

Keysight Technologies

Анализ сигналов на частотах 110 ГГц и выше

Краткие  
рекомендации  
по применению

## Введение

При работе на терагерцовых частотах можно недооценить проблемы, возникающие в ходе разработки, отладки и испытаний устройств. В отличие от сигналов НЧ-, ВЧ- или СВЧ-диапазона, сигналы на частотах 30 ГГц, 300 ГГц или 1 ТГц ведут себя совершенно по-другому. На соответствующих длинах волн 10 мм, 1 мм или 0,3 мм потери при распространении радиоволн в атмосфере достаточно высоки, особенно на резонансных частотах молекул кислорода, воды и углекислого газа. Эти различия затрудняют генерацию мощности, а также создают проблемы в ходе выполнения калиброванных измерений и получения достоверных результатов.

Передовые методы измерений и большой опыт работы в миллиметровом диапазоне позволяют компании Keysight создавать коммерчески доступные приборы миллиметрового диапазона. Эти знания и опыт, широко используемые в наших аппаратных и программных продуктах, всегда к вашим услугам, а наши инженеры готовы помочь вам в освоении специализированных приложений. Анализатор сигналов Keysight N9041B серии UXA компании (от 3 Гц до 110 ГГц) поможет решить все задачи по анализу сигналов на частоте 110 ГГц и выше.

## На пике технологий

Технология миллиметровых волн используется на протяжении десятилетий в аэрокосмической и оборонной отраслях и магистральных линиях связи, где ее преимущества оправдывают высокие затраты на разработку, производство и поддержку устройств нового поколения. Последние достижения в производстве устройств миллиметрового диапазона позволили снизить их стоимость, что сделало их использование в промышленности более выгодным. Так, разработчики КМОП-транзисторов уже создают устройства с частотой переключения более 500 ГГц и продолжают совершенствовать эту технологию для достижения частот от 1,0 до 1,5 ТГц.

Компания Keysight также занимается научными исследованиями и разработкой собственных инновационных компонентов для создания измерительных приборов диапазона миллиметрового диапазона. Накопленный опыт в области разработки полупроводниковых устройств СВЧ-диапазона позволяет нам разрабатывать компоненты на основе фосфида индия (InP) с частотами переключения транзисторов выше 300 ГГц. Это открывает возможности расширения полосы пропускания ИС и конечных продуктов, например осциллографов с революционными характеристиками (рис. 1).

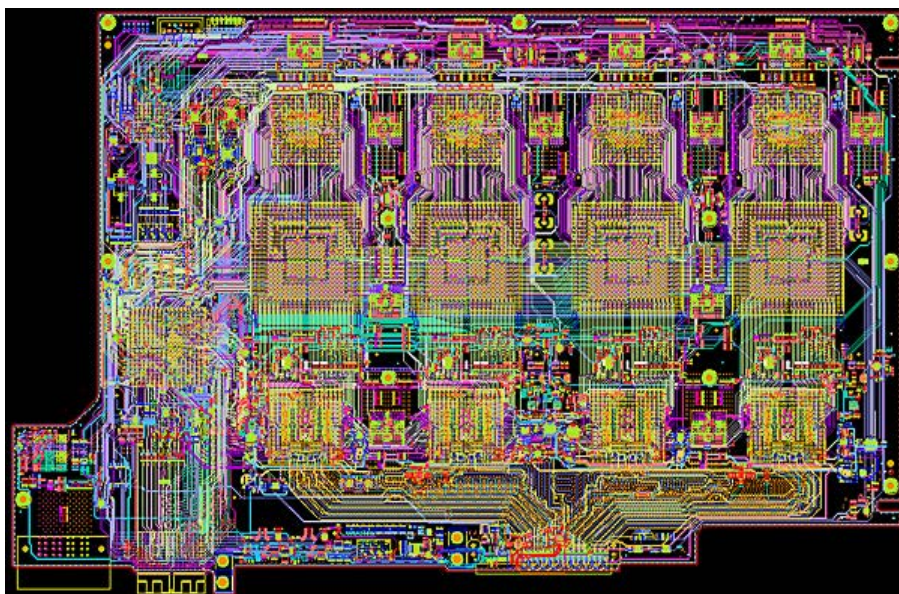


Рисунок 1. Показанная на рисунке высокопроизводительная система сбора данных осциллографа Keysight уже получила награду PCG Technology Leadership Award за технологические достижения от международной корпорации Mentor Graphics.

Сегодня на рынке уже внедрены различные технологии миллиметрового диапазона, например 802.11ad, и бюджетные маршрутизаторы с поддержкой стандарта 802.11ad (WiGig) предлагаются по цене около 350 долл. США. Развитие стандарта 802.11 привело к появлению стандарта 802.11ay, расширяющего возможности стандарта 802.11ad, для работы с более широкими полосами пропускания. В перспективе до 2020 года предполагается развёртывание сетей мобильной связи пятого поколения (5G). Претворение в жизнь девиза сетей 5G “везде и всегда на связи” зависит от успешного использования более широких полос пропускания в недавно выделенном спектре на частотах 28 ГГц, 37 ГГц, 39 ГГц и в диапазоне 64-71 ГГц. В других областях связи используются транспортные системы миллиметрового диапазона прямой видимости и межспутниковые линии связи.

Используя разрешение, получаемое на длине волны 1 мм, можно рассматривать такое применение, как формирование изображений. В качестве других примеров можно привести следующее: контроль оболочек таблеток в процессе их производства, измерение физических параметров для определения содержания и структуры пищевых продуктов и формирование медицинских изображений для идентификации здоровых и поражённых тканей на основе их спектральных характеристик.

## Преимущества и проблемы миллиметрового диапазона

Разработчики систем миллиметрового диапазона могут столкнуться с трудностями, не связанными с потерями при распространении радиоволн в атмосфере. Например, по сравнению с ВЧ- или СВЧ-устройствами, ослабление сигнала миллиметрового диапазона увеличивается при его прохождении через линии передачи – коаксиальный кабель или волновод.

По мере повышения частот размеры компонентов уменьшаются. В результате уменьшаются размеры оборудования, и снижается его механическая прочность, а также значительно ужесточаются производственные допуски. Это затрудняет изготовление и сборку высокочувствительных устройств миллиметрового диапазона.

Тем не менее сигналы миллиметрового диапазона обладают рядом преимуществ. Например, размеры антенны могут быть очень небольшими по сравнению с размерами СВЧ-антенн, а приёмопередающие системы – очень компактными. Кроме того, антенны можно сделать узконаправленными с малой шириной диаграммы направленности.

В диапазоне длин волн от 1 до 10 мм сигналы ослабляются, что создает не только проблемы, но и ряд преимуществ. Например, сигналы наземных систем быстро ослабляются при распространении через атмосферу.

Учитывая эти свойства, сигналы миллиметрового диапазона могут оказаться очень полезными для технологии ближней связи. В некоторых случаях используются области с низким поглощением: автомобильный радар (от 77 до 81 ГГц), радиосвязь точка-точка, беспроводные магистральные линии связи и высокогорные антенные системы для радиоастрономических наблюдений.

В других случаях большое ослабление сигналов позволяет уменьшить помехи между оборудованием пользователей. Например, стандарт 802.11ad (WiGig) для высокоскоростных аудио- и видеоканалов использует нелицензируемый диапазон 60 ГГц. В отличие от типичных сигналов Wi-Fi, сигналы с частотой 60 ГГц и радиусом действия 12 метров ослабляются деревянными, каменными и стеклянными конструкциями, поэтому их целесообразно использовать для домашних кинотеатров в многоквартирных жилых домах. Высокое ослабление сигналов и узконаправленные антенны позволяют создавать защищенные системы связи, которые минимизируют несанкционированный перехват информации.

## Проблемы измерений

При создании коммерческого контрольно-измерительного оборудования для получения точных и воспроизводимых результатов измерений необходимо решить две основные проблемы – передача сигналов и генерация мощности.

Например, волновод должен быть максимально близок к идеальному, чтобы обеспечить надлежащую внутреннюю работу любого прибора миллиметрового диапазона. Для работы в диапазоне частот от 100 ГГц до 1 ТГц потребуются волноводы с разными полосами пропускания. В миллиметровом диапазоне длин волн любой сдвиг фланцевого соединения волновода становится причиной появления нежелательных отражений, приводящих к снижению качества и мощности сигнала.

Получение сигнала с требуемой мощностью проблематично, так как на этих частотах трудно одновременно поддерживать линейность и эффективность усилителя. В результате мощность на высоких частотах, создаваемая генератором сигналов или анализатором цепей, ограничивается. В связи с этим более широкая полоса частот – одно из преимуществ миллиметрового диапазона длин волн, но при измерениях в широкой полосе частот возрастает собственный шум прибора. В итоге максимальная мощность уменьшается, а собственный шум прибора растет, что приводит к уменьшению доступного динамического диапазона при измерении спектра широкополосных сигналов.

Преодолев эти трудности, вы неизбежно столкнетесь со сложностями, связанными с калибровкой прибора и измерительной схемы. Кроме того, точная калибровка уровней сигналов в миллиметровом диапазоне затруднена, но только точная регулировка мощности гарантирует точность измерений и предотвращает повреждение тестируемого устройства.

Измерения на этих частотах значительно отличаются от традиционных измерений, поэтому даже самые опытные инженеры придется отказаться от проверенных методов и пересмотреть традиционные подходы. На всех этапах – от анализа спектра или тестирования по маске (SEM) до анализа цепей и измерения характеристик пассивных устройств (S-параметры) или активных устройств (X-параметры) – необходимо обеспечить правильные соединения, качественное преобразование частоты выходных сигналов вверх, качественное преобразование частоты входных сигналов вниз, низкий уровень внутренних паразитных сигналов, подавление внутренних гармоник и многое другое.

Кроме того, проблемы возникают из-за того, что в ряде случаев измерения выполняются по радиоэффиру (OTA), без использования кабелей или волноводов. При выполнении измерений по радиоэффиру понадобится корректировать и калибровать среду передачи сигнала вокруг измерительной схемы. Необходимо также предусмотреть возможность управления или блокировки излучения любого направленного элемента в испытываемом устройстве, чтобы гарантировать воспроизводимые измерения.

## Анализ сигналов в миллиметровом диапазоне длин волн

Обширные знания и опыт компании Keysight в области измерительных решений в том числе в миллиметровом диапазоне позволяют создавать коммерчески доступные измерительные приборы для миллиметрового диапазона длин волн. Анализатор сигналов N9041B серии UXA разработан с учетом уникального опыта компании, причем команда разработчиков смогла решить три ключевые проблемы анализа сигналов миллиметрового диапазона: чувствительность, диапазон частот и полоса анализа (рис. 2).



Рисунок 2. Анализатор сигналов N9041B серии UXA может работать в миллиметровом диапазоне с непрерывным свипированием до 110 ГГц.

В анализаторах сигналов серии UXA улучшенные входные каскады позволяют уменьшить потери и повысить эффективность преобразования частоты, обеспечивая средний уровень собственных шумов (DANL)  $-150$  дБм/Гц при измерении широкополосных модулированных сигналов миллиметрового диапазона. Анализатор снабжён двумя соединителями. Надёжный и недорогой соединитель типа 2,4 мм предназначен для измерений на частотах до 50 ГГц, а специальный соединитель 1,0 мм, подвергнутый прецизионной обработке для получения заданных допусков, используется для непрерывного свипирования и получения достоверных измерений на частотах до 110 ГГц.

При едином свипировании анализатор сигналов серии UXA обеспечивает полное перекрытие диапазона частот от 3 Гц до 110 ГГц без разрывов. В отличие от решений, использующих измерения в нескольких полосах частот, в анализаторе сигналов серии UXA выполняется свипирование всего диапазона частот без появления паразитных сигналов и, следовательно, с максимальной чувствительностью. В результате можно измерять неизвестные или случайные сигналы с высокой чувствительностью и наблюдать реальные проблемы, а не искаженные сигналы от анализатора. Охват диапазона частот до 110 ГГц с помощью одного прибора обеспечивает готовность анализатора к работе в новых диапазонах частот.

Полностью интегрированная мгновенная полоса пропускания равна 1 ГГц, на выходе ПЧ поддерживается максимальная полоса анализа 5 ГГц при подключении этого выхода к внешнему осциллографу Keysight. Для наблюдения за импульсными или слабыми сигналами можно использовать опцию анализа спектра в режиме реального времени (RTSA) с максимальной полосой 250 МГц.

## Глубокий анализ самых сложных сигналов

Тесная интеграция анализатора с программным обеспечением и специализированными измерительными приложениями позволяет выполнять расширенный анализ сигналов. Измерительные приложения серии X зарекомендовали себя как надёжные и полностью готовые решения для анализа сигналов. Эти приложения, основанные на многолетнем опыте компании Keysight в области измерений и позволяющие получать воспроизводимые результаты, упрощают отображение и оценку характеристик устройств в ходе их проектирования и испытаний. Анализатор сигналов N9041B поддерживает различные полезные опции и измерительные приложения, включая анализ в режиме реального времени до 255 МГц с базовым или оптимальным детектированием (опции N9041B-RT1 или N9041B-RT2; рис. 3).

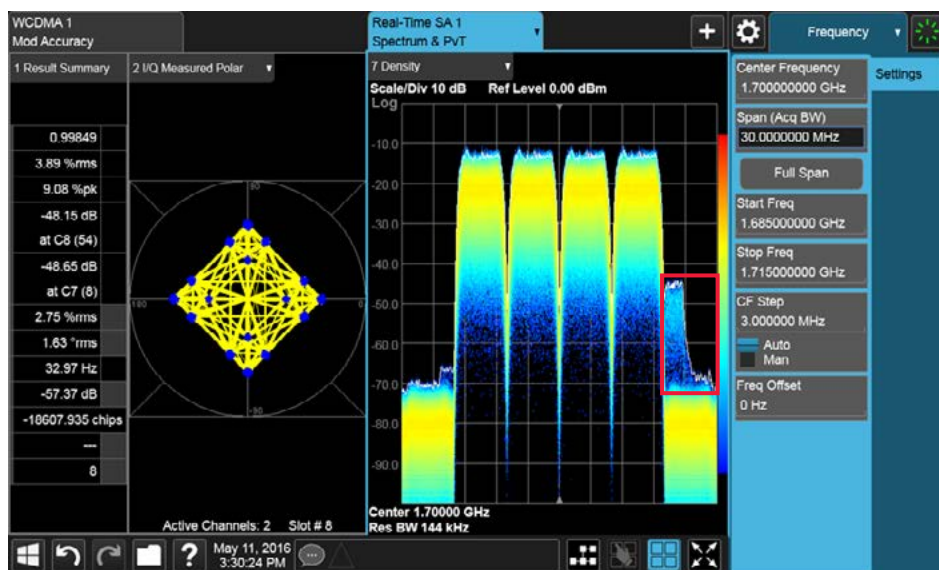


Рис. 3. В режиме анализа спектра в реальном времени (RTSA) используются настраиваемые окна, которые облегчают и ускоряют идентификацию переходных и паразитных сигналов (красный прямоугольник).

ПО векторного анализа сигналов Keysight 89600 VSA содержит всеобъемлющий набор инструментов для демодуляции и векторного анализа сигналов. ПО 89600 VSA предоставляет широкие возможности захвата/воспроизведения сигналов, которые позволят проводить детальный анализ и постобработку результатов измерений с использованием функций синхронизации, подстройки и масштабирования, что поможет в точности определить причину проблем с сигналами (рис. 4). Эти средства позволяют на практике осуществить всестороннее исследование сигналов и оптимизировать самые передовые разработки.

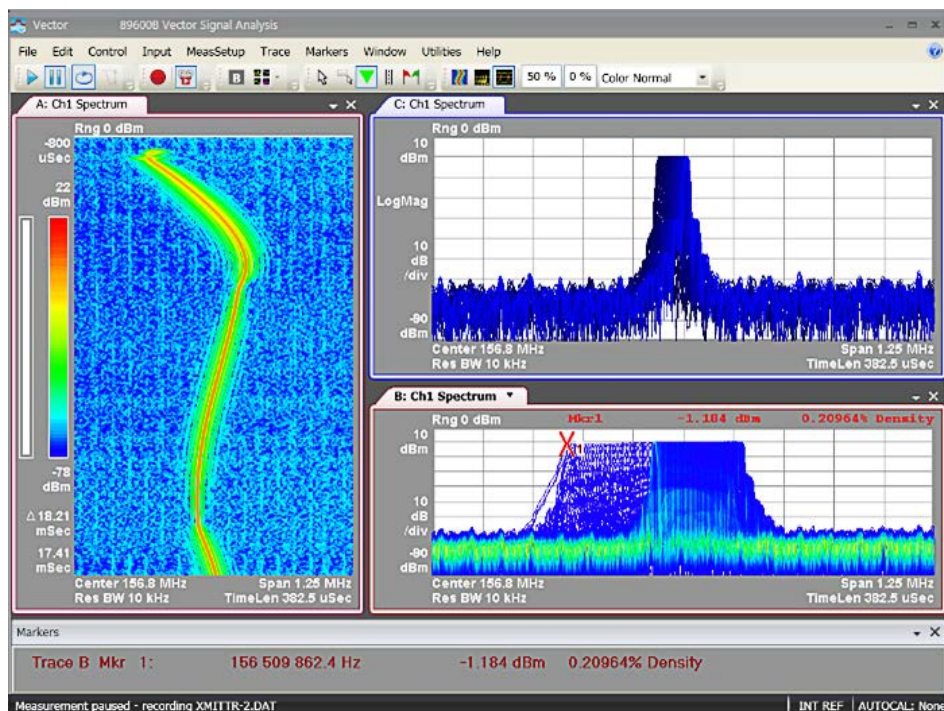


Рисунок 4. ПО векторного анализа сигналов 89600 VSA предлагает мощные инструменты измерений и визуализации, позволяющие выделять трудноуловимые и переходные события, возникающие, например, при включении радиостанции.

## Заключение

Компания Keysight, более 75 лет выпускающая передовое контрольно-измерительное оборудование, предлагает инженерам приборы для выполнения точных и воспроизводимых измерений на всё более высоких частотах и во всё более широких полосах. Мы постоянно расширяем возможности своих решений для инженеров-исследователей, занимающихся разработкой, моделированием и испытанием устройств и анализом сигналов в миллиметровом диапазоне. Инновационный анализатор сигналов N9041B серии UXA – свидетельство нашего лидирующего положения в создании решений миллиметрового диапазона.



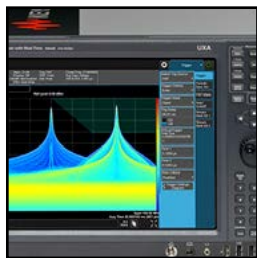
## Дополнительная информация

- Техническое описание: Анализатор сигналов N9041B серии UXA с мультисенсорным интерфейсом пользователя, документ 5992-1822EN
- Руководство по конфигурированию: Анализатор сигналов N9041B серии UXA с мультисенсорным интерфейсом пользователя, документ 5992-2112EN
- Брошюра: Анализаторы сигналов серии X, документ 5992-1316RURU
- Краткие рекомендации по применению: Измерения параметров LTE-устройств, документ 5992-1361EN
- Краткие рекомендации по применению: Оптимизация разработок беспроводных устройств, документ 5992-1591EN
- Краткие рекомендации по применению: Измерения параметров широкополосных импульсных сигналов, документ 5992-1502EN
- Краткие рекомендации по применению: Испытания систем спутниковой связи и обнаружение помех, документ 5992-1469EN
- Краткие рекомендации по применению: Измерения шума и коэффициента шума, документ 5992-1360EN

## 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)

DEKRA Certified  
ISO 9001 Quality Management System

[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.