

Тестирование передатчиков: пять фундаментальных проблем

Олег Калинин (oleg.kalinin@keysight.com)

Проектирование любой системы беспроводной передачи данных – непростая задача, которая непременно включает в себя тестирование ВЧ-устройств и систем. В данной статье рассматриваются пути решения пяти основных проблем ВЧ-испытаний: соответствие требованиям стандартов, точные измерения ВЧ-мощности, помехоустойчивость, ЭМС и оптимизация энергопотребления.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ УСТРОЙСТВ ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТОВ И НОРМАТИВОВ

Для многих стандартов радиосвязи производители испытательных систем предлагают специализированные инструменты для испытаний передатчиков, которые, как правило, ориентированы на серийное или опытное производство. С другой стороны, разработка и отладка передатчиков требует выполнения разнообразных измерений, выходящих далеко за рамки простой проверки характеристик и испытаний готовых изделий на соответствие стандартам. Такие дополнительные измерения включают общий спектральный анализ модулированных сигналов и измерения сигналов подсистем в различных узлах устройства. Это могут быть как обычные гармонические сигналы, так и модулированные, причём их частота не всегда соответствует частоте рабочего канала.

Очевидной платформой для таких измерений является анализатор сигналов с цифровым трактом промежуточной частоты (ПЧ) и векторной обработкой сигналов. Анализаторы сигналов могут выполнять все необходимые измерения спектра и могут быть дополнены прикладным измерительным программным обеспечением. Различные измерительные приложения ориентированы на конкретные стандарты радиосвязи, и по

мере изменения этих стандартов приложения можно обновлять. Это позволяет использовать один анализатор и для проведения испытаний на соответствие стандартам, и для повседневных задач, связанных с анализом сигналов в ходе проектирования беспроводных устройств.

В настоящее время выпускаются десятки различных видов измерительных приложений, которые охватывают все основные стандарты радиосвязи. Большинство измерительных приложений работает на одноканальных анализаторах сигналов, но имеются и версии для многоканальных модульных анализаторов, которые позволяют выполнять полную демодуляцию сигналов ММО. Эти приложения используют единые измерительные алгоритмы для всех анализаторов, и компания Keysight проверяет данные алгоритмы на соответствие требованиям стандартов. Кроме того, измерительные приложения обновляются по мере пересмотра и расширения требований стандартов. Общие алгоритмы и интерфейсы сокращают время на обучение работе с приложениями и программирование.

Даже повседневные измерения могут быть достаточно сложны в настройке, а предлагаемые измерительные приложения позволяют упростить их выполнение за счёт простоты настройки и автоматизированных расчётов. Специализированные

приложения позволяют измерять фазовый шум, ВЧ-мощность и коэффициент шума.

ПРОВЕДЕНИЕ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Точные результаты измерения мощности имеют 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 приёмника. 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 получения точных и повторяемых результатов измерений необходимо интегрировать измеренную мощность в диапазоне частот и затем получить значение, усреднённое по времени и/или по импульсам сигналов.

Для измерений параметров беспроводных устройств применяются как измерители мощности, так и анализаторы сигналов. Каждый из этих приборов имеет своё предназначение, свои преимущества и недостатки.

Измерители мощности – это недорогие и точные инструменты с отличным частотным диапазоном и согласованием с источником. Измерители с взаимозаменяемыми датчиками мощности обеспечивают чрезвычайно широкий рабочий диапазон частот при хорошем согласовании комплексных сопротивлений, что способствует повышению точности измерений. Измерители мощности могут подключаться к различным точкам тракта передатчика или к отдельным блокам с целью определения характеристик усилителей, аттенуаторов или преобразователей частоты. Некоторые из них имеют очень полезную функцию измерения пиковой мощности, позволяющую измерять изменяющиеся во времени сигналы, динамические элементы, тепловой эффект или эффекты, связанные с источником питания. Многие измерители мощности способны выполнять измерения мощности во временной области с настраиваемыми параметрами времени (см. рис. 1).

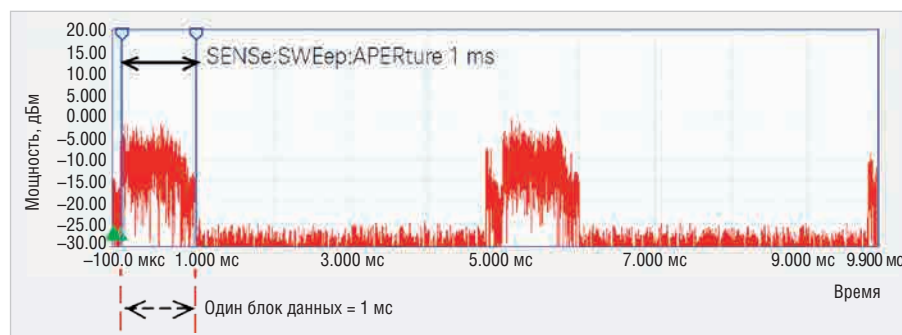


Рис. 1. Измерение средней мощности пакетного сигнала для одного субфрейма LTE

Настроены, поверены и готовы к работе



Ваши технические системы, критически важные для решения ответственных задач, должны обеспечивать безотказную работу в любых условиях. Именно поэтому сервисный центр Keysight получил аккредитацию на право поверки средств измерений и готов обеспечивать техническое обслуживание приборов под марками Keysight, Agilent и HP.

Оригинальные запчасти, автоматизированные тестовые системы, программное обеспечение для проведения калибровки и настройки, опытный персонал - все это позволяет выполнять весь набор тестов в соответствии с требованиями завода-изготовителя максимально качественно и в сжатые сроки. Будьте уверены в точности ваших измерений!

Подробнее: www.keysight.com/find/Poverka
Тел.: 8 800 500 9286

 **KEYSIGHT**
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights

Главным ограничением измерителей мощности считается возможность их работы только в широкой полосе частот – это означает, что данные приборы не смогут точно измерять слабые сигналы на фоне более мощных, и что для более точных измерений им потребуется более высокая амплитуда. Будучи широкополосными устройствами, они не могут ограничить измеряемую полосу частот, чтобы исключить широкополосный шум, паразитные сигналы, источники помех и пр.

Анализаторы сигналов не могут похвастаться высокой точностью при измерениях мощности отдельных сигналов высокого уровня, которой 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 избирательностью диапазона частот и временных интервалов или во многих случаях сочетанием этих видов избирательности. Возможность ограничения частот предлагает проводить измерения по отдельным каналам или полосам частот, такие как измерения относительного уровня мощности в соседнем канале. Измерительные приложения автоматически конфигурируют измерения и сравнивают результаты, полученные в основном из соседних (альтернативных) каналов, после чего представляют результаты в графической и табличной форме (см. рис. 2). Такая избирательность так-

же снижает мощность широкополосного шума в результатах измерений, способствуя повышению точности и динамического диапазона, в первую очередь для малых сигналов и сигналов близких по мощности к шуму. По сравнению с измерителями пиковой мощности анализаторы сигналов обеспечивают более высокую избирательность для измерений мощности во временной области.

Поиск, измерение и устранение помех

Важно хорошо знать спектральный состав выходного сигнала радиопередатчиков, в том числе их динамические характеристики. Конечно, из-за импульсной природы сигналов, занимающих спектр, здесь могут присутствовать переходные сигналы, зачастую с очень высокой скважностью. Самая неприятная проблема заключается в том, что скважность этих сигналов может сильно изменяться из-за асинхронного характера передачи и схем мультиплексирования. Из-за этого некоторые переходные сигналы очень трудно выявить и измерить.

Анализаторы спектра и сигналов всегда были основными приборами для обнаружения и измерения паразитных сигналов и помех. В последние годы архитектура многих анализаторов спектра прошла путь от аналоговых до цифровых трактов ПЧ и от скалярной до векторной обработки сигналов. Теперь такие приборы принято называть анализаторами сигналов, подчёркивая их более универсальные и мощные аналитические возможности. Во многих случаях анализаторы сигналов выпускаются в виде базовых моделей

с базовыми функциями анализа спектра, но их можно обновлять и превращать в мощные инструменты для измерения паразитных сигналов и прочих помех.

Быстрое свипирование – специальная функция обработки сигналов, которая существенно повышает скорость свипирования при использовании узких полос разрешения. Скорость свипирования возрастает в десятки раз, что даёт целый ряд преимуществ при измерении паразитных сигналов и помех. Большее число измерений за интервал времени повышает шансы обнаружения редко возникающих сигналов. Эту характеристику иногда называют вероятностью обнаружения. Измерения с более узкой полосой разрешения улучшают идентификацию проблемных сигналов в плотно занятом спектре. Улучшенное отношение сигнал/шум и меньший уровень собственных шумов позволяют обнаруживать малые сигналы вблизи шумового порога. Во многих случаях меньший уровень собственных шумов, непосредственно связанный с функцией быстрого свипирования, помогает извлечь полезную информацию из тех измерений, которые ранее считались неподходящими для данной системы.

Быстрое свипирование может повысить вероятность обнаружения паразитных сигналов или помех в сочетании с другими базовыми функциями, такими как функция удержания пикового значения. Однако современные анализаторы сигналов предлагают и другие, ещё более мощные возможности.

Анализ спектра в режиме реального времени (RTSA). В некоторых анализаторах сигналов применяются специализированные ИС и ПЛИС, которые обеспечивают очень высокую скорость обработки сигналов в цифровых трактах ПЧ. Анализаторы, работающие в режиме анализа спектра в реальном времени, используют свою вычислительную мощность для непрерывной обработки всех выборок сигнала в указанной полосе частот. Обычно результаты такой обработки ограничены стандартными характеристиками спектра мощности (т.е. не являются векторными), но при этом можно гарантировать, что ни один участок спектра не будет потерян. Это обеспечивает почти стопроцентную вероятность обнаружения редких, слабых и паразитных сигналов, существенно повышая достоверность измерений помех.

Запуск по частотной маске (FMT). Функция FMT основана на обработке спектра в реальном времени. Запуск по



Рис. 2. Автоматизированное измерение коэффициента мощности в соседнем канале

частотной маске можно представить как расширенную версию запуска по уровню в ПЧ, которая обычно присутствует в векторных анализаторах сигналов и в некоторых анализаторах спектра. Для улучшения этой функции появилась возможность вручную настраивать спектральную маску, выход за пределы которой запускает некоторое действие: измерения, вывод результатов или захват сигнала. В большинстве случаев запуск выполняется при нарушении или пересечении границ маски. Однако обработку можно настроить так, чтобы запуск выполнялся при выходе сигнала за пределы маски или при выходе и последующем входе. Как и в случае использования анализа спектра в реальном времени, основное преимущество данной функции заключается том, что она гарантирует обнаружение всех сигналов, переходов или событий, нарушающих маску или отвечающих определённым логическим условиям.

Векторный анализ сигналов (VSA). Как и следует из названия, данный режим использует полную векторную обработку сигнала и, следовательно, может включать любые типы измерений в частотной, временной или модуляционной областях. Он особенно полезен для измерения цифровой модуляции и многорежимного анализа, в котором анализ частоты и времени синхронизируется с измерением качества модуляции для диагностики неисправностей.

Захват и воспроизведение сигналов. Большой объём высокоскоростной памяти может сочетаться с векторной обработкой ПЧ для полного непрерывного захвата сигнала. Эта способность присуща функции векторного анализа сигналов и, как правило, сочетается с инструментами последующей обработки или воспроизведения. В общем случае выполняется захват широкополосного сигнала, после чего анализируются отдельные сигналы или более узкие каналы частот.

Благодаря полному захвату сигнала в память, с записанным сигналом можно выполнять любой тип анализа, как в частотной, так и во временной областях без повторного захвата. Такие возможности особенно полезны для анализа переходных сигналов или однократных выбросов, они позволяют также измерять однократно встречающиеся сегменты длинных сигналов, пакетов или фреймов. Поскольку захват сигнала идёт непрерывно, событие запуска лишь пометает в сигнале точку запуска, делая доступной информацию до и после запуска. Таким образом, можно измерить сигнал до момента запуска,

что позволяет установить причинно-следственные связи и временные соотношения между сигналами.

Говоря о записи сигнала и его анализе во время воспроизведения, стоит упомянуть две другие возможности. Во-первых, для обработки записанных данных во время воспроизведения функция векторного анализа сигналов обычно использует передискретизацию и цифровой гетеродин. Эти операции позволяют менять центральную частоту и полосу обзора в ходе последующей обработки. Во-вторых, непрерывный характер захвата можно сочетать с измерением спектральной плотности, например, со спектрограммой, для визуализации всех видов активности в течение времени захвата. В результате скорость обработки может достигать сотни тысяч или даже миллионов рассчитанных спектров в секунду. Это позволяет лучше исследовать высокоскоростные и сложные сигналы, выявлять помехи и устанавливать причины их появления.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ

В системах беспроводной связи, где сигналы меняются во времени, а также меняются и потенциальные источники паразитных сигналов и помех, полезно применять последовательность тестов разного типа, которая гарантирует обнаружение всех сигналов, точные измерения их параметров и глубокий анализ. Эти тесты объединяются в измерительный процесс, помогающий получить достоверные результаты за меньшее время.

1. Сначала необходимо проверить, насколько представления о возможных источниках помех в исследуемом сигнале соответствуют действительности. Для этого лучше всего начать с анализа спектра с использованием свипирования, а также с изучения поведения системы в условиях известных источников помех и определения этих источников. Если известна амплитуда, частота или временные характеристики, то можно перейти к захвату сигнала в ПО VSA, например, с помощью запуска по уровню ПЧ или с отрицательной задержкой запуска для захвата начала переходного процесса.
2. Если имеются подозрения о наличии помехи, но ничего или почти ничего о ней не известно, то следует попробовать функцию анализа спектра в реальном времени. Хотя это измерение чисто скалярное, не дающее информации о поведении сигнала во временной области, оно гарантирует обнаружение сигналов, даже если о них ничего не известно. Если важны временные характеристики сигналов, рекомендуется применить запуск по времени.
3. Если не удаётся выделить проблемный сигнал с помощью запуска по уровню, функция запуска по частотной маске позволит сосредоточиться на спектральных аспектах. Кроме того, можно запустить отдельные измерения или захваты сигнала. В ПО VSA запуск по спектральной маске можно настроить таким образом, чтобы выбрать для демодуляции определённый скачок по частоте (см. рис. 3).

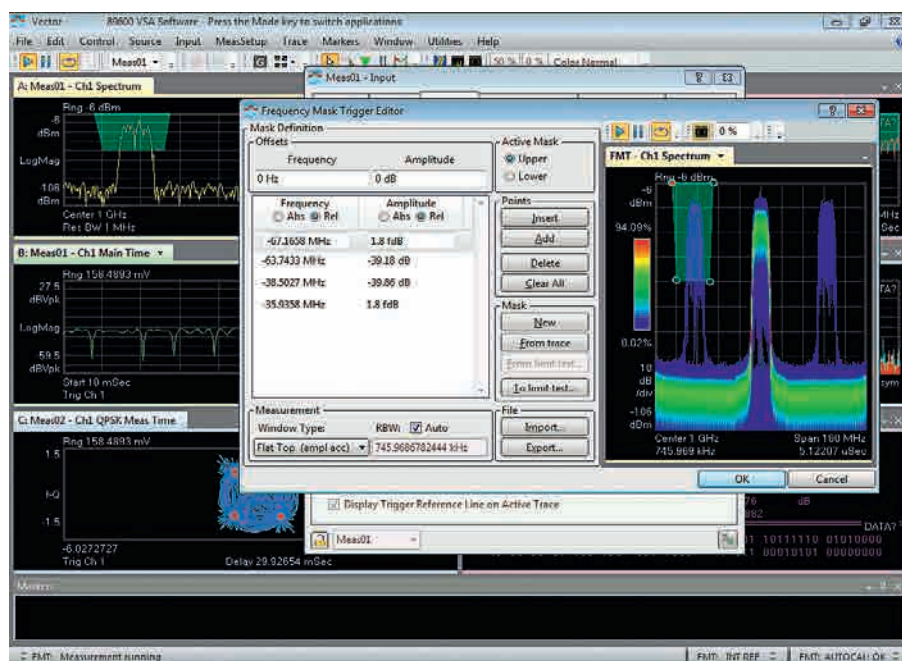


Рис. 3. Использование функции запуска по частотной маске



Рис. 4. Использование приложения для измерения ЭМП для анализаторов

- После захвата исследуемого сигнала следует использовать его воспроизведение или последующую обработку в ПО VSA. Большой объём памяти и графические инструменты позволяют выбрать нужную часть сигнала по отношению к моменту времени, соответствующему некоторому уровню ПЧ, частотной маске или временному параметру.
- В ходе воспроизведения можно свободно менять центральную частоту и полосу обзора, фокусируясь на нужной частоте без повторного захвата (пока сигнал располагается в пределах исходной полосы захвата).
- Рекомендуется менять типы анализа и режимы отображения. Такой подход является очень мощным способом получения полной информации о помехах за счёт применения методов, принятых для анализа немодулированных сигналов. Для идентификации сигнала и его наиболее важных параметров можно использовать временные и частотные маркеры, расчёт мощности в полосе и даже демодуляцию. Спектрограммы и графики спектральной мощности могут выявить важные особенности поведения сигнала и его взаимосвязь с полезными сигналами.

Некоторые помехи неизбежны, но их можно устранить с помощью определённых методов, таких как предотвращение коллизий или повторные передачи. Описанные здесь шаги помогут лучше понять характер помех во временной и частотной областях, создавая надёжную основу для разработ-

ки решений и оценки возможной степени их влияния.

Поиск и устранение проблем ЭМС на самых ранних этапах

Электромагнитные помехи (ЭМП) всегда являются большой проблемой для радиоинженеров, пытающихся соблюсти требования нормативных документов и в то же время обеспечить совместимость в плотно занятом спектре. И хотя формальные сертификационные испытания очень важны, они выполняются на самых последних этапах процесса разработки, создавая риск задержки выпуска нового изделия и потенциальную возможность дорогостоящих доработок и повторных испытаний. Поиск и устранение таких проблем на ранних этапах – во время проектирования и проверки конструкции – обычно выполняется проще и обходится дешевле.

Для испытаний на ЭМС применяются специальные виды измерений, отличные от типичного анализа спектра. Например, необходимо использовать специальные полосы частот и такие детекторы, как «квазипиковый» (который, в отличие от пикового или усредняющего детектора, рассчитывает значение сигнала как функцию от частоты повторения). Эти детекторы и некоторые полосы измерения, как правило, не используются во время обычного анализа сигналов или спектра. Сами разработчики, как правило, не проводят испытания на ЭМС. Они проводятся в специальной лабо-

ратории сторонней организации. Если выполнять данные испытания на самых ранних этапах процесса разработки, то конечные сертификационные испытания на ЭМС превращаются в простую формальность.

Для повышения вероятности прохождения испытаний на соответствие требованиям стандартов с первой попытки можно выполнить собственные предварительные измерения. Для этого понадобится анализатор сигналов с приложением для проведения предварительных квалификационных измерений на соответствие нормативным требованиям к излучаемым ЭМП. Ниже приводится примерный список измерительных решений.

Анализаторы сигналов со стандартной функцией измерений ЭМП. Такие анализаторы содержат специальные фильтры ЭМП, настройки предельных линий и функции коррекции результатов измерений для реализации различных коэффициентов усиления антенны.

- Анализаторы сигналов с измерительными приложениями для испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС). Такие анализаторы должны поддерживать диапазоны, детекторы и полосы, определённые Специальным международным комитетом по радиопомехам (CISPR), специальные режимы измерений с несколькими детекторами в положениях, указанных маркерами, а также возможность прослушивания для распознавания различий в сигналах.
- Анализаторы сигналов с полнофункциональными приложениями для измерения ЭМП могут выполнять полную проверку на соответствие стандартам, включая автоматические испытания по предельным значениям. Также они позволяют установить допуски по измерениям, обеспечивающие надёжное соответствие требованиям нормативов. Кроме того, эти приложения предлагают специальные режимы представления результатов, включая ленточные диаграммы (см. рис. 4). На графике спектра хорошо видны сигналы помех, детально описанные в таблице ниже. Амплитуды сигналов измеряются несколькими детекторами и выделяются разными цветами.
- Пробники ближнего поля необходимы для предварительных испытаний, в частности для диагностики неисправностей и проверки конструкции. Обычно они используются для



Рис. 5. Динамический анализ потребления мощности с помощью анализатора питания

отслеживания излучений до уровня печатных плат, модулей, цепей и даже отдельных компонентов.

4. Небольшие экранированные или полубезэховые камеры отделяют внешние сигналы от нежелательных излучений, решая тем самым одну из самых сложных проблем измерения ЭМП. Реальные антенны часто излучают огромное количество сигналов, и некоторые из них могут сильно меняться во времени.

Современные лаборатории содержат множество других источников излучений, и трудоёмкий процесс поиска этих источников и учёта или устранения их влияния на результаты измерения можно существенно облегчить, применив экранированную камеру.

ОГРАНИЧЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БЕЗ УЩЕРБА КАЧЕСТВУ СИГНАЛА

Так как большинство портативных устройств работают от заряжаемых аккумуляторов ограниченной ёмкости, 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 не всегда способны выявить существующие проблемы.

Ограниченные возможности батарей, источников и преобразователей питания вынуждают искать компромисс между мгновенной и общей мощностью и характеристиками РЧ-модуля. Такой компромисс важен не только для функциональных возможностей, но и для конкурентоспособности решения.

Помимо портативных мобильных устройств существует ещё одно стремительно развивающееся направление с особыми потребностями – устройства Интернета вещей, в особенности такие устройства, которые периодически обмениваются малыми объёмами данных с хост-системами или другими устройствами. Такие устройства зачастую работают от небольших элементов питания, но при этом должны сохранять работоспособность в течение нескольких месяцев или даже лет до замены элемента питания.

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 потребности в длительных интервалах между обслуживанием или заменой элементов питания.

ПОИСК КОМПРОМИССОВ В ВОПРОСАХ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Чтобы добиться надёжной и энергоэффективной работы устройства, особенно с низким или сверхнизким уровнем мощности, необходимо провести мно-

жество измерений. Начать рекомендуется с измерений реальной потребляемой мощности. В этом помогут анализаторы питания постоянного тока, объединяющие в себе несколько источников постоянного тока и точные средства измерения мощности (см. рис. 5). Это относительно новая категория приборов, позволяющая упростить процесс измерений и более детально изучить энергопотребление устройств (см. рис. 6).

При изучении особенностей энергопотребления устройств необходимо учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные аспекты. Анализаторы питания позволяют проводить измерения, результаты которых помогают выявить колебания потребляемой мощности, в частности пиковое потребление, быстро разряжающее источник питания устройства. Получить представление об энергопотреблении за более продолжительные промежутки времени (секунды и минуты) можно с помощью диаграмм регистратора данных или ленточных диаграмм. 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 НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

Ознакомившись с базовой информацией, можно переходить к поиску опти-

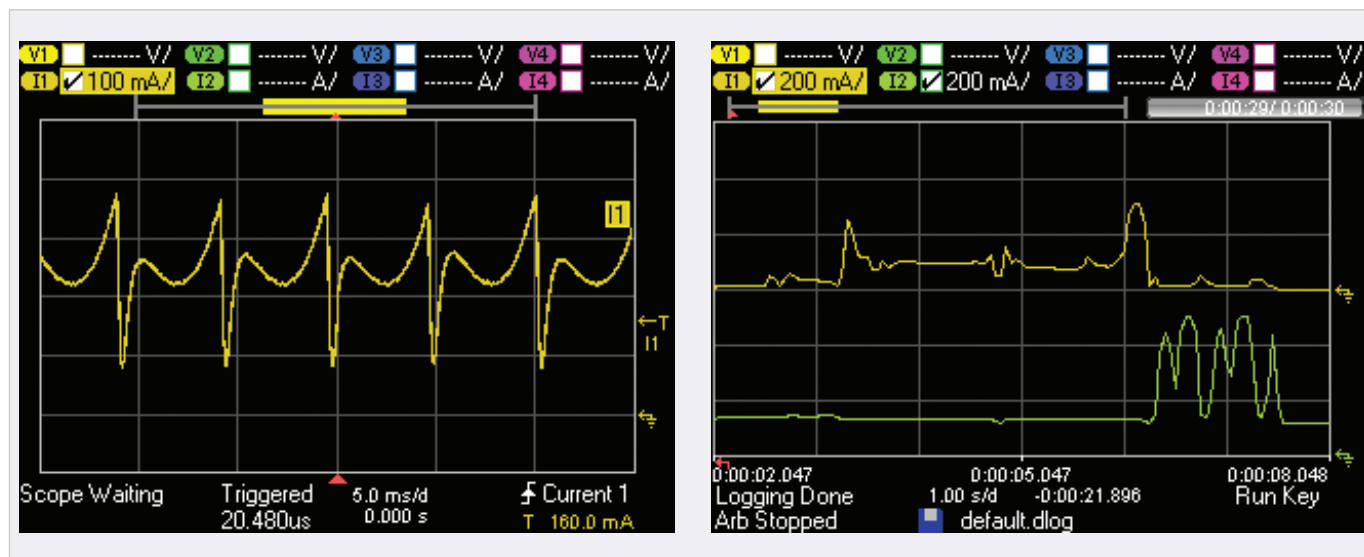


Рис. 6. Динамика потребления тока за 30 мс (слева) и за 30 с (справа)

мального баланса, обеспечивающего требуемое питание при минимальных габаритах и стоимости. Для этого понадобятся источники питания, способные реалистично подавать специально ограниченное питание. Такие источники помогают инженерам учесть предельные значения параметров и обеспечить оптимальные характеристики устройства с максимально компактным источником питания.

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, например, 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 компо-

нентов. Для 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 новое решение в области измерения мощности постоянного тока – анализатор формы сигнала тока Keysight CX3300A. Как правило, данный анализатор используется с аналоговыми пробниками, но может быть оборудован и цифровыми пробниками для того, чтобы скоординировать измерения питания с управляющими сигналами устройства. 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. Очевидными последствиями ограничения питания постоянного тока в системе являются снижение радиочастотной мощности и искажение сигнала, но возможны и другие эффекты, в том числе снижение качества 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 последующей обработки сигналов. Общая последовательность измерений начинается с функций запуска в анализаторе формы сигнала тока. С их помощью создается внешний сигнал запуска, инициирующий одиночное измерение или захват сигнала с помощью векторного анализатора сигналов. Положительные или отрицательные задержки позволяют согласовать измерения напряжения или потребления мощности с измерениями радиочастотной мощности, спектра или качества модуляции.

Заключение

Проектирование любой системы беспроводной передачи данных – непростая задача с жесткими требованиями и необходимостью многочисленных компромиссов. Существующие стандарты и задачи охватывают весь частотный диапазон, от постоянного тока до РЧ, достигая подчас СВЧ и даже миллиметрового диапазона. Оптимальные решения этих задач определяются опытом, знаниями и творческим подходом разработчика, а в реализации помогут анализаторы, источники питания и измерительные приложения.



Измерения везде, где есть Интернет

Высокоскоростные многоканальные АЦП
и генераторы сигналов стандарта LXI



digitizerNETBOX

- более 70 моделей
- от 2 до 48 синхронных каналов
- 5 Гсэмпл/с, 8 бит
- 500 Мсэмпл/с, 14 бит
- 200 ксэмпл/с – 250 Мсэмпл/с, 16 бит



generatorNETBOX

- от 2 до 24 каналов
- 60–125 Мсэмпл/с, 14 бит
- 625 Мсэмпл/с – 1,25 Гсэмпл/с, 16 бит

