

Keysight Technologies

Векторный анализ цепей  
в миллиметровом диапазоне  
с метрологической точностью

Рекомендации  
по применению

## Введение

Инженеры зачастую недооценивают все сложности, которые могут возникнуть в миллиметровом диапазоне. Именно поэтому усилия компании Keysight направлены на то, чтобы облегчить нашим заказчикам получение точных и повторяемых результатов измерений на все более высоких частотах и с более широкими полосами пропускания.

Наш обширный опыт в области метрологии и технологий миллиметрового диапазона позволяет создавать передовые решения для измерений на столь высоких частотах. Наши знания воплощены в наших приборах и программных продуктах, с помощью которых вы создаете электронные устройства нового поколения.

Наши решения для проектирования, моделирования и испытаний устройств в гигагерцовом и терагерцовом диапазонах позволят вам выводить на рынок действительно передовые и конкурентоспособные устройства. Наша последняя разработка – векторные анализаторы цепей (ВАЦ) миллиметрового диапазона длин волн N5290A серии PNA и N5291A серии PNA-X. Эти решения помогут вам добиться непревзойденного качества измерений и разработок на частотах до 120 ГГц (рисунок 1).



Рисунок 1. Четырехпортовый широкодиапазонный векторный анализатор цепей миллиметрового диапазона длин волн позволяет измерять характеристики самых передовых разработок с высочайшей точностью.

## Как повысить качество измерений в ходе векторного анализа цепей в миллиметровом диапазоне

Решения компании Keysight для измерений в миллиметровом диапазоне позволяют повысить качество анализа параметров устройств за счет высочайшей стабильности и точности измерений на подложках и в стандартизованных типах трактов. Векторные анализаторы цепей N5290/91A обеспечивают прослеживаемые к государственным эталонам результаты измерений в миллиметровом диапазоне длин волн. Они имеют широкий диапазон частот – от 900 Гц до 120 ГГц – и высокие рабочие характеристики, такие как суточная стабильность по амплитуде (менее 0,015 дБ) и фазе (менее 0,15 градусов).

Данные решения строятся на базе ВАЦ серий PNA или PNA-X с рабочими частотами до 26,5 или 67 ГГц. Еще одним ключевым элементом являются двух- или четырехпортовые контроллеры внешних измерительных блоков<sup>1</sup> и набор компактных модулей расширения частотного диапазона («умных модулей»). Эти «умные модули» имеют усиленные соединители стандарта 1,0 мм, конвекционное охлаждение и встроенную память с данными, обеспечивающими полностью калиброванную мощность на выходе порта при включении прибора.

Для гарантии получения точных и повторяемых результатов измерений на подложках ВАЦ N5290/91A совместимы с решениями для измерений на подложках (WMS) компании Keysight и ее партнера компании FormFactor (рисунок 2). Данные решения включают зондовые станции, пробники с подачей смещения по постоянному току и средства калибровки компании FormFactor, а также вспомогательное оборудование и программное обеспечение (ПО) компании Keysight. Возможности, предоставляемые нашими ВАЦ в совокупности с решениями для измерений на подложках, позволяют выполнять точные и повторяемые измерения при решении множества прикладных задач: моделирование устройств, совершенствование технологий, разработка и исследования характеристик производственных процессов, их мониторинг, исследования характеристик различных устройств и опытных образцов продукции.

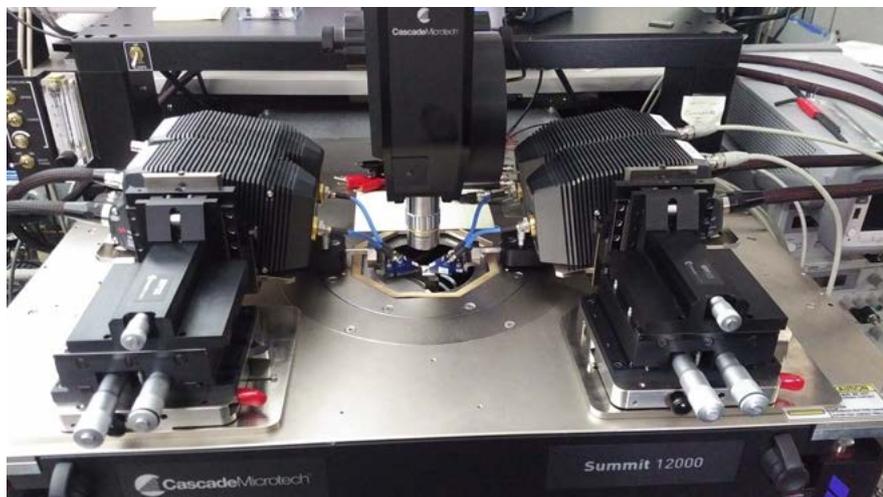


Рисунок 2. Данная конфигурация на основе четырехпортового ВАЦ N5291A и зондовой станции используется для измерений параметров дифференциального усилителя, выполненного на подложке.

Новые решения обеспечивают прослеживаемость результатов измерений к государственным эталонам единиц величин. Основой обеспечения прослеживаемости является калибровочный комплект в тракте 1,0 мм, позволяющий оценить ключевые метрологические характеристики ВАЦ, такие как составляющие неисключенной систематической погрешности измерений, динамическую погрешность системы и стабильность, а также проследить результаты этих оценок к государственным эталонам единиц величин. Для дальнейшего повышения качества результатов измерений вы можете использовать функцию автоматического исключения влияния параметров оснастки при использовании калибровки в стандартизованных типах трактов или выполнить калибровку в плоскости контакта зондов при измерениях на подложках.

1. Опции 200 (для N5290A) и 400 (для N5291A)

## Повышение точности и стабильности за счет использования передовых технологий механической обработки

В миллиметровом диапазоне длин волн технические и метрологические характеристики измерительной системы в значительной мере зависят от физического дизайна элементов ее конструкции, уровня их механической обработки и геометрических соотношений элементов соединения. В наших новых «умных модулях» применены самые передовые технологии обработки для создания лучших в своем классе широкодиапазонных направленных ответвителей, обеспечивающих исключительную стабильность при измерениях и калибровке.

Усиленные соединители модулей расширения частотного диапазона стандарта 1,0 мм гарантируют повторяемость подключения от измерения к измерению, изо дня в день. Это значительно уменьшает неопределенность при калибровке и суммарную погрешность измерительной системы в целом.

## Исследование параметров множества различных устройств без изменения схемы измерений

Монолитные интегральные схемы (МИС) СВЧ-диапазона нового поколения имеют в своем составе элементы, функционирующие в разных частотных диапазонах: на частотах входного сигнала, ВЧ, СВЧ и миллиметрового диапазона длин волн. Векторный анализатор цепей, перекрывающий диапазон частот от герц до гигагерц способен обеспечить измерение параметров всех этих элементов без внесения изменений в схему измерений.

Кроме того, перекрытие широкого диапазона частот одним измерительным прибором позволяет снизить общую стоимость измерительной установки. Например, при наличии у ВАЦ миллиметрового диапазона с начальной частотой рабочего диапазона 900 Гц вам не придется приобретать отдельный специализированный ВАЦ для работы на низких частотах. Использование одного ВАЦ также позволяет сэкономить массу времени и существенно упростить разработку специального программного обеспечения для измерительной установки.

Высокая степень интеграции современных МИС СВЧ-диапазона и других широкодиапазонных устройств зачастую означает, что при их испытаниях приходится проверять множество различных функций и выполнять подключения к различным контрольным точкам схемы. Необходимость выполнять подключения, отключения и переподключения исследуемых устройств (ИУ) к ВАЦ или анализатору спектра вызывает значительные неудобства и временные затраты как при выполнении этих манипуляций вручную, так и при использовании коммутационных матриц.

ВАЦ, архитектура которого отражает принцип «одно подключение – множество измерений», обеспечит наибольшее удобство при решении подобных измерительных задач. ВАЦ серии PNA-X компании Keysight спроектированы таким образом, что позволяют измерять различные параметры пассивных и активных устройств за одну серию подключений: S-параметры, коэффициент шума (КШ), компрессию усиления, коэффициент гармоник, уровни продуктов гармонических и интермодуляционных искажений и прочие. Еще большую универсальность ВАЦ семейства PNA в соответствии с принципом «одно подключение – множество измерений» обеспечивает приложение для анализа спектра.

## Встроенные измерительные приложения упрощают выполнение самых сложных измерений

Для того чтобы помочь вам сэкономить время и упростить решение сложных измерительных задач, компания Keysight предлагает ряд измерительных приложений для ВАЦ, которые помогут расширить его функциональные возможности:

- Приложение для измерений скалярных параметров смесителей/преобразователей частот дает возможность измерять скалярные характеристики смесителей и преобразователей частот (программная опция S93082)
- Приложение для измерений компрессии усиления обеспечивает всестороннее исследование характеристик усилителей и преобразователей частот (программная опция S93086)
- Приложение для измерения коэффициента шума расширяет возможности измерений параметров преобразователей частот и усилителей (программная опция S93029)
- Приложение для измерений параметров балансных и квадратурных (I/Q) устройств упрощает измерения параметров квадратурных и балансных активных и пассивных устройств (программная опция S93089)
- Приложение для анализа спектра обеспечивает получение спектра с калибровкой измерительного тракта в диапазоне частот до 120 ГГц и выше (программные опции S93093 (до 120 ГГц) или S93094 (свыше 120 ГГц))

Все эти программные средства оптимизированы для работы с сенсорным дисплеем, что в значительной мере облегчает выполнение сложных операций в ходе исследований, поиска и устранения неполадок в миллиметровом диапазоне.

Еще одно преимущество заключается в наличии перемещаемых лицензий на ПО, поскольку такой подход позволяет приобрести одну копию ПО и сделать его доступным для многих измерительных приборов. Это максимально повышает эффективность использования решений, давая вам и вашим коллегам возможность расширять функциональные возможности определенного измерительного прибора до нужного уровня, в нужном месте и в нужное время. Это гораздо дешевле, чем покупать отдельную копию ПО для каждого измерительного прибора.

## Преимущества общей для всех ВАЦ платформы

Простота и удобство использования дают преимущества при выполнении простых измерений, например, S-параметров, а при решении сложных измерительных задач, таких как измерение параметров смесителей и прочих устройств преобразования частоты, они просто необходимы. В целях обеспечения наилучших результатов измерений и сокращения временных затрат на их выполнение многие заказчики просят нас снабдить измерительные приборы системами интерактивной справки и диалоговыми окнами «Мастеров» выполнения различных операций. Учитывая высокие требования к качеству разработок и сжатые сроки их проведения, это довольно важная концепция. Кроме того, это позволяет более эффективно использовать ресурсы процессора, памяти и дисплея последних моделей ВАЦ серий PNA и PNA-X.

Для удовлетворения этих потребностей инженеры Keysight использовали самые последние достижения в сфере оптимизации процесса измерений и эргономики органов управления передней панели. В качестве основы для ВАЦ следующего поколения команда разработчиков Keysight создала общую платформу, которая использует преимущества всех хорошо зарекомендовавших себя возможностей ВАЦ предыдущего поколения.

При создании этой платформы мы руководствовались двумя принципами: она должна быть знакомой и удобной в использовании для пользователей, уже имеющих опыт работы с ВАЦ серий ENA или PNA, и интуитивно понятной для новых пользователей. Плодом наших усилий стал графический интерфейс пользователя (GUI), который удобен для инженеров, выполняющих самые разнообразные простые или сложные измерения в ходе анализа параметров устройств или поиска и устранения неполадок в различных радиочастотных устройствах или системах. Он также удобен и для опытных пользователей, которые периодически выполняют очень сложные измерения и которым будут полезны напоминания о важных настройках и шагах выполнения измерений.

Не оставят наших пользователей равнодушными и полюбившиеся всем технологии сенсорных дисплеев, с которыми знакомы все пользователи смартфонов, планшетов и ноутбуков. Обновленное семейство ВАЦ PNA и PNA-X обладает следующими возможностями:

- широкоформатный экран с диагональю 12,1 дюйма и мультисенсорным интерфейсом пользователя
- простой доступ к часто используемым функциям
- быстрая настройка с использованием диалоговых меню, программных кнопок и вкладок, активируемых касанием
- интуитивно понятные жесты для перетаскивания и увеличения кривых графиков путем единичного или множественного касания (технология “мультикасание”) дисплея
- универсальные функции управления маркерами

Для большей гибкости вы также можете настроить расположение графиков и окон на экране ВАЦ. Усовершенствования также включают оптимальное размещение графиков для различных каналов измерений и окно графического вывода результатов измерений со множеством вкладок. ВАЦ N5290/91A также имеют специальное окно настройки конфигурации для измерений в миллиметровом диапазоне (рисунок 3).

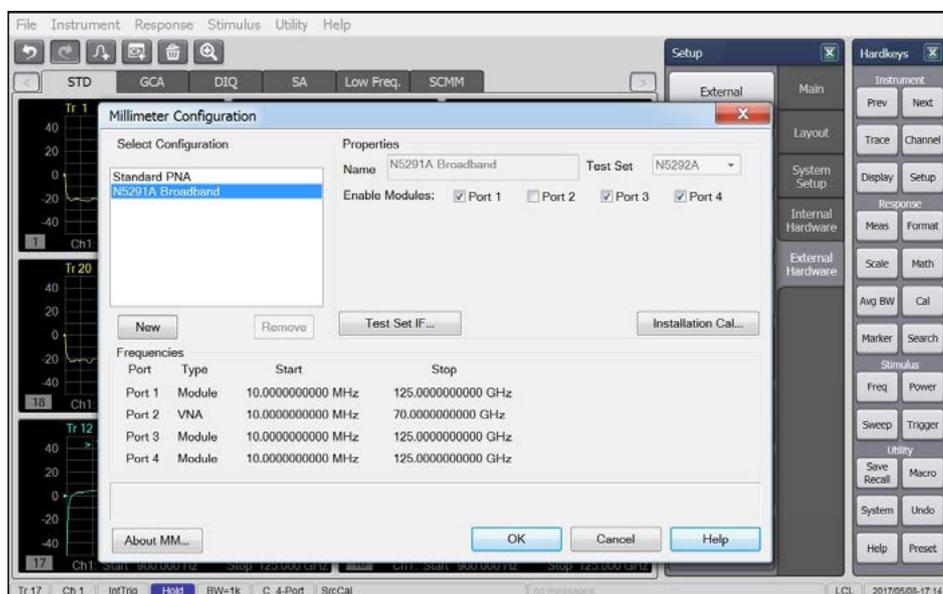


Рисунок 3. Новый интерфейс позволяет выполнять настройку ВАЦ под конкретные измерительные задачи посредством предметно-ориентированных окон, таких как окно настройки конфигурации для измерений в миллиметровом диапазоне.

## Построены на основе нашего опыта и знаний

Компания Keysight проводит исследования в миллиметровом диапазоне уже не первое десятилетие по мере того, как росло распространение этой технологии для коммерческого использования. Наши самые ранние разработки в гигагерцовом диапазоне появились на рынке еще в 1967 году под маркой Hewlett-Packard, а с выходом ВАЦ HP 8410, который позволял проводить расчеты S-параметров, мы достигли частоты 12 ГГц. Нашими первыми приборами миллиметрового диапазона, вышедшими на рынок в конце 1980-х, стали генераторы, диапазон рабочих частот которых расширился свыше 26,5 ГГц посредством преобразователей частот, и широкодиапазонные ВАЦ с частотами от 45 МГц до 100 ГГц.

Сегодня многие из наших генераторов, анализаторов спектра и ВАЦ способны покрывать диапазон частот от 50 ГГц до 1,5 ТГц с использованием блоков расширения частотного диапазона наших партнеров – компаний Virginia Diode, Inc. (VDI) и OML, Inc. Недавно в сотрудничестве с VDI мы вывели на рынок решение, которое позволяет проводить анализ спектра на частоте до 1,5 ТГц.

Чуть раньше был создан комплект калибровочных мер в тракте 1,0 мм для калибровки широкодиапазонных ВАЦ, который тоже является большим достижением, поскольку калибровочные комплекты обеспечивают прослеживаемость результатов измерений ВАЦ к государственным эталонам единиц величин.

## Заключение

Если вам нужны простота, точность и повторяемость результатов измерений на все более высоких частотах и со все более широкими полосами пропускания, вы можете рассчитывать на векторные анализаторы цепей миллиметрового диапазона N5290A и N5291A компании Keysight. Построенные с учетом последних достижений в области механической обработки материалов и радиоэлектронной промышленности, ВАЦ N5290A и N5291A обеспечивают точность на высоком метрологическом уровне и беспрецедентную производительность в процессе измерений. В результате вы получаете возможность измерять характеристики и оптимизировать устройства нового поколения в диапазоне частот от 900 Гц до 120 ГГц.

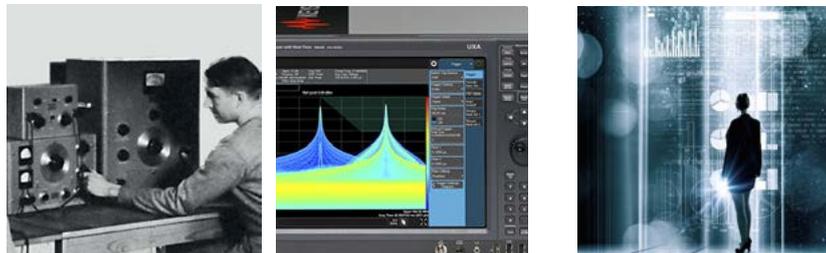
## Дополнительная информация

- Руководство по конфигурированию: *Анализаторы цепей миллиметрового диапазона длин волн (N5290A/N5291A)*, номер документа 5992-2179RURU
- Технический обзор: *Анализ цепей в миллиметровом диапазоне длин волн с разделением на поддиапазоны*, номер документа 5992-2177EN
- Рекомендации по применению: *Оптимизация измерений коэффициента шума на пластине в диапазоне частот до 67 ГГц*, номер документа 5991-2524RURU
- Рекомендации по применению: *Измерения параметров активных устройств в импульсном режиме с использованием PNA-X*, номер документа 5990-7781EN
- Рекомендации по применению: *Высокоточные измерения коэффициента шума с использованием анализаторов цепей серии PNA-X*, номер документа 5990-5800RURU
- Аналитический доклад: *Высокоточный спектральный анализ на частотах до единиц терагерц с использованием анализатора цепей*, номер документа 5992-1585EN
- Перепечатка статьи: *Повышение скорости измерений с опциями высокопроизводительного спектрального анализа в векторных анализаторах цепей*, номер документа 5992-0993EN
- Технические характеристики: *Анализ спектра (опция 090 для векторных анализаторов цепей серий PNA и PNA-X)*, номер документа 5992-0752EN
- Руководство по выбору: *Руководство по выбору анализаторов цепей*, номер документа 5989-7603EN
- Брошюра: *Анализаторы цепей СВЧ-диапазона серии PNA-X*, номер документа 5990-4592EN
- Брошюра: *Анализаторы цепей СВЧ-диапазона серий PNA и PNA-L*, номер документа 5990-8290EN

## Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен на сайте:

[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

Российское отделение  
Keysight Technologies

115054, Москва,  
Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954;

8 800 500 9286

(звонок по России бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

[www.keysight.ru](http://www.keysight.ru)

Сервисный Центр

Keysight Technologies в России

115054, Москва,

Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

(BP-9-7-17)



[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)

Система управления качеством  
Keysight Technologies, Inc.  
сертифицирована DEKRA  
по ISO 9001:2015

### myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

Индивидуальная подборка наиболее важной для вас информации.

[http://www.keysight.com/find/emt\\_product\\_registration](http://www.keysight.com/find/emt_product_registration)

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомления о выходе новых публикаций по приборам.

**KEYSIGHT SERVICES**  
Accelerate Technology Adoption.  
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight

[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по проверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

[www.keysight.com/find/pna](http://www.keysight.com/find/pna)