

Keysight Technologies

Испытания приемников:
пять фундаментальных проблем разработки

Рекомендации
по применению

Создание систем беспроводной связи представляет собой непростую задачу с жесткими ограничениями и множеством требуемых компромиссов. От разработчиков ждут постоянного повышения производительности, удешевления конструкции и ускорения вывода устройств на рынок. Не имеет значения, что именно приходится испытывать — отдельные компоненты, подсистемы или готовые радиопередатчики, — радиочастотные измерения неизбежно сопряжены со сложностями. Данные рекомендации помогут вам решить пять фундаментальных проблем, возникающих при проектировании беспроводных приемников.

- контроль коэффициента шума
- оптимизация уровня фазового шума
- ограничение энергопотребления
- проведение точных измерений РЧ-мощности
- формирование современных сигналов сложной формы

Контроль коэффициента шума во всех сегментах приемника

Шум, а именно отношение сигнал/шум (signal-to-noise ratio, SNR) является фундаментальной проблемой при проектировании беспроводных приемников. Высокий уровень шумового сигнала ограничивает производительность системы и ее эффективность, попутно ухудшая множество сопутствующих характеристик, которые важны для операторов данных систем и для конечных пользователей. В некоторых случаях можно улучшить SNR путем увеличения мощности передаваемого сигнала, однако зачастую законодательные ограничения и вопросы энергопотребления не позволяют использовать данную возможность. Разработчики тщательно оптимизируют отношение сигнал/шум в своих приемниках с учетом требований к стоимости, доступной мощности и размерам устройств.

Получил распространение подход к оптимизации шумовых характеристик беспроводных систем, основывающийся на контроле соответствия SNR целевым значениям в каждом отдельно взятом сегменте блок-схемы устройства. Поскольку результирующие шумовые характеристики блоков зависят как от вносимого ими шума, так и от их коэффициента усиления, то качественной мерой оценки шумов в системе будет являться отношение SNR на входе и выходе каждого блока. Это отношение, *выраженное в логарифмической форме*, получило название *коэффициент шума (noise figure, NF)*.

Таким образом, для оптимизации характеристик устройства необходимо проводить точные измерения коэффициентов шума его отдельных блоков и подсистем. Желательно упростить процесс измерений, чтобы их можно было проводить многократно в процессе разработки устройства.



Измерения коэффициента шума

Как правило, для измерения коэффициента шума (КШ) применяют один из двух методов: метод Y-фактора и метод холодного источника. Метод Y-фактора чаще всего используется при измерениях в ВЧ-/СВЧ-системах (рис. 1). В этом методе ко входу испытуемого устройства (ИУ) подключают коммутируемый калиброванный источник шума, а к выходу ИУ – анализатор сигналов или анализатор шума, чтобы измерить результирующий шумовой сигнал и вычислить КШ. Отдельная процедура калибровки позволяет напрямую измерить выходной сигнал источника шума во включенном («горячем») и выключенном состояниях, а также измерять коэффициент усиления ИУ.

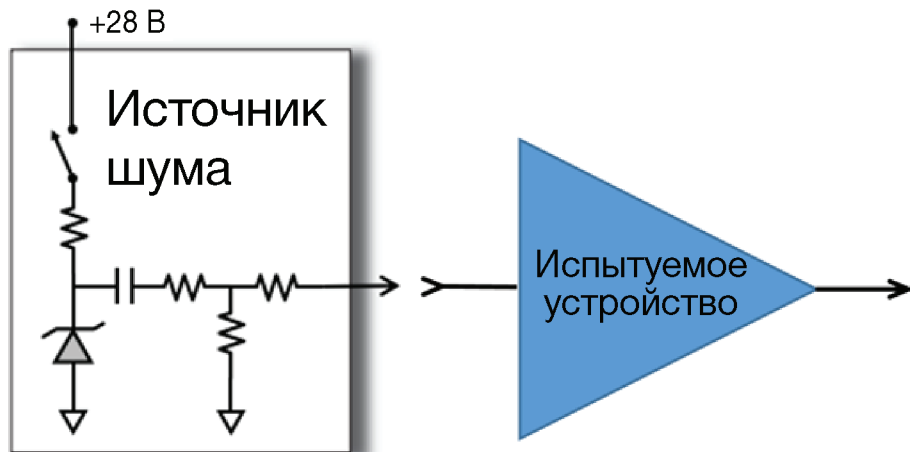


Рис. 1. Основным элементом источника шума в методе Y-фактора является диод, который вводится в режим лавинного пробоя, чтобы генерировать шумовой сигнал известной мощности. При этом диод не обеспечивает стабильное сопротивление 50 Ом на выходе, поэтому нередко за ним устанавливают аттенуатор, улучшающий согласование с предполагаемым сопротивлением ИУ (50 Ом).

Метод холодного источника основан на использовании векторного анализатора цепей (ВАЦ) с двухпортовым подключением к ИУ. Отдельного источника шума здесь не требуется, и для полного измерения достаточно однократного подключения к ИУ.

Оба метода позволяют получить точные результаты измерений для проектирования приемников, и каждый имеет свои ограничения. Эти ограничения можно разделить на две основные категории: необходимость внесения поправок для компенсации погрешностей и отделение собственного шума измеряющего приемника от шума, создаваемого ИУ. В данном документе в качестве ИУ рассматриваются усилители.



Выбор метода измерений

Наиболее точные результаты измерений, особенно в неблагоприятных условиях (см. ниже), дает метод холодного источника. Этот метод особенно удобен при измерениях в миллиметровом диапазоне или в случаях, когда вход и выход плохо согласованы, то есть когда импеданс существенно отличается от 50 Ом для приборов, кабелей и принадлежностей.

Методы векторной калибровки, применяемые в ВАЦ, позволяют учесть многочисленные возможные составляющие погрешности вследствие рассогласования в измерительной конфигурации. Таким образом, во многих случаях компенсируется самый главный источник погрешностей при измерениях КШ. Рассогласование сопротивлений приводит к некорректному измерению мощности, что напрямую влияет на расчет коэффициента шума.

Распространенными источниками рассогласований являются полупроводниковые пластины, щупы/зонды/пробники или измерительная оснастка (а также любые другие типы некоаксиальных соединений); рассогласование между ИУ и источником шума или анализатором, а также коммутация сигналов в измерительной системе. Рассогласование обычно возрастает по мере увеличения частоты, поэтому метод холодного источника во многих случаях наилучшим образом подходит для измерений в миллиметровом диапазоне.

С другой стороны, на практике большинство измерений коэффициента шума выполняются в ВЧ- и СВЧ-диапазонах с коаксиальными подключениями и достаточным согласованием полных сопротивлений между источником шума, анализатором и ИУ. Для таких измерений многие радиоинженеры используют метод Y-фактора, поскольку он дешевле и удобнее. Для измерений этим методом требуется анализатор сигналов, который обычно имеется в распоряжении большинства специалистов. Анализатор сигналов зачастую дешевле ВАЦ и обладает хорошим соотношением стоимости и точности измерений.

С учетом этих особенностей, очень важно уделить внимание неблагоприятным условиям, которые могут усложнить измерения или значительно увеличить погрешность:

- **Испытуемые устройства, сочетающие низкий коэффициент усиления с очень хорошим КШ.**
Такие устройства вносят незначительный дополнительный шум. В результате на вход анализатора поступает сигнал, который трудно измерить по причине близости его уровня к собственному уровню шума анализатора.
- **Кондуктивные или излучаемые помехи.** Анализаторы не обладают возможностями для выделения мощности, приходящейся на кондуктивные или излучаемые помехи. По возможности измерения следует проводить в экранированных помещениях, без воздействия мобильных телефонов и покрытия беспроводных сетей, и запитывать устройства от батареи, если это целесообразно.
- **Сложные или длинные кабельные подключения или переходы.** Кабельная сборка и переходы могут нарушить согласование сопротивлений и ослабить мощность подаваемых или измеряемых шумов. Экономичным решением для повышения эффективности измерений и снижения погрешности является индивидуальная кабельная сборка, позволяющая избавиться от переходов и лишнего метража кабельных линий.
- **Неустойчивые соединения на этапах калибровки и измерений.** Особенно важно соблюдать требования к организации кабельных соединений и уходу за соединителями.
- **Устройства, которые меняют температуру и характеристики во время измерений.**
Измерения коэффициента шума и вычисления погрешности измерений подразумевают работу с устройствами с неизменяющимися характеристиками. Любые смещения характеристик и прочие изменения после калибровки или в ходе измерений напрямую влияют на точность результатов.

И, наконец, внешние или встроенные предусилители способны повысить точность измерений коэффициента шума за счет улучшения собственного уровня шума измерительных приборов. Однако для этого предусилители должны обладать чрезвычайно низким собственным коэффициентом шума в рабочем диапазоне частот.



Оптимизация фазового шума для плотных сигнальных созвездий и малого разнесения каналов

Фазовый шум — довольно распространенная характеристика приемников, которая серьезно влияет на параметры устройства. В частности, фазовый шум может приводить к ошибкам демодуляции в результате искажения положения I/Q-символов и интерференции между поднесущими в системах OFDM. Кроме того, он может ухудшить отношение сигнал/шум (SNR). Некая доля фазового шума присутствует в сигналах на входе приемника, и она неизбежно увеличивается при последующем понижающем преобразовании.

Фазовый шум заметно растет при небольших отстройках от несущих и, что вполне ожидаемо, приводит к более серьезным последствиям при более плотном разнесении несущих. Во многих современных беспроводных системах используются физические уровни OFDM, где радиоповышения спектральной эффективности применяется более плотное разнесение поднесущих.

Узкие интервалы между поднесущими усугубляют воздействие фазового шума, однако очевидное решение уменьшить фазовый шум осцилляторов или синтезаторов приемника не всегда бывает оправданным. Снижение уровня фазовых шумов обычно влечет за собой дополнительные затраты, увеличение габаритов и энергопотребления устройства. К счастью, в системах OFDM в этом отношении предусмотрен компромисс: для решения данной проблемы можно использовать механизм слежения за поднесущими. Демодуляторы OFDM непрерывно следят за известными пилотными поднесущими и символами, встроенными в передаваемые сигналы, и на основе этих сведений в реальном времени частично компенсируют фазовый шум.

При проектировании приемников важно оценить эффективность слежения и контролировать максимально допустимый уровень фазового шума, чтобы оптимизировать характеристики приемника, его стоимость и время работы от батареи.

Контроль фазового шума в измерительной системе

Некоторые генераторы сигналов могут создавать сигнал со сверхнизким уровнем фазовых шумов, заметно более низким, чем у испытуемых с помощью таких генераторов устройств. Такие генераторы могут использоваться в качестве источников эталонных сигналов при измерениях вносимого фазового шума или при отладке устройств. Вместе с тем, более важной задачей генераторов сигналов при оптимизации характеристик приемников, в особенности со слежением за пилотными сигналами, является формирование сигналов с известным количеством и спектральным распределением фазовых шумов.

Для формирования сигналов в устройстве с понижающим преобразованием частоты или системах OFDM с точным уровнем вносимого фазового шума на генераторах Keysight N5182B серии MXG используется коррекция сигнального тракта ФАПЧ в реальном времени, что позволяет вносить фазовый шум в сигнал. В большинстве случаев мощность и спектральное распределение вносимого фазового шума можно задать с помощью опорного уровня фазового шума и частотных точек, определяющих границы интервала частот данного опорного уровня. На рис. 2 показан экран с конфигурацией генератора сигналов с целевой кривой, а также соответствующие результаты измерений с помощью анализатора сигналов с приложением для измерения фазовых шумов.



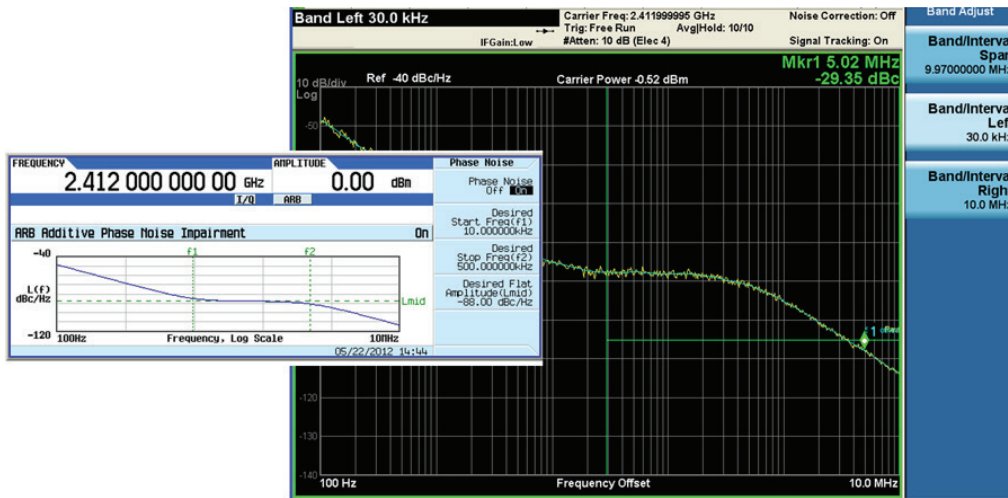


Рис. 2. Слева изображен экран генератора сигналов Keysight N5182B серии MXG с параметрами вносимого фазового шума, включая ожидаемую кривую фазового шума. Соответствующие результаты измерений фактического фазового шума в измерительном приложении анализатора сигналов приведены справа.

Оценка качества модуляции

Еще одна важная задача при оптимизации системы и измерений — проверить влияние фазового шума на качество модуляции на входе приемника, вычислив такие показатели, как модуль вектора ошибки (error vector magnitude, EVM). EVM — это распространенное линейное измерение искажения сигнала. Так как цель заключается в оптимизации параметров фазового шума, будем исходить из того, что именно фазовый шум сильнее всего искажает сигнал. В этом случае действует эмпирическое правило – уровень пилотных сигналов подвержен влиянию фазовых шумов на отстройках до 10% от ширины интервала между поднесущими OFDM (например, 31 кГц при интервале между поднесущими 312,5 кГц).¹

С учетом этого, EVM можно оценить как значение интеграла фазового шума в одной боковой полосе, увеличенное на 3 дБ (для пересчета мощности в одной полосе в мощность в двух боковых полосах):

$$EVM \text{ (дБ)} \approx [\text{интеграл от мощности в одной боковой полосе}] + 3 \text{ (дБ)}$$

Интегрирование фазового шума производится в диапазоне от частоты, равной 10% от интервала между поднесущими, до частоты, соответствующей ширине полосы пропускания канала.

На рис. 2 показано интегрирование мощности с помощью маркеров уровня мощности в полосе частот в измерительном приложении. После добавления 3 дБ к показанию маркера, равному -29,35 дБн, получаем -26,35 дБн. Данный циклический процесс, заключающийся в формировании искаженных сигналов и проверке их влияния на приемники, служит мощным средством оптимизации OFDM-систем и других сложных схем.

1. Эмпирическое правило об отстройке, равной 10% от ширины интервала между поднесущими, считается в некоторой степени консервативным, однако оно дает достаточно точную оценку для большинства задач по оптимизации характеристик.



Ограничение энергопотребления без ущерба качеству сигнала

Традиционные мобильные устройства нуждаются в частой подзарядке, и без оптимального управления питанием невозможно создать конкурентоспособное решение, удовлетворяющее конечных пользователей. Следовательно, физические размеры и масса элементов питания должны вписываться в проектную концепцию.

Так как большинство портативных устройств работают от заряжаемых аккумуляторов ограниченной емкости, они должны экономно расходовать энергию. Аккумуляторы и преобразователи напряжения зачастую обладают значительным выходным сопротивлением и плохо приспособлены для динамического изменения потребляемой мощности по причине низкой скорости нарастания выходного напряжения и тока. Стандартные лабораторные источники питания с возможностью подачи питания в течение практически неограниченного времени (в отличие от аккумуляторов) на деле могут замаскировать проблемные моменты.

Ограниченные возможности батарей, источников и преобразователей питания вынуждают находить компромисс между мгновенной и общей мощностью и характеристиками РЧ-модуля. Такой компромисс важен не только для функциональных возможностей, но и для конкурентоспособности решения. Например, размер устройства, его масса и время работы от батареи значительно влияют на предпочтения потребителей и считаются важными конкурентными преимуществами.

Существует еще одно стремительно развивающееся направление с особыми потребностями — устройства Интернета вещей, в особенности такие устройства, которые периодически обмениваются малыми объемами данных с хост-системами или другими устройствами. Такие устройства зачастую работают от небольших элементов питания, а не от аккумуляторов или сети переменного тока, при этом они должны сохранять работоспособность несколько месяцев или даже лет до замены элемента питания. Примерами таких устройств в бытовой технике могут служить термостаты, датчики движения, выключатели света и датчики охранной сигнализации.

Ключевое значение для таких устройств имеет низкое энергопотребление в периоды активной работы. Вместе с тем не меньше сложностей создают для радиоинженеров режимы покоя со сверхмалым энергопотреблением. Только при наличии точных данных о потреблении энергии в состоянии покоя и при правильной организации переходов между состояниями сна и активной работы можно удовлетворить ожидания потребителей к сверхдлительным интервалам между обслуживанием или заменой.



Поиск компромиссов в вопросах энергопотребления

Чтобы добиться надежной и энергоэффективной работы устройства, особенно с низким или сверхнизким уровнем мощности, необходимо пойти на ряд инженерных компромиссов и провести множество измерений. Над чем бы вы ни работали - над устройством или подсистемой, - рекомендуется начать с измерений реальной потребляемой мощности. В этом вам помогут анализаторы питания постоянного тока, объединяющие в себе несколько источников постоянного тока и точные средства измерения мощности. Это относительно новая категория приборов, позволяющая упростить процесс измерений и более детально изучить энергопотребление устройств (рис. 3 и 4).

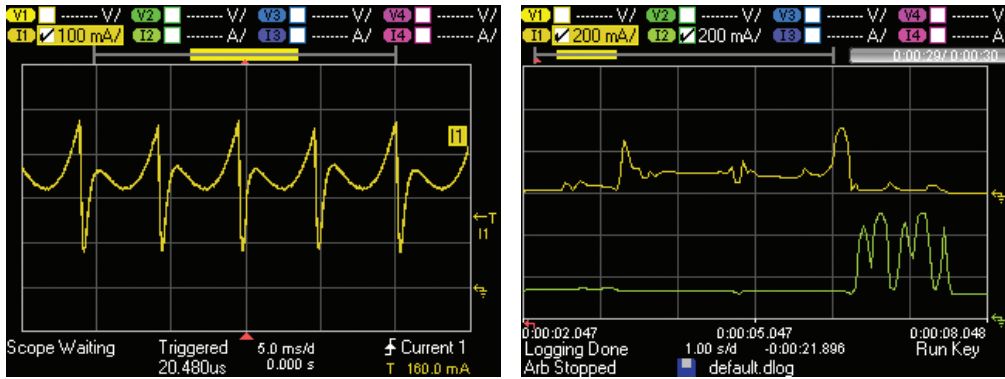


Рис. 3. Динамика потребления тока за 30 мс на экране осциллографа (слева) и за 30 секунд на экране регистратора данных (справа). Подобные измерения дают более полное представление о том, как устройство или система потребляют энергию в реальных условиях.



Рис. 4. Анализатор питания постоянного тока производит динамический анализ потребления мощности, помогающий выяснить, как расходуется энергия батареи, и понять требования к электропитанию.

При изучении особенностей энергопотребления устройств необходимо учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные аспекты. Анализаторы питания позволяют проводить измерения во временной области (аналогично осциллографу), результаты которых помогают выявить колебания потребляемой мощности, в частности пиковое потребление, быстро разряжающее источник питания устройства. Другой способ оценить потребление - с помощью диаграмм регистратора данных или ленточных диаграмм, которые предоставляют данные об энергопотреблении за более продолжительные периоды времени — секунды или минуты. Эти измерения часто бывают необходимыми для вычисления суммарной потребляемой мощности при проектировании источников питания, преобразователей и батарей. Также они дают представление о рассеивании мощности подсистемами или компонентами, которые могут иметь ограниченные температурные характеристики.



Имитация профилей напряжения и тока

Ознакомившись с базовой информацией, перейдем к поиску оптимального баланса, обеспечивающего требуемое питание при минимальных габаритах и стоимости. Для этого требуются источники питания, способные подавать специально ограниченный уровень питания, имитирующий реальные условия. Такие источники помогают инженерам найти баланс с учетом предельных значений и обеспечить оптимальные характеристики устройства с максимально компактным источником питания (рис. 5).

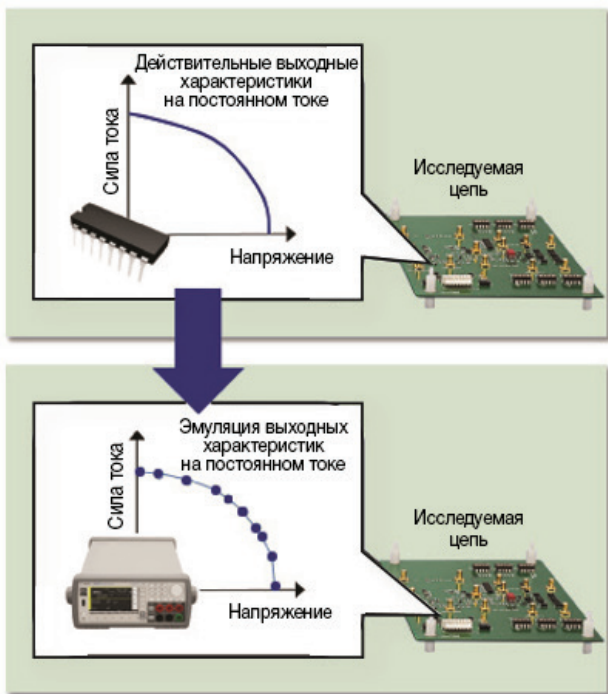


Рис. 5. Источник питания Keysight с низким уровнем шума способен имитировать выходные характеристики различных элементов питания, позволяя проанализировать поведение устройства в реальных условиях с ограниченным зарядом.

Такие решения, как малошумящий источник питания Keysight B2961/62A, достоверно имитируют выходные характеристики и обеспечивают в числе прочего программируемое выходное сопротивление, очень низкие значения силы тока и сверхнизкий шум. Такие источники питания могут работать в режиме имитации напряжения/тока, что позволяет использовать их для электроснабжения АЦП, ЦАП, радиочастотных интегральных схем, генераторов с управлением напряжением, датчиков, измерительных преобразователей и кварцевых генераторов. Режим имитации работает по заданным картам с точками напряжения/тока, с помощью которых имитируются разные устройства, к примеру солнечные элементы.



Измерение и анализ сверхнизких уровней тока

В портативных устройствах для продления работы при сверхнизком энергопотреблении может потребоваться применить некую систему очередности и распределения мощности, чтобы исключить повышенную нагрузку из-за одновременной работы радиочастотных и вычислительных компонентов. Для определения этого сценария требуются приборы, способные измерять низкий ток в широкой полосе частот, в сочетании с внешним источником питания или собственным источником питания системы. Одним из таких приборов является анализатор формы сигнала тока Keysight CX3300A, который также представляет собой сравнительно новое решение в области измерения мощности постоянного тока. Как правило, данный анализатор используется с аналоговыми пробниками, совместимыми с испытуемой цепью, но он также может быть оборудован цифровыми пробниками, чтобы скоординировать измерения питания с управляющими сигналами устройства (рис. 6).

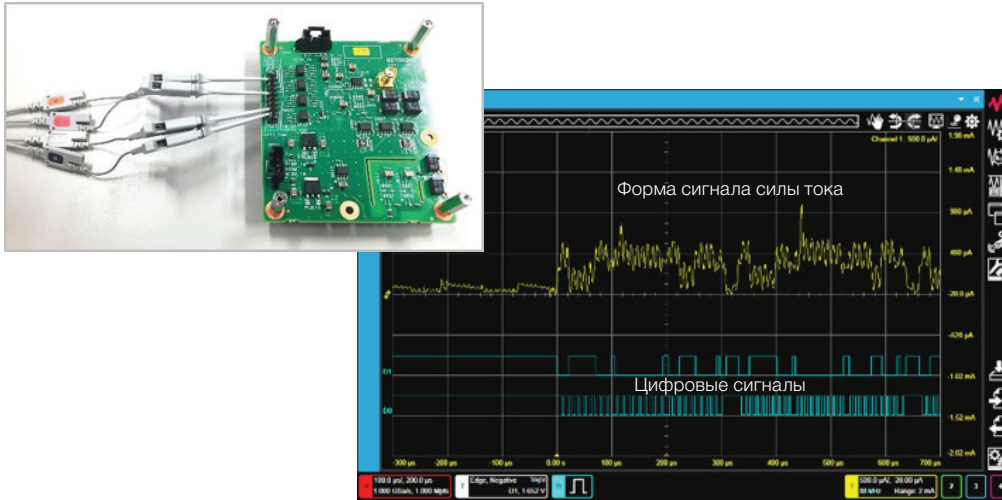


Рис. 6. Анализатор формы сигнала тока оснащен аналоговыми и цифровыми входами, при этом он способен совмещать поступающие с них анализируемые данные. Состояние шины данных может быть сопоставлено с текущим потреблением тока и может использоваться для запуска других измерений на анализаторе ВЧ-сигналов или векторном анализаторе сигналов.

Благодаря чувствительности анализатора в полосе пропускания 200 МГц фиксируются переходные токи, которые могут перегрузить источник питания или повредить цепи. Цифровые пробники предоставляют возможности запусков измерений, а глубокая память позволяет изучить форму тока в моменты, отличные от времени срабатывания триггера. ²

В некоторых устройствах обеспечение чистого и непрерывного питания постоянного тока нуждается в контроле при любых изменениях рабочего состояния, уровня заряда или проектной конфигурации — все эти факторы могут повлиять на характеристики в радиочастотном диапазоне. Логичными последствиями ограничения питания постоянного тока в системе являются снижение радиочастотной мощности и искажение сигнала, но возможны и другие эффекты, в том числе повышение погрешности модуляции. Возможность сопоставить радиочастотные измерения с показателями мгновенного потребления постоянного тока и цифровой активностью системы предоставляет эффективные средства оптимизации и устранения проблем, особенно при анализе переходных состояний передачи или приема сигнала, работе нескольких приемопередатчиков и активной работе блока цифровой обработки сигналов.

Способность анализатора формы сигнала тока срабатывать при выявлении последовательностей, определенных состояний и случайных выбросов отлично сочетается с имеющимися у векторных анализаторов сигналов возможностями захвата, воспроизведения и постобработки сигналов. Общая последовательность измерений начинается с функций запуска в анализаторе формы сигнала тока. С ее помощью создается внешний сигнал запуска, инициирующий одиночное измерение или захват сигнала с помощью векторного анализатора сигналов. Положительные или отрицательные (до срабатывания триггера) задержки позволяют согласовать измерения напряжения или потребления мощности (и связанных случайных выбросов или других проблем) с измерениями радиочастотной мощности, спектра или качества модуляции.

2. Более подробная информация представлена в брошюре «7 советов по точному измерению тока» (7 Hints for Precise Current Measurements).



Проведение всесторонних и точных измерений РЧ-мощности сложных сигналов

Наличие точных результатов измерения мощности имеет критическое значение на всех этапах проектирования и производства. Нередко эти измерения выполняются на сигналах, изменяющихся во времени. Такой сигнал может исходить как от полноценного передатчика, так и от входа или выхода отдельного компонента или подсистемы передатчика или приемника.

В беспроводных системах связи многие РЧ-сигналы имеют шумоподобные характеристики, и их уровень мощности необходимо измерять в заданном диапазоне частот или канале. В этих случаях для возможности получения точных и повторяемых результатов измерений необходимо интегрировать измеренную мощность в диапазоне частот и затем получить значение, усредненное по времени или импульсам сигналов (либо и по тому, и по другому).

Для измерений в беспроводных системах применяются как измерители мощности, так и анализаторы сигналов. У каждого из этих приборов свое назначение и свои преимущества. Давайте рассмотрим каждый из них.

Выбор подходящего прибора: измеритель мощности

Измерители мощности — это недорогие и точные инструменты с отличным частотным диапазоном и согласованием источника. Измерители с взаимозаменяемыми датчиками мощности обеспечивают чрезвычайно широкий диапазон частот при хорошем согласовании по входу, что способствует повышению точности измерений. Измерители мощности могут подключаться к различным точкам блок-схемы передатчика или к отдельным блокам с целью определения характеристик усилителей, аттенуаторов или преобразователей частоты. Некоторые из них имеют очень полезную функцию пиковой мощности, позволяющую измерять изменяющиеся во времени сигналы, динамические элементы, тепловой эффект или эффекты, связанные с источником питания (рис. 7).

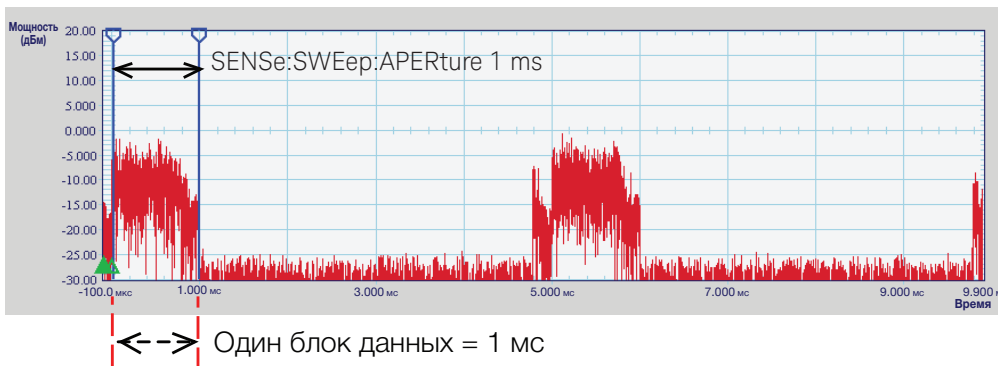


Рис. 7. Многие измерители мощности способны выполнять измерения мощности в зависимости от времени с настраиваемыми параметрами времени. Показанная кривая представляет собой измерение средней мощности пакетного сигнала для одного субфрейма LTE.

Главным ограничением измерителей мощности считается их широкополосность. Чувствительность в широкой полосе частот означает, что данные приборы не смогут точно измерять слабые сигналы рядом с более мощными и что для более точных измерений им потребуется более высокая амплитуда. Будучи широкополосными устройствами, они не могут сузить измеряемую полосу частот, чтобы отсеять широкополосный шум, паразитные сигналы, источники помех и пр.



Выбор подходящего прибора: анализатор сигналов

Анализаторы сигналов не могут похвастаться такой высокой точностью при измерениях мощности отдельных сигналов высокого уровня, какой обладают измерители мощности. С другой стороны, они обеспечивают множество преимуществ при испытаниях РЧ-передатчиков, будь то определение характеристик передатчиков или отдельных подсистем.

Основные преимущества анализаторов сигналов с точки зрения измерения мощности беспроводных систем обусловлены селективностью в диапазоне частот и точностью измерений временных интервалов или во многих случаях сочетанием этих видов избирательности. За счет выбора частот можно проводить измерения по отдельным каналам или полосам частот, такие как измерения относительного уровня мощности в соседнем канале (рис. 8). Такая избирательность также снижает мощность широкополосного шума (минимальный уровень шума) в результатах измерений, способствуя повышению точности и динамического диапазона, в первую очередь для малых сигналов и сигналов, близких по мощности к шуму.

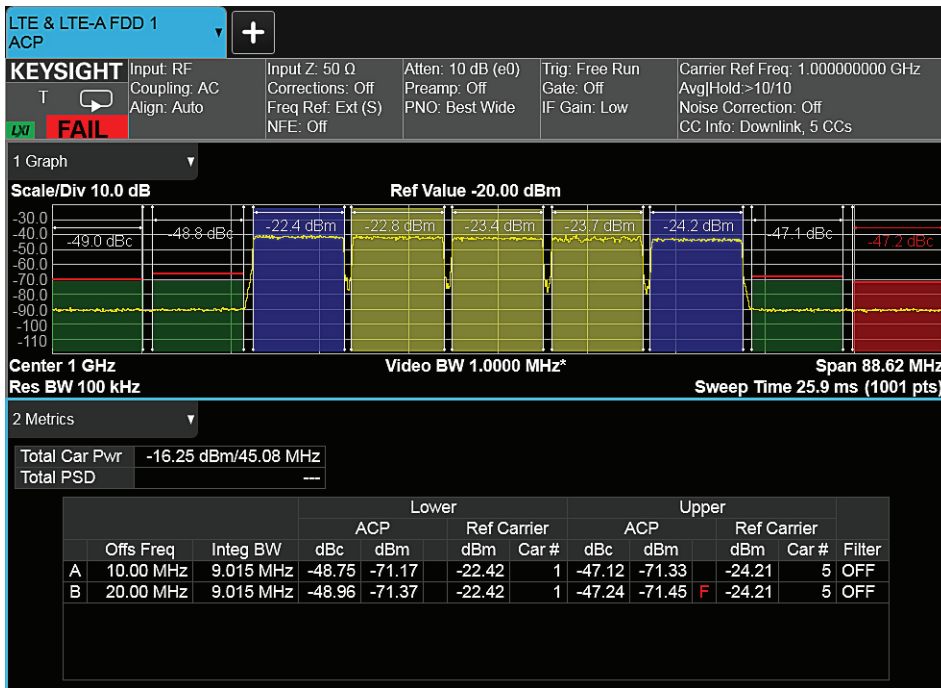


Рис. 8. Распространенным показателем мощности и искажения в беспроводных системах является коэффициент мощности в соседнем канале (ACPR). Измерительные приложения автоматически конфигурируют и сравнивают измерения в основном и соседних/альтернативных каналах и представляют результаты в графической и табличной формах.

По сравнению с измерителями пиковой мощности, анализаторы сигналов обеспечивают более высокую избирательность во временной области для измерений мощности в зависимости от времени. Действительно, одним из основных видов измерений мощности, для которого используются данные анализаторы, являются избирательные измерения мощности в зависимости от времени в одиночном канале, результаты которых позволяют получить представление о динамическом изменении мощности в данном канале во время передачи пакета данных или фрейма.

Использование измерительных приложений для решения сложных задач

Часто бывает необходимо провести относительные измерения в диапазонах частот нескольких соседних и альтернативных каналов, чтобы проследить за выбранным разнесением каналов и ограничениями по мощности. Измерительные приложения легко справляются с подобными измерительными задачами:

- мощность сигнала и статистические данные варьируются в различных интервалах передачи, поэтому нередко требуется измерять отдельные участки пакетов или фреймов передатчика. В качестве примера можно назвать демонстрационную последовательность OFDM-сигналов с четко заданными мощностями и временными интервалами;
- нужны согласованные и совместимые методы усреднения и детекторы, иначе на выходе будут непредсказуемые и несогласованные результаты (то есть не будет обеспечиваться воспроизводимость измерений);
- искажения, выявленные в измерениях ACPR, могут соответствовать требованиям спецификации, предусматривающей различные допуски на разных рабочих этапах разработки устройства.



Формирование сигналов сложной формы

Системы беспроводной передачи данных и голосовой связи постоянно нуждаются в повышении емкости каналов, что в общем случае также справедливо для беспроводных локальных сетей. В погоне за растущими требованиями разработчики внедряют самые разнообразные технологии, которые усложняют испытания приемников и формирование сигналов. Речь идет, например, о сложных типах модуляции, структурах фрейма и схемах мультиплексирования. Схемы со множеством несущих и многоканальные расширения типа MIMO в сочетании с объединением несущих еще больше усложняют задачу.

Применяемые технологии не менее сложны, чем соответствующие им стандарты и регулирующие нормы, что затрудняет надежное создание полностью совместимых сигналов для испытаний компонентов, подсистем и приемников. Во многих беспроводных системах подобные сложности и потребность в динамически изменяемых неповторяющихся сигналах привели к появлению специализированного программного обеспечения, управляющего генераторами ВЧ- и СВЧ-сигналов.

Генераторы сигналов сами по себе также способны выполнять ряд испытаний приемников. Они могут подменять осцилляторы и синтезаторы, создавая различные непрерывные гармонические сигналы, а также модулированные помехи и блокирующие сигналы. Некоторые генераторы также включают встроенную возможность векторного формирования сигналов произвольной формы, глубокую память и поддержку широкой полосы модуляции. По сути, это идеальная платформа, которая в тандеме с измерительными приложениями способна формировать сложные сигналы, соответствующим требованиям стандартов.

Например, генераторы сигналов Keysight серии X рассчитаны на работу с широким спектром измерительных приложений ПО Signal Studio, многие из которых поддерживают разновидности новых сложных стандартов беспроводной передачи данных и беспроводных сетей.

Базовые возможности ПО Signal Studio позволяют тестировать передатчики и отдельные компоненты. С помощью измерительных приложений можно формировать сигналы для измерений ACPR/ACLR, EVM, мощности в канале и занимаемой ширины полосы частот. Что касается приемников, то для них доступны более продвинутые широкие возможности по измерению чувствительности, избирательности, интермодуляции и блокирования. В ПО уже включены проверенные сигналы определенных стандартов, а также заданные испытательные схемы. Сигналы оптимизированы для измерений ACPR и EVM; кроме того, они могут применяться в системах со множеством несущих и форматов.



Несмотря на то, что многие сигналы могут быть сформированы путем загрузки сегментов данных в память сигналов произвольной формы в генераторе сигналов, для некоторых измерений приемников требуется генерация сигналов в реальном времени. В качестве примера можно привести измерения HARQ в замкнутом контуре и проверку синхронизации в LTE-системах. Широкие возможности ПО также поддерживают формирование сигналов с полным канальным кодированием для анализа частоты появления ошибок в битах, блоках, пакетах и фреймах приемника (рис. 9).

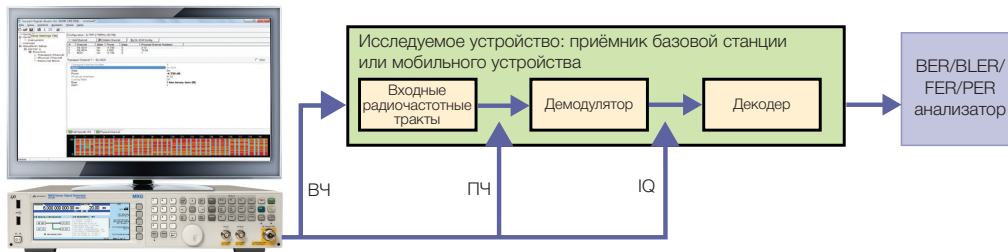


Рис. 9. Расширенные возможности ПО Signal Studio в сочетании с векторными генераторами сигналов позволяют формировать сигналы с полным канальным кодированием, с помощью которых можно реалистично оценить производительность приемника.

Стремительное развитие современных стандартов беспроводных сигналов значительно усложняет их испытания. Еще одно преимущество ПО для формирования сигналов определенных стандартов состоит в том, что его можно обновлять по мере развития стандартов и повторно испытать свои устройства.

Выводы

Проектирование и испытания беспроводных систем сопряжены с массой сложностей, начиная с питания и заканчивая качеством ВЧ- и СВЧ-сигналов и передачей в миллиметровом диапазоне частот. Чтобы создать качественное решение, необходимо иметь обширный опыт, глубокие знания и уметь применять творческий подход к проектированию. В этом вам помогут современные генераторы сигналов и измерительное ПО, с помощью которых вы сможете создавать сигналы для эффективных измерений ИУ.

Более подробную информацию по повышению качества измерений можно найти в нашем [блоге по радиочастотным измерениям](#). Дополнительная информация о генераторах сигналов Keysight представлена на странице www.keysight.com/find/sg.



Загрузите новый инструмент анализа

Программное обеспечение компании Keysight является воплощением профессионального опыта и знаний ее сотрудников. Мы готовы обеспечить вас инструментами, которые помогут сократить сроки сбора первичных данных и принятия решений на всех этапах — от предварительного моделирования изделия до отгрузки готового продукта заказчику.

- Системы автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных устройств
- Прикладное программное обеспечение
- Среды программирования
- Программное обеспечение для повышения производительности



Более подробную информацию вы можете получить по ссылке

www.keysight.com/find/software

30-дневную ознакомительную лицензию можно загрузить по ссылке

www.keysight.com/find/free_trials

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

Северная и Южная Америка

Канада	(877) 894 4414
Бразилия	55 11 3351 7010
Мексика	001 800 254 2440
США	(800) 829 4444

Страны Азиатско-Тихоокеанского региона

Австралия	1 800 629 485
Китай	800 810 0189
Гонконг	800 938 693
Индия	1 800 11 2626
Япония	0120 (421) 345
Корея	080 769 0800
Малайзия	1 800 888 848
Сингапур	1 800 375 8100
Тайвань	0800 047 866
Другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона	(65) 6375 8100

Европа и Ближний Восток

Австрия	0800 001122
Бельгия	0800 58580
Финляндия	0800 523252
Франция	0805 980333
Германия	0800 6270999
Ирландия	1800 832700
Израиль	1 809 343051
Италия	800 599100
Люксембург	+32 800 58580
Нидерланды	0800 0233200
Россия	8800 5009286
Испания	800 000154
Швеция	0200 882255
Швейцария	0800 805353
Великобритания	Доб. 1 (Германия) Доб. 2 (Франция) Доб. 3 (Италия) 0800 0260637

Контактная информация для стран, не вошедших в список, приведена на странице www.keysight.com/find/contactus (BP-9-7-17)

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

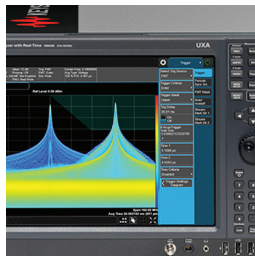
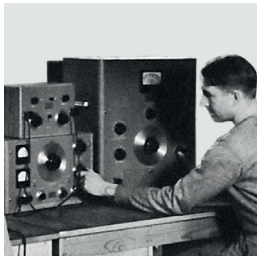
Система управления качеством Keysight Technologies, Inc. сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2015

Информация может быть изменена без уведомления.
© Keysight Technologies, 2018
Published in USA, February 2, 2018
5992-2695RURU
www.keysight.com

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.



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Индивидуальная подборка наиболее важной для вас информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration

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

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight

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 поверке 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

<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 партнёры Keysight

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/sg

