рис. 52. Преобразователь частоты FCN4760 и его использование с анализатором от компании Anritsu



▲ Рис. 53. Расширитель частот SI-9249/FE12 от компании Leonardo DRS

использование при разработке, развертывании, настройке и оптимизации сетей 802.11a. Кроме того, он применяется для поиска и анализа источников интерференции — наводок и помех — в диапазоне частот до 6 ГГц.

**РАСШИРИТЕЛИ ЧАСТОТ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ RFE**

Одноканальные и многоканальные расширители частот для приемных устройств (*Receiver Frequency Extender*) предназначены для расширения диапа-

зона рабочих частот приемников и тюнеров, работающих в диапазоне ОВЧ/УВЧ (VHF/UHF), для приема СВЧ-сигналов.

Производимый компанией **Leonardo DRS** одноканальный расширитель частот **DRS SI-9249/FE12** (рис. 53) предназначен для увеличения диапазона приемников и тюнеров, работающих на ОВЧ/УВЧ (VHF/UHF), до 3–12,4 ГГц, с обеспечением и обнаружением СВЧ-сигналов.

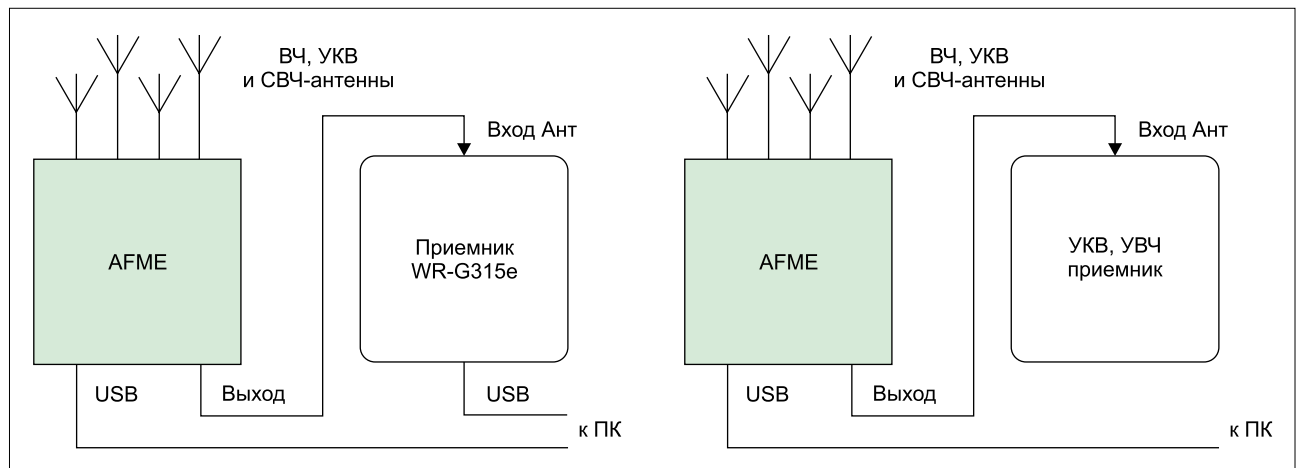
Миниатюрный расширитель частот **SI-9249/FE12**, выпускаемый компанией **Leonardo DRS**, увеличивает ра-

бочий диапазон частот ОВЧ/УВЧ приемников и тюнеров для работы в С- и Х-диапазонах до 3–12,4 ГГц. Хорошие рабочие характеристики, малый размер и низкое энергопотребление делают его идеальным дополнением к любому тюнеру и приемнику, работающим в диапазоне 20–3000 МГц. Модель расширителя SI-9249/FE12 позволяет принимать сигналы в диапазоне 20–12400 МГц. Если интересующий сигнал находится за пределами ОВЧ/УВЧ, этот расширитель преобразует предварительно выбранный диапазон в частоты настройки используемого приемника.

Сигналы ОВЧ/УВЧ передаются на выход расширителя непосредственно без преобразования, но могут быть направлены и в усилитель, что позволяет улучшить характеристики системного шума на 6 дБ. Функция активного питания антенны обеспечивает питание внешнего усилителя, подключенного к входу расширителя, чтобы компенсировать потери в антенне и кабеле.

Расширителем частот можно управлять дистанционно с использованием многоканального интерфейса RS-232, который реализуется с помощью миниатюрного USB-разъема, или вручную с помощью миниатюрных коммутационных DIP-переключателей на нижней панели. В комбинированном режиме он подключается к другим устройствам с помощью многоканального соединения RS-232 при использовании опорного выхода 10 МГц, что исключает сложную кабельную разводку. Расширитель оснащен встроенным малошумящим усилителем, который при использовании с VHF/UHF-приемниками позволяет улучшить шумовые характеристики приемника.

Использование DIP-переключателей в нижней части устройства облегчает настройку для простых или автоматических операций: выбор преселектора или обходного пути, выбор пост-



▲ Рис. 54. Подключение расширителя частот AMFE к приемникам

усилителя и активацию функции питания антенны. Устройство работает с использованием напряжения 4,5–16 В, получаемого через USB-разъем на передней панели, и потребляет максимум 3,2 Вт.

Подразделение Radixon Group компании Robotron, основанное в 1991 г. для коммерциализации результатов многолетних исследований в области радиосвязи, получило название WiNRADiO Communications.

Выпускаемый WiNRADiO антенный мультиплексор и расширитель частот **AMFE (Antenna Multiplexer and Frequency Extender)** выполняет двойную роль — блока коммутации антенны и преобразователя частоты (рис. 54). Это позволяет легко подключать отдельные ВЧ-, УКВ-, УВЧ- и СВЧ-антенны к широкополосному приемнику, а также обеспечивать понижающее преобразование частоты входных сигналов до 8599 МГц.

Расширитель частот содержит высокостабильный гетеродин, смеситель и фильтры для преобразования входящих сигналов УВЧ/СВЧ в сигналы промежуточной частоты 96–1800 МГц, которые затем подаются в антенну приемника. Расширитель применяется для расширения диапазона приемников до высоких областей СВЧ при использовании приемников WiNRADiO и сторонних изделий.

Гетеродин достаточно стабилен, чтобы использовать понижающий преобразователь даже для режимов узкополосной модуляции, и имеет низкий уровень шума, что делает расширитель пригодным для профессиональных приложений высокого класса. В отличие от большинства простых понижающих преобразователей, блок AMFE оснащен генератором опорной частоты со стабильностью 0,5 ppm, благодаря чему обеспечивается высокая стабильность



▲ Рис. 55. Расширитель WiNRADiO AMFE устанавливается поверх приемника WR-G315e

частоты на выходе. В качестве опции доступен опорный генератор сверхвысокой стабильности OCXO со стабильностью 0,01 ppm.

При нормальном взаимодействии модуля AMFE с приемниками WR-G315i или WR-G315e от WiNRADiO программное обеспечение распознает блок AMFE и расширяет диапазоны ввода и отображения рабочих частот. При этом переключение между антеннами и настройка гетеродина для понижающего преобразования частоты выполняются автоматически.

Антенные мультиплексоры и расширители частот серии AMFE компании WiNRADiO наилучшим образом подходят для использования с ОВЧ/УВЧ-приемниками WiNRADiO WR-G315i и WR-G315e; при этом они интегрируются полностью прозрачно для пользовате-

ля. Это значит, что частота работы и отображения приемников автоматически расширяется до 3500 или 8599 МГц при использовании модулей WR-AMFE-3500 или WR-AMFE-8600, соответственно. Переключение антенны также выполняется автоматически. Корпус расширителя AMFE похож на корпус приемника WR-G315e. Расширитель располагается под или над приемником WR-G315e, как показано на рис. 55.

Модель расширителя **AMFE-3500** для диапазона 3500 МГц специально разработана как опция для приемника WiNRADiO марки WR-G315, тогда как модель **AMFE-8600** диапазона 8599 МГц может также использоваться с другими приемниками компании WiNRADiO или любыми изделиями третьих сторон и управляется с помощью поставляемого программного приложения.



▲ Рис. 56. Переносная антенная система пеленгации DF240C от компании Digital Receiver Technology



Таблица 10. Серия преобразователей частоты FBC-K-xx компании Farran Technology

Модель	Диапазон рабочих частот, ГГц	Макс. NF, дБ	ПЧ-выход, ГГц	Кпр РЧ-ПЧ
FBC-K-40-10 МГц...40 ГГц	Вход 1: 0,010–20; Вход 2: 18–26,5; Вход 3: 26,5–40	13	2,5–17	Вход 1: сквозной; Вход 2, 3: 15 дБ+/-...3 дБ
FBC-K-40-26,5–40 ГГц	26,5–40	13	1–18	15 дБ+/-...3 дБ
FBC-K-26,5-18–26,5 ГГц	18–26,5	13	2,5–11	15 дБ+/-...3 дБ

Компания **Digital Receiver Technology** выпускает DF240C — тактическую переносную антенную систему пеленгации (**Direction Finding, DF**) с высокой чувствительностью. Система DF240C используется с приемниками серии DRT (DRT4411B-R и DRT4413B-R) для поиска источников излучения сигналов в диапазоне частот 100–3000 МГц.

Антенна DF подключается к приемнику DRT с использованием коаксиального РЧ-кабеля и кабеля управления (рис. 56). Два вспомогательных РЧ-соединителя на антенне можно объединить и использовать совместно с **НЧ-расширителем частот DF520 (Low Frequency Extender, LFE)**, который увеличивает диапазон рабочих частот антенной системы вниз по частоте до 20 МГц и улучшает ее характеристики в диапазоне 100–600 МГц. Расширитель находится в центре массива DF520, а антенные элементы DF520 подключаются к вспомогательному порту на задней панели расширителя DF240C. Влагозащищенная система предназначена для использования вне помещений, содержит интегрированный электронный компас и запитывается от приемника DRT, который устанавливается разными способами.

Расширитель частот **FE-3820** от компании **Cobham** предназначен для использования с приемниками серии SMR-5550 и SMR-3822 с обеспечением частотного перекрытия 18–40 ГГц в дополнение к изначально обеспечиваемому приемником 2–18 ГГц.

Многие существующие приемные системы могут использовать расширитель FE-3820 без дополнительных переключателей и изменений кабельных подключений. Если расширенный диапазон настройки не выбран, сигнал в диапазоне 0,5–20 ГГц направляется через устрой-

ство к спутниковому микроволновому тюнеру или приемнику. Эта функция обхода РЧ (**RF bypass**) позволяет расширителю FE-3820 нормально работать с оборудованием других производителей. Отдельные РЧ-входы принимают сигналы диапазонов 18,0–26,5 и 26,5–40,0 ГГц, которые преобразуются в диапазон спутникового тюнера 2–18 ГГц.

Производимый компанией **Cobham Defense Electronics** преобразователь НЧ-диапазонов **LBU-2100** предназначен для расширения вниз по частоте диапазона настройки приемников SMR-3822 и SMR-5550i компании Cobham до 0,5–0,1 ГГц. Расширитель LBU-2100 имеет два РЧ-входа. Сигнал с первого РЧ-входа предварительно фильтруется, усиливается и преобразуется с повышением частоты до фиксированной частоты 1,9 ГГц для передачи приемнику-партнеру. Второй РЧ-вход представляет собой обходное соединение для сигналов основных рабочих частот 0,5–20 ГГц, которые поступают в приемник через усилитель и переключатель в преобразователе LBU-2100. Приемник-партнер управляет расширителем LBU через интерфейс RS-232 или RS-422.

Серия **FBC-K-xx** преобразователей с понижением частоты от компании **Farran Technology** включает в себя три модели. Изделия выполнены в стандартных корпусах размерами 1U 19" и предназначены для использования с **настраиваемыми приемниками** диапазона 2–20 ГГц. Линейка изделий перекрывает диапазон 10–40 ГГц (табл. 10). Устройства имеют трехканальный РЧ-вход и один выход промежуточной частоты. Выбор необходимого канала осуществляется с помощью сигналов с уровнями TTL-логики. Уровень побочных сигналов гетеродина — менее 60 дБн.

## РАСШИРИТЕЛИ ЧАСТОТ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА NFAХ

В то время как многие лидеры рынка измерительного и тестового оборудования постоянно внедряют новое тестовое оборудование с более высокими рабочими частотами, наиболее распространенные системы измерения шума по-прежнему ограничены частотами 50 ГГц и даже ниже. Однако ряд компаний производит серии расширителей для измерения коэффициентов шума (КШ) и усиления (**Noise Figure Analyzer Frequency Extenders, NFA Extenders**), чтобы увеличить эксплуатационные возможности стандартного промышленного оборудования для измерения уровня шума на частотах до 50 ГГц и выше.

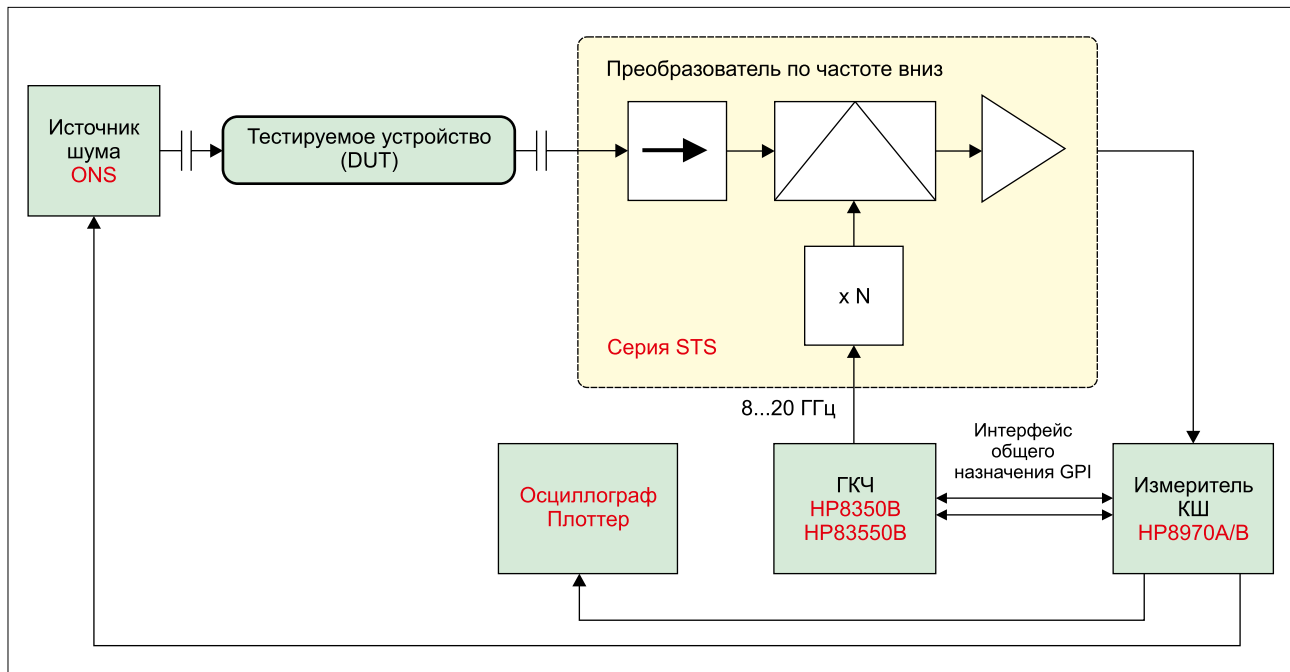
Существуют два основных метода измерения КШ, которые отличаются по точности, скорости, диапазону измерения, простоте использования и калибровки.

**Метод Y-фактора, или метод горячего/холодного источника** позволяет определить КШ тестируемого устройства (ТУ) и его коэффициент передачи при подключении на входе устройства калиброванного источника шума. Уровень дополнительного шума называют избыточным коэффициентом шума (ИКШ). Типовыми значениями ИКШ источников являются 5 или 15 дБ. Коэффициент шума устройства можно определить путем вычисления отношения значений мощности шума на его выходе при включенном и выключенном источнике шума. Данный метод является наиболее распространенным способом измерения КШ — он используется в анализаторах коэффициента шума и при тестировании анализаторов сигналов.

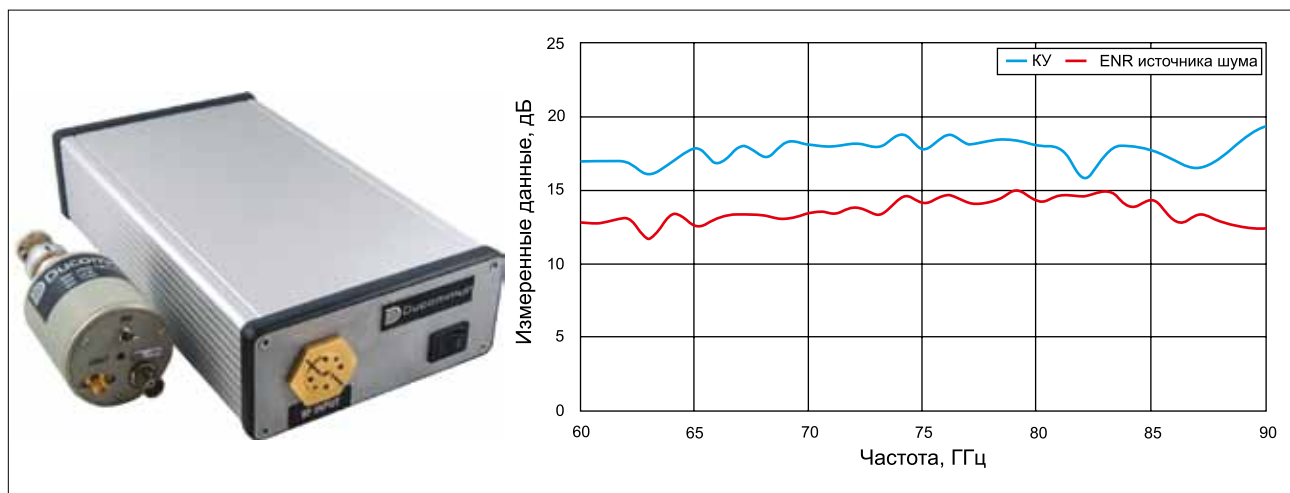
**Метод холодного источника, или метод прямого измерения шума**, позволяет определять КШ тестируемого устройства без подключения источника шума. Применяется только подключение к входу устройства «холодной» согласованной нагрузки при комнатной температуре. Данный метод позволяет определять КШ по известной выходной мощности тести-

Таблица 11. Наборы тестирования шумовых характеристик и коэффициентов усиления от компании Discombin

Модель	Диапазон частот, ГГц	Входные частоты, ГГц	Коэффициент избыточного шума ENR, дБ	Выходной волновод	U пит, В/Ипит, мА
SNG-28-01	26,5–40,0	13,25–20,0	15,0	WR-28	8/250
SNG-22-01	33,0–50,0	11,00–16,67	14,0	WR-22	8/250
SNG-19-01	40,0–60,0	13,33–20,0	13,0	WR-19	8/350
SNG-15-01	50,0–75,0	12,5–18,75	13,0	WR-15	8/350
SNG-12-01	60,0–90,0	10,0–15,00	13,0	WR-12	8/500
SNG-10-01	75,0–110,0	12,5–18,33	12,0	WR-10	8/500
SNG-08-01	90,0–140,0	10,0–15,56	12,0	WR-8	8/500



▲ Рис. 57. Структурная схема тестовой системы с использованием наборов компании Discommun



▲ Рис. 58. Конструктивное исполнение и частотные зависимости коэффициента преобразования и коэффициента ENR источника шума модели расширителей SNG-12-01

руемого устройства, шумовой полосы и коэффициента передачи устройства. Он применяется, когда требуется выполнить измерения высоких уровней КШ или измерения КШ с высокой точностью, что достигается путем коррекции рассогласования по входу.

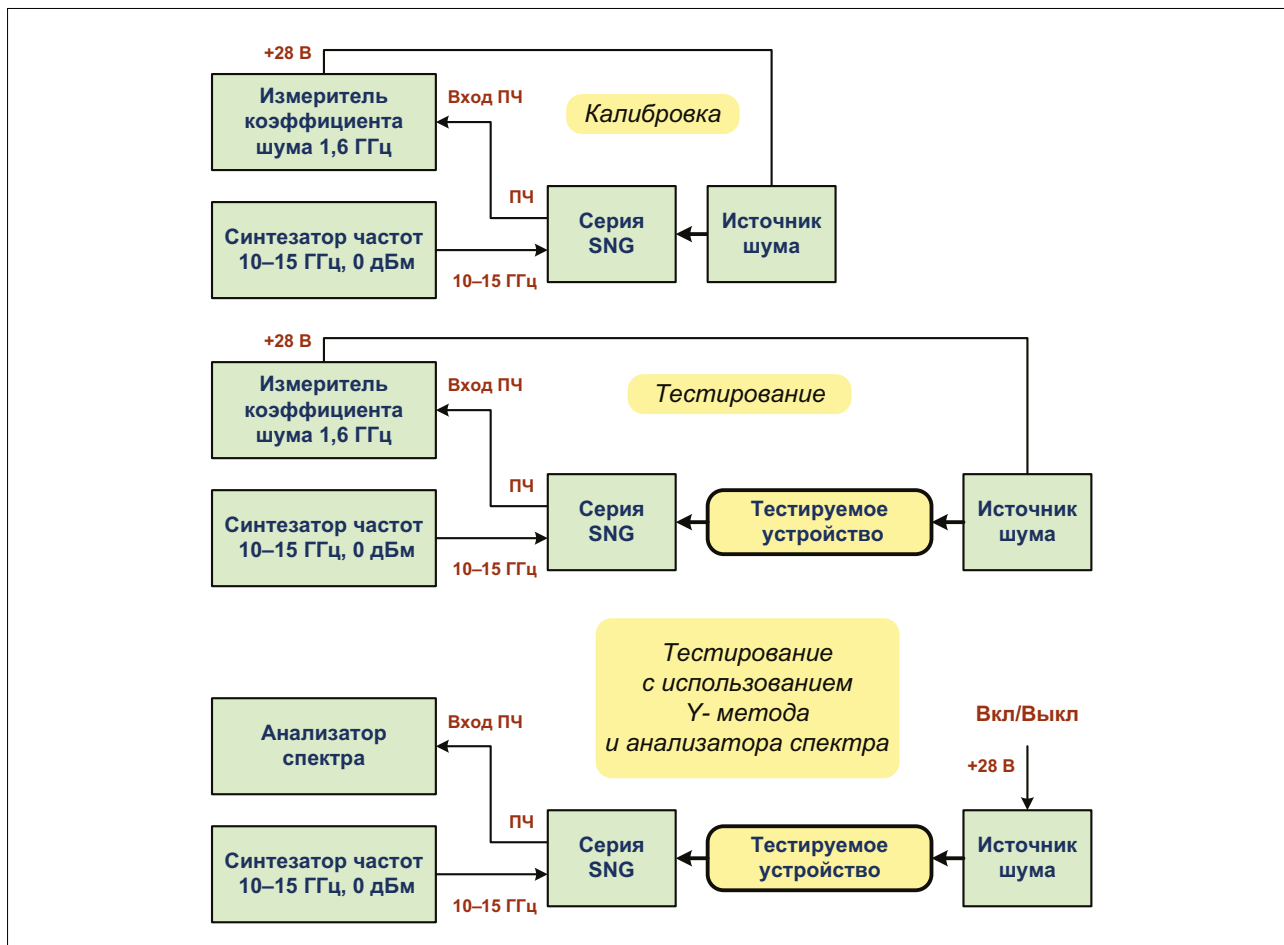
Тестовые наборы измерения шумовых характеристик и коэффициентов усиления (*Noise Figure and Gain Test Set*) серии SNG в семи перекрывающихся волноводных полосах выпускаются компанией **Discommun** (табл. 11). Наборы сконфигурированы для автоматического измерения коэффициентов шума и усиления РЧ-устройств в диапазоне 26,5–140 ГГц. Их динамический диапазон по коэффициенту шума NF составляет 0–20, по коэффициенту усиления: –20...30 дБ.

Эти тестовые комплекты содержат твердотельные высококачественные широкополосные источники шума и преобразователи частоты серии STS в полном волноводном диапазоне, расширяющие рабочий диапазон измерителей уровня шума Keysight 8970A/B для использования в миллиметровом диапазоне частот. При понижающем преобразовании в качестве гетеродина можно использовать такие генераторы сигналов как Keysight 8350B/83550A или 83751B с выходными частотами 8–20 ГГц (рис. 57). Стандартные модели оснащены коаксиаль-

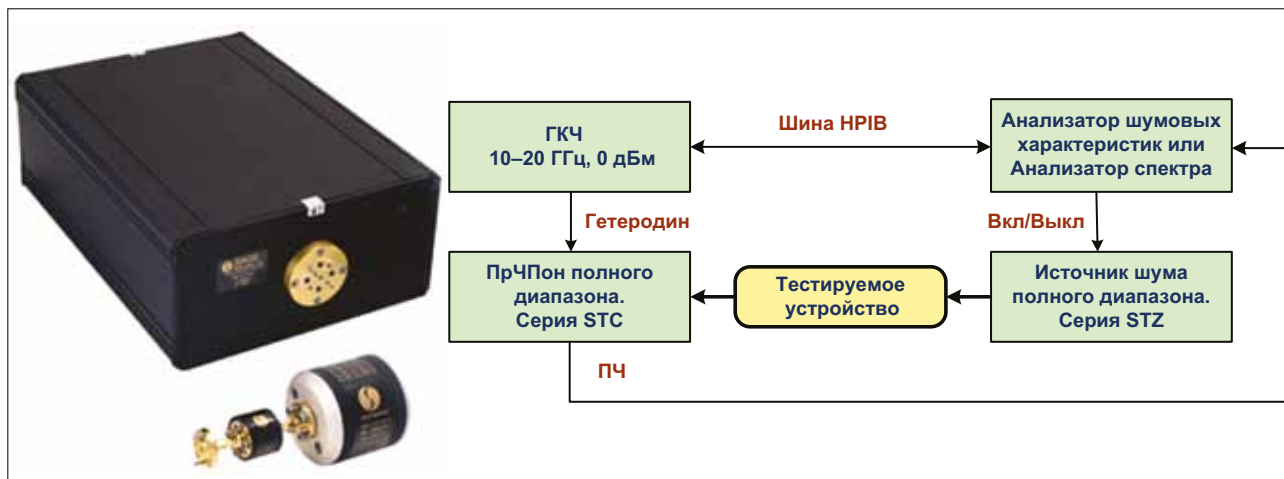
ными соединителями SMA (F) на входных портах гетеродина и выходных ПЧ-портах понижающих преобразователей и стандартным волноводным фланцем входного порта тестируемого устройства.

Набор для измерения коэффициентов шума и коэффициента усиления E-диапазона модели **Discommun SNG-12-01** (рис. 58) включает в себя преобразователь частоты SCD-75301015-01 и источник шума ONS-12-I1. Его основная функция — расширить частотные возможности недорогих низкочастотных измерителей шума. Он также позволяет тестировать шумовые характеристики устройств E-диапазона с использованием метода **Y-фактора** без измерителя показателей шума (рис. 59). Расширитель также пригоден для использования с другими приложениями в качестве понижающего преобразователя. Модель **SNG-12-01** является недорогим доступным расширением технических характеристик до миллиметровых волн для организаций, которые не имеют значительных средств для приобретения дорогого оборудования.

Компания **Sage Millimeter** предлагает семь моделей расширителей частот для систем тестирования **коэффициента шума** и **коэффициента усиления** в разных волноводных диапазонах



▲ Рис. 59. Использование тестового набора при измерении шумовых характеристик



▲ Рис. 60. Расширители компании SAGE Millimeter и схема их сопряжения со стандартным испытательным оборудованием в системе измерения уровня шума и коэффициента усиления

26,5–140 ГГц. Эти расширители предназначены для взаимодействия со стандартными системами тестирования коэффициентов шума/усиления, например Agilent 8970A/B, N8973A и Maury MT 2075B или другими анализаторами с входной частотой в диапазоне 10 МГц...1,6 ГГц. Для питания расширителей требуется внешний источник питания постоянного тока.

Компания SAGE Millimeter предлагает серию тестовых расширителей частот **серии STG** для измерения коэффициентов шума и усиления, позволяющих расширить возможности промышленного стандартного оборудования для измерения коэффициента шума в диапазоне до 50 ГГц и выше.

Система тестирования с расширением диапазона (рис. 60) состоит из двух полнодиапазонных компонентов: высококачественного твердотельного источника шума **серии STZ** и преобразователя с понижением **серии STC**. Система, кроме того, содержит вентиль Фарадея Sage Millimeter серии STF, смеситель серии SFB, умножитель частоты и ПЧ-усилитель. В качестве гетеродина понижающего преобразователя необходимо применять источник колебания с выходным сигналом в диапазоне частот 10–20 ГГц и уровнем мощности около 10 дБм. Источник шума включается и выключается автоматически устройством измерения уровня шума.

РЧ-порт расширителей оснащен стандартным волноводом. Для перехода в коаксиальный интерфейс может использоваться выпускаемый компанией SAGE адаптер (переход) «волновод–коаксиал» **серии SWC**. Кроме того, стандартные расши-

рители могут использоваться для измерения коэффициента усиления. Для этого необходимо использовать стандартное испытательное оборудование, например анализатор спектра или анализатор шумовых характеристик.



▲ Рис. 61. Расширители диапазонов рабочих частот серии FBC-FB-XX от компании Farran Technology

рители также можно адаптировать для обеспечения меньшего значения входного коэффициента шума, более высокого коэффициента ENR или разных вариантов коэффициентов усиления преобразования.

Компания **Farran Technology** производит расширители частот для измерителей коэффициента шума (Noise Figure Analyser Frequency Extenders, NFA Extenders).

Для расширения диапазона рабочих частот тестовых систем измерения шумовых характеристик компания **Farran Technology** предлагает семь моделей понижающих преобразователей частоты серии FBC (рис. 61). Тестовую систему можно построить с использованием преобразователей моделей FBC-FB-XX, анализатора коэффициента шума Keysight N8975A (Noise Figure Analyzer, NFA) или анализатора сигналов N9069A серии X. Система позволяет расширить частотный диапазон анализаторов, чтобы выполнить точные измерения показателей шума устройств, работающих в диапазонах Ka, U, V, E, W (26,5–170 ГГц) при использовании генераторов сигналов Agilent E8247C или эквивалентных.

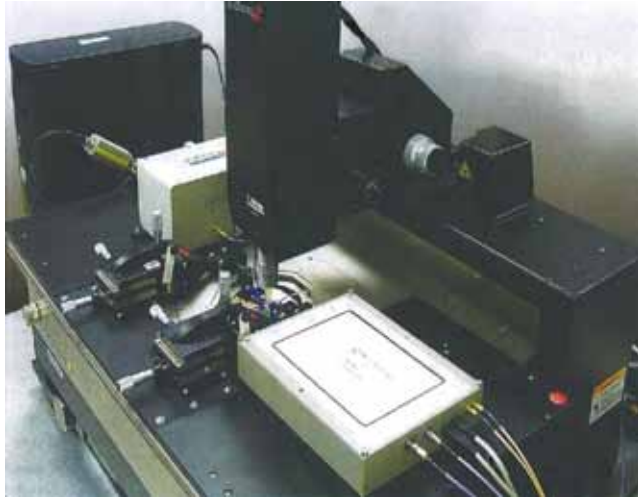
Эти расширители могут использоваться с существующим радиооборудованием в системах связи, в РЧ-блоках радарных



▲ Рис. 62. Расширители диапазонов рабочих частот серий FBC-K-xx и FBC-xx-xx компании Farran Technology в стандартных корпусах 1U 19" и 2U 19"



▲ Рис. 63. Расширители частот от компании Maury Microwave



▲ Рис. 64. Модуль измерения шумовых характеристик MT7553B в типовой системе на пластине (on-wafer setup) с измерением параметров шума на частотах 10 МГц...50 ГГц



▲ Рис. 65. Расширители частот для систем измерения коэффициентов шума и усиления серии CNF от компании CERNEX

систем, контрольно-измерительной аппаратуре, системах радиоразведки и радиопротиводействия. Линейка изделий перекрывает диапазон 26,5–110 ГГц.

Восемь моделей FBC-xx-xx расширителей диапазонов рабочих частот от компании **Farran Technology** представляют собой преобразователи с понижением частоты для использования в тестовых системах измерения коэффициента шума, выполненных в стандартных корпусах 2U (рис. 62). Входные РЧ-частоты преобразуются с понижением частоты в промежуточную в диапазоне 4–18 ГГц, соответствующую входным рабочим частотам стандартных анализаторов коэффициента шума.

Стандартные измерители коэффициента шума, например анализаторы шума серии **MT2075** компании **Maury Microwave**, являются низкочастотными приборами: максимальная рабочая ча-

стота анализатора **MT2075C** составляет 2047 МГц. Тестирование компонентов на более высоких СВЧ-частотах требует использования частотного преобразователя для перевода сигнала шума в частотный диапазон измерителя шума. С этой целью **Maury** предлагает расширители частот серии **MT755x** (рис. 63). Восемь моделей модулей приемника шума (**Noise Receiver Modules**) серии **MT7553** позволяют стандартному оборудованию **Maury Microwave** выполнять измерения параметров сверхширокополосного шума, расширяя предел рабочей частоты анализаторов шума до 50, 75, 90 или 100 ГГц. Эти блоки предназначены для работы в измерительной конфигурации с качающейся (изменяющейся) частотой гетеродина, т. е. с фиксированной ПЧ. Для реализации такого режима необходимо, чтобы гетеродин (LO) был синхронизован с частотой анализатора шума **MT2075**.

Расширитель миллиметрового диапазона **MT7553M (Millimeter Wave Noise Receiver Module)** предназначен для измерения шумовых параметров в миллиметровом диапазоне. Модуль преобразует плотность мощности шума с частоты, представляющей интерес, в полосу пропускания анализатора шума **NFA** с использованием метода качания гетеродина с двойной боковой полосой. **MT7553M** предназначен для использования в полосах 50–75 ГГц (WR15), 60–90 ГГц (WR12) и 75–100 ГГц (WR10).

Компания **Maury Microwave** имеет более чем десятилетний опыт проектирования, внедрения и поддержки систем измерения и тестирования устройств, функционирующих в диапазоне от 50 до 110 ГГц. Эти системы базируются на использовании для измерений запатентованных компанией автоматизированных волноводных тюнеров и программных комплексов для определения характеристик и моделирования устройств. Кроме того, **Maury** объединяет коммерческие векторные анализаторы цепей (VNA), генераторы сигналов, анализаторы спектра, анализаторы показателей шума, СВЧ-расширители частот и связанные с ними компоненты и аксессуары в тестовые системы для полного систематического и полуавтоматического измерения параметров устройств на опорной плоскости тестируемого устройства (**DUT reference plane**) (рис. 64).

Компания **CERNEX** предлагает расширители для систем измерения коэффициентов шума и усиления серии **CNF** (рис. 65) в семи волноводных полосах. Эти приборы позволяют увеличить диапазон рабочих частот с 26,5 до 140 ГГц. По своим рабочим параметрам эти устройства являются полными аналогами тестовых расширителей серии **STG** компании **Sage Millimeter**. —